



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática

Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas

**Análisis de las implicancias de la implementación de la
agricultura de precisión en el sector
agrícola peruano**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas

AUTOR

Luis Pablo LOZADA VARGAS

ASESOR

Mg. Augusto Parcemon CORTEZ VASQUEZ

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Lozada, L. (2024). *Análisis de las implicancias de la implementación de la agricultura de precisión en el sector agrícola peruano*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios autor/ asesor

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Luis Pablo Lozada Vargas
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	44471224
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-0272-0580
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Augusto Parcemon Cortez Vásquez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08634618
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5188-7962
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Frank Edmundo Escobedo Bailon
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41671087
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	John Ledgard Trujillo Trejo
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06187585
Datos de investigación	
Línea de investigación	Sistemas inteligentes

Grupo de investigación	TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN CON APLICACIONES EN LAS CIENCIAS BIOMEDICAS - INFORMATION TECHNOLOGIES IN BIOMEDICAL SCIENCE - "BIOMEDICAL-IT"
Agencia de financiamiento	No tiene
Ubicación geográfica de la investigación	Lima Perú
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2024
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería de sistemas y comunicaciones https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.04 Ingeniería ambiental y geológica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01 Agricultura, silvicultura y pequeria https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#4.01.00



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INFORMATICA
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas

Acta Virtual de Sustentación de Tesis

Siendo las 15:00 horas del día 04 de diciembre del año 2024, se reunieron virtualmente los docentes designados como miembros de Jurado de Tesis, presidido por el Dr. Frank Escobedo Bailón Lic. John Trujillo Trejo (Miembro) y el Mg. Augusto Parcemon Cortez Vásquez (Miembro Asesor), usando la plataforma Meet (<https://meet.google.com/syw-ntss-tvf>), para la sustentación Virtual de la tesis Intitulada: **“ANÁLISIS DE LAS IMPLICANCIAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL SECTOR AGRÍCOLA PERUANO”**, del Bachiller: **LUIS PABLO LOZADA VARGAS**; para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas.

Acto seguido de la exposición de la Tesis, el Presidente invitó al Bachiller a responder las preguntas formuladas por los Miembros del Jurado.

El Bachiller, en el curso de sus intervenciones demostró pleno dominio del tema, al responder con acierto y fluidez las preguntas formuladas por los señores miembros del Jurado.

Finalmente habiéndose efectuado la calificación correspondiente por los miembros del Jurado, el bachiller obtuvo la nota de ...18. (...dieciocho.)

A continuación, el Presidente del Jurado Dr. Frank Escobedo Bailón, declara al Bachiller **Ingeniero de Sistemas.**

Siendo ...15:52.. horas, se levantó la sesión.

Dr. Frank Escobedo Bailón
Presidente

Lic. John Trujillo Trejo
Miembro

Mg. Augusto P. Cortez Vasquez
Miembro Asesor



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



Yo **AUGUSTO PARCEMON CORTEZ VASQUEZ** en mi condición de **asesor** acreditado con la Resolución Directoral N° 000014-2024-EPISI-FISI/UNMSM de la **tesis/monografía/informe** de investigación/trabajo académico, cuyo título es: **ANÁLISIS DE LAS IMPLICACIAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL SECTOR AGRÍCOLA PERUANO**, presentado por los **Bachilleres/magíster/egresado/licenciado/estudiante Lozada Vargas, Luis Pablo** para optar el grado/título/especialidad de **INGENIERO DE SISTEMAS**, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 13% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado/ título/ especialidad correspondiente.

Firma del Asesor

DNI: 08634618

Nombres y apellidos del asesor: Augusto Parcedon Cortez Vásquez

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico el presente Trabajo de Investigación a Dios; pues es el ser más importante en mi vida. A Él sea toda la gloria y la honra.

También se lo dedico a mis amados padres:

Luis Lozada y Mery Vargas, su ayuda fue muy importante en esta etapa.

Siempre me apoyaron y este logro también es de ellos.

De igual manera, a mis queridos hermanos:

Daniel Lozada y Josué Lozada, su compañía y ánimo fueron muy valiosos.

Los quiero mucho y espero ser un buen guía en sus caminos.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y a la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática por su valiosa formación.

Un especial agradecimiento al Mg. Augusto Cortez, su asesoría fue muy importante en este Trabajo de Investigación.

....

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas

Análisis de las implicancias de la implementación de la agricultura de precisión en el sector agrícola peruano

Autor: Lozada Vargas, Luis Pablo

Asesor: Cortez Vásquez, Augusto

Título: Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas

Fecha: setiembre 2024

RESUMEN

La agricultura en el Perú y en general en Latinoamérica, viene atravesando una crisis estructural. Muy a pesar de ser un país megadiverso, el deficiente manejo de los recursos ha llevado a la agricultura a niveles críticos de deterioro de algunas zonas del país causando problemas de desertificación, deforestación, agotamiento de las fuentes de agua, degradación de ecosistemas, así como la desaparición de algunas especies silvestres. El presente estudio tiene como objetivo una revisión de los conceptos relacionados a la agricultura de la precisión y las implicancias de su implementación en el sector agrícola peruano. Se explora la relación existente entre la ciencia, tecnología como factores transformadores de la agricultura, la combinación entre el conocimiento científico y la incorporación de nuevas tecnologías y la innovación nos muestran que existe una agricultura más acorde a los retos que enfrentamos: la de precisión.

Palabras Claves: agricultura de precisión, agricultura 4.0, tecnologías agrarias, planificación de cultivos

NATIONAL UNIVERSITY OF SAN MARCOS
University of Peru, Dean of America
FACULTY OF SYSTEMS ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE
Professional School of Systems Engineering

**Analysis of the implications of the implementation of precision
agriculture in the Peruvian agricultural sector**

Author: Lozada Vargas, Luis Pablo
Advisor: Cortez Vásquez, Augusto
Title: Thesis to obtain the professional title of Systems Engineer
Date: september 2024

ABSTRACT

Agriculture in Peru and in Latin America in general has been going through a structural crisis. Despite being a megadiverse country, agriculture has been threatened by inadequate management of existing resources, leading to critical levels of deterioration in certain areas of the country, generating problems of desertification; deforestation, salinization, loss of agricultural land, vegetation toxicity, depletion of water sources, degradation of ecosystems and disappearance of wild species. The present study aims to review the concepts related to precision agriculture and the implications of its implementation in the Peruvian agricultural sector. The relationship between science and technology as transforming factors in agriculture is explored. The combination of scientific knowledge and the incorporation of new technologies and innovation shows us that there is an agriculture more in line with the challenges we face: precision agriculture.

Keywords: precision agriculture, agriculture 4.0, agricultural technologies, crop planning

Contenido

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INTRODUCCIÓN	12
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1. ANTECEDENTES	14
1.2. DEFINICIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	15
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	22
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	22
1.3. OBJETIVOS	22
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	23
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
1.4. JUSTIFICACIÓN	25
1.5 BENEFICIOS.....	26
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	27
2.1. CONCEPTOS RELACIONADOS agricultura de precisión.....	27
2.2. CONCEPTOS RELACIONADOS A LA TECNOLOGÍA.....	32
CAPITULO III: ESTADO DEL ARTE.....	46
3.1. TRABAJOS NACIONALES	46
3.2. TRABAJOS INTERNACIONALES.....	47
CAPITULO IV METODOLOGIA.....	56
CAPITULO V IMPLICANCIAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA AP.....	58
5.1 Eficiencia en el uso de recursos.....	58
5.2 Aumento de la productividad.....	62
5.3 Toma de decisiones basada en datos.....	64
5.4 Cambios en la fuerza laboral.....	66
5.5 Inversión en tecnología.....	66
5.6 Gestión de datos.....	69

5.7 Adaptación al cambio climático.....	72
5.8 Diversificación funcional.....	74
5.9 Brecha digital.....	76
CAPITULO VI: TRAZABILIDAD AGRARIA.....	77
CAPTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
7.1. CONCLUSIONES.....	88
7.2. RECOMENDACIONES	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

Índice de figuras

Figuras	Página
Fig.1: Eslabones de intermediación	16
Fig.2: Crédito Agrario	17
Fig.3: Árbol de problemas	21
Fig.4: Árbol de objetivos	22
Fig.5: Internet de las cosas en agricultura	33
Fig.6: Tecnología de tasa variable	35

Fig.7: Sensores en agricultura	36
Fig. 8: Sensor medidor 3 en 1	38
Fig.9: Robots agrícolas	39
Fig.10: Drones de regado agrícola	40
Fig.11: Maquinaria de conducción autónomas (MCA)	41
Fig.12: Sistemas de posicionamiento global (GPS)	42
Fig. 13 Riego localizado SRL	53
Fig.14: El agua en cifras	58
Fig.15: Inversión en tecnología	67
Fig. 16: Ciencia de datos	70
Fig. 17 Áreas de tala masiva en color marrón	71
Fig. 18: Diversificación funcional	75
Fig. 19: Trazabilidad hacia adelante	79
Fig. 20: Prototipo de sensor de humedad para agricultura de precisión	82
Fig. 21: Sensor de humedad Delta T-SM 150T	84
Fig. 22: Sensor de humedad de Suelo FC-28	84
Fig. 23: Higrómetro de suelo FC-28	85
Fig. 24: Estructura interna de sensor FC-28	86
Fig. 25: Lectura Analógica	87
Fig. 26: Lectura Digital	87

Índice de tablas

Tabla	Página
Tabla 1 Comparación de AP	24
Tabla 2 Estado de indicadores ilustrativos	29
Tabla 3 Evolución de las generaciones de la agricultura de precisión	31
Tabla 4 Métodos para implementar un sistema hidropónico	50
Tabla 5 Disminución del impacto ecológico	63
Tabla 6 Predicciones más precisas de rendimientos	65
Tabla 7 Ajuste preciso de prácticas agrícolas	73
Tabla 8 Referencias Bibliográficas	90

FICHA CATALOGRÁFICA

Título

AUTOR: LOZADA VARGAS, LUIS PABLO

ASESOR: CORTEZ VÁSQUEZ, AUGUSTO PARCEMON

LIMA - PERÚ, 2024

TÍTULO PROFESIONAL: Título Profesional de Ingeniero de sistemas

ÁREA / PROGRAMA / LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Ingenierías / Tecnología de Información y Comunicación / Ingeniería de Sistemas

PREGRADO: Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática - Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas

Formato 21 x 29.7 cm Páginas: 95

INTRODUCCIÓN

La irrupción de las tecnologías digitales afectará inevitablemente los procesos agrícolas, surgiendo la pregunta cuan dinámico e inclusivo será. Aunque el proceso de digitalización de la agricultura se ha puesto en marcha desde hace ya varios años, actualmente nos encontramos en una etapa en la que, por diversos motivos su ritmo comienza a acelerarse

Resulta un requerimiento imperativo una mayor inversión en la agricultura que promuevan mejores prácticas y contribuyan a la digitalización de la agricultura como un aporte a la transformación, requerida para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Según un estudio realizado por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), organización medioambiental no gubernamental estadounidense, el planeta tendrá que ampliar su producción de alimentos en casi un 60% de aquí a 2050 para alimentar a 10.000 millones de personas.

Por lo tanto, la aplicación del concepto en la práctica no sólo optimizará la agricultura en el presente, sino que también dejará a los productores preparados para una tendencia que viene para quedarse. Entender qué es la agricultura 4.0, cuáles son sus implicaciones y su necesidad a largo plazo es estar preparado para el mañana

El presente estudio está organizado en 5 capítulos:

- En el primero se muestran los antecedentes, la problemática, así como los objetivos usando la metodología de marco lógico en la que se construyen el árbol de problemas y a partir de este el árbol de objetivos.
- El segundo capítulo muestra la construcción de una perspectiva teórica en la que se presentan los conceptos variables relacionadas a la agricultura de precisión.
- El tercer capítulo muestra el estado del arte en donde se muestra la situación actual del desarrollo de la agricultura de la precisión, algunos trabajos desarrollados tanto a nivel nacional como internacional.
- El capítulo IV se describe la metodología usada.
- El capítulo V que la parte más importante en la que se muestra las implicancias de la implementación de la agricultura de precisión en la agricultura en el Perú.
- El capítulo VI muestra la trazabilidad de la agricultura de precisión.
- Finalmente, en el capítulo VII se muestra las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

ANTECEDENTES

La medición de la pobreza del productor agrario en el Peru es una tarea compleja que involucra varios factores, tales como: propiedad y tamaño de la tierra. Las continuas crisis suscitadas desde 2020 devinieron en un preocupante aumento de la pobreza: el 41% de hogares agrarios se encuentra en situación de pobreza, casi el doble que los hogares no agrarios, según cálculos del estudio en base a los datos del INEI. El desarrollo del sector agrario depende en gran medida de la ausencia del uso de tecnología, Una de las más relevantes características de nuestros tiempos es la incuestionable importancia de la tecnología en todos los ámbitos sociales, en especial la agricultura. Son diversos los motivos que explican la lenta y desigual incorporación de las tecnologías digitales en las cadenas agrícolas (Shang et al. 2021, Loukos y Arathoon 2021, Sotomayor et al. 2021). Los principales motivos se relacionan a la propia naturaleza de la actividad agrícola, que involucra: capacidades, culturas, escalas etc., además de los factores propios de la actividad, existe una serie de factores que actúan como una barrera para el avance de la digitalización en la agricultura. Todos los factores descritos se presentan en forma diferente en cada territorio, segmentos de productores, etc.

En Brasil, la empresa EMBRAPA et al. (2020) presentan diferencias en las limitaciones experimentadas por productores brasileños de distinta escala. Hacer un diagnóstico pormenorizado de los factores más relevantes en cada caso es esencial para el diseño de políticas e intervenciones orientadas a acelerar y potenciar la digitalización.

1.1. DEFINICIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Según el Ministerio de agricultura de Perú(MIDAGRI, 2024), los problemas que afronta la agricultura en el Perú son de diferente índole:

a) Conservación del Medio Ambiente Erosión y Salinización

No obstante ser considerado uno de los doce países megadiversos ya que posee entre 60 y 70% de la diversidad biológica, en el Perú, esta situación se ve en permanente amenaza, debido principalmente a la gestión inadecuada de recursos, lo cual propicia niveles de deterioro de ciertas zonas, lo que deriva en problemas de desertificación, deforestación, degradación de ecosistemas, agotamiento de las fuentes de agua, y por consiguiente desaparición de especies silvestres.

b) Minifundio

Según MIDAGRI, en su mayoría (85%) las parcelas son de un área menor de 10 hectáreas, las areas productivas tienen un área comprendida entre 3 y 10 hectáreas (33%). La tercera parte de los predios rurales figuran inscritos en registro públicos. Lo más preocupante es que la tendencia al minifundio se incrementa más, esto deriva en una gran dispersión lo que limita la eficiencia productiva al tiempo que eleva los costos del transporte.

c. Precios y mercados

Lamentablemente, en el Perú la producción se rige por un desorden, disminución de su rentabilidad y competitividad. La falta de una infraestructura vial adecuada y la ausencia de un sistema de mercados mayoristas propician que los procesos de post cosechan y de mercadeo están sumamente desordenados, esto deriva en elevados costos de comercialización que afectan a los productores agrarios.

Existen al menos siete eslabones de intermediación como se muestra en la Fig. 1:



Fig. 1 Eslabones de intermediación
Fuente: Elaboración propia

d. Asistencia Técnica

El proceso de acompañamiento y de asistencia técnica constante en la implementación de las prácticas agrícolas es realmente incipiente. Es una tarea urgente la asistencia técnica para atender las necesidades de los productores en materias de Innovación tecnológica y gestión empresarial. La innovación agrícola presupone adoptar medidas para la protección del medioambiente, optimizar y conservar los recursos naturales o para adaptarse a los desafíos climáticos, es también de vital importancia para lograr un mayor rendimiento de los cultivos, mejorar su gestión y la calidad de los productos, o introducir nuevos cultivos y sistemas de producción que permitan un mejor aprovechamiento y cuidado de los suelos al tiempo que se cubren las nuevas demandas de los consumidores.

e. Crédito Agrario

El tema del crédito representa uno de problemas que obstaculizan el desarrollo de la agricultura, por lo que se considera necesario la creación de un Banco que satisfaga los requerimientos de la mayoría de agentes económicos.

Tanto desde el punto de vista ambiental como el tecnológico, se deberán enfrentar numerosos retos en la búsqueda por una agricultura en expansión sostenida en el tiempo, como se muestra en la figura 2:

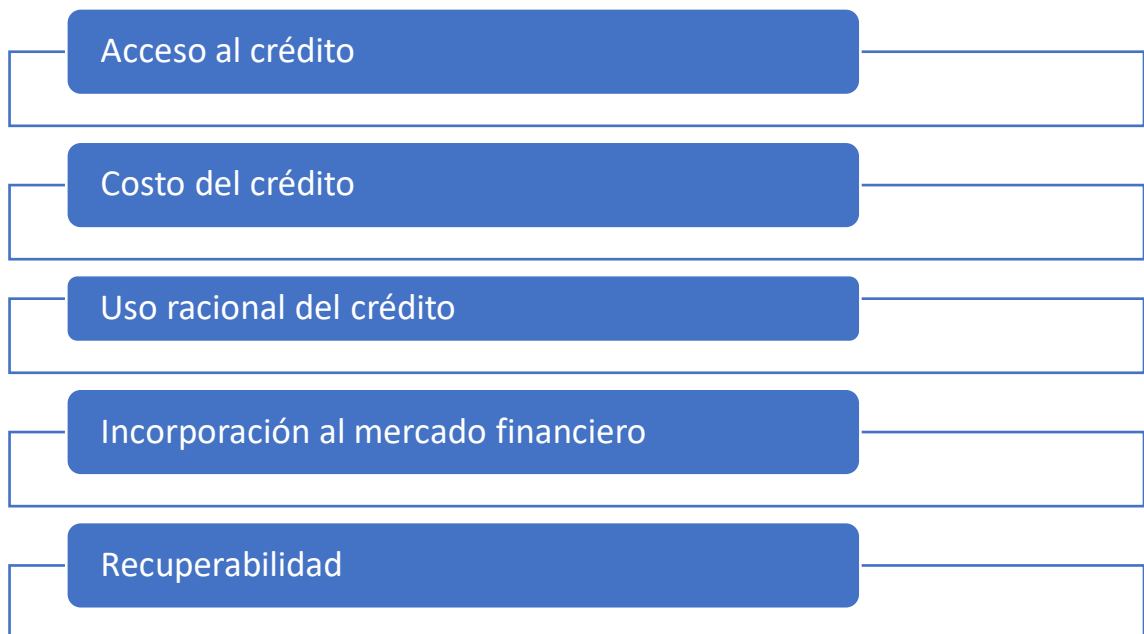


Fig. 2 Crédito Agrario

Fuente: Elaboración propia

- a) Acceso al crédito. La AP propicia la facilidad y acceso al crédito.
- b) El costo del crédito, el cual suele ser superior al resto de la economía. debido al mayor riesgo.
- c) Su uso racional desde el punto de vista económico.
- d) Incorporación al mercado financiero de millares de agentes productivos sin crédito
- e) La recuperabilidad de los créditos junto con la rentabilidad de la actividad agraria, es un tema fundamental porque tiene que ver con la viabilidad de largo plazo del sistema de crédito. No se admite en estos tiempos, un sistema de crédito agrario basado en el subsidio, vía menores tasas de interés y con altos grados de incobrabilidad, dado que resta sostenibilidad en el tiempo; tienen elevados costos sociales y por lo general no cumple los objetivos trazados.

f. Organizaciones

La AP se ha convertido en la columna vertebral de los procesos agrícolas sobre todo en la búsqueda de métodos más eficientes y respetuosos del medio ambiente.

Aprovecha las tecnologías avanzadas y los sistemas de gestión de la información para optimizar el uso de recursos, aumentar la productividad y reducir el impacto ambiental en la producción de alimentos. Se hace necesario e impostergable promover el fortalecimiento de las organizaciones de productores y de otras organizaciones conexas que contribuyan al desarrollo del agro; en un sector tan complejo la capacidad organizativa y de cooperación Inter e Intra sectorial representan importantes instrumentos de competitividad a la agricultura de precisión se ha convertido en una piedra angular en la búsqueda de métodos agrícolas más eficientes y respetuosos con el entorno.

Este enfoque revolucionario aprovecha tecnologías avanzadas y sistemas de gestión de la información para optimizar el uso de recursos, aumentar la productividad y reducir el impacto ambiental en la producción de alimentos.

g) Seguridad Alimentaria

La seguridad alimentaria involucra varios aspectos relacionados: proveer los alimentos en la cantidad y la calidad necesarias para una vida sana; conciencia en los consumidores sobre mejorar hábitos de alimentación.

h. El Empleo

La agricultura emplea al 26% de la PEA Nacional y al 65.5% de la PEA del área rural. Paradójicamente es uno de los sectores con menor productividad de mano de obra debido al bajo nivel educativo de la fuerza laboral en el ámbito rural.

i. Sanidad

Se debe cautelar la seguridad sanitaria y fitosanitaria que posibilite el desarrollo de cosechas y crianzas sanas; controlar y erradicar las plagas y enfermedades representan acciones con una enorme incidencia socioeconómica en la actividad agraria.

Infraestructura disponible: El uso de las tecnologías digitales requiere la existencia de redes de comunicaciones que garanticen una conectividad significativa, aspecto aún muy limitado en el sector rural en el Perú. Aunque muchas soluciones se desarrollan para que puedan funcionar fuera de línea, otras no son posibles de usar sin conexión. Respecto del sector agrario, según (ESAN, 2024) la disponibilidad hídrica del Perú es de 1 935 621 hm³, distribuida entre sus tres vertientes hídricas: Pacífico, Atlántico y Titicaca. Si bien nuestra oferta hídrica es superior a la de países vecinos del sur y el norte, la mayor parte se desperdicia por la baja capacidad de regulación que se atiende con la infraestructura actual.

Hoy nuestra capacidad de regulación es de 5 566 hm³ por año, en 77 grandes embalses que son equivalente apenas al 0.29 % de la oferta hídrica total. Esta cifra es muy baja si la comparamos con países como Chile (0.50 %), Ecuador (2.6 %) y México (47.5 %), según datos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) al 2013.

Principales limitaciones para el avance de la digitalización en agricultura y otras actividades, las cuales adoptan diversas formas y relevancia según territorios, cadenas o segmentos de productores.

Uno de los factores que causan mayor inestabilidad son de orden política y socioeconómicas propias de algunos países de la región en especial el Perú, que derivan en acotar la prioridad de la digitalización en el sector agrario:

a) **Usabilidad y utilidad de las tecnologías:** Si bien ha aumentado la cantidad de tecnologías disponibles, muchas no logran pasar la fase piloto y tienen margen para:

- Mejorar su relación costo/beneficio para que resulte atractiva y conveniente a los usuarios,
- Ajustar su funcionalidad a las necesidades reales de los usuarios y sus contextos
- Ajustar su operabilidad para facilitar su uso y compatibilidad con otras tecnologías.

b) **Disponibilidad y asequibilidad de las tecnologías:** Aunque el costo de dispositivos tecnológicos y aplicaciones informáticas se reduce en precios, su incorporación en el sector de la agricultura aún supone algunas restricciones debido a las brechas digitales existentes (por ejemplo, productores con recursos muy escasos y tecnologías aún muy costosas).

c) **Capacidades de los usuarios:** El uso de tecnologías digitales supone conocimientos y destrezas no necesariamente disponibles en muchos productores y profesionales del sector, incluso en organizaciones de apoyo públicas y privadas. La edad y el nivel educativo frecuentemente aparecen asociados a las capacidades para el uso de las tecnologías.

d) **Incentivos disponibles:** La existencia de políticas y condiciones que promuevan y apoyen los procesos de digitalización son esenciales para su avance dinámico y masivo.

e) **Conflictos de intereses:** La incorporación de tecnologías digitales supone reconfiguraciones en la forma de realizar y registrar procesos que inevitablemente afectan roles y relaciones entre los distintos actores involucrados.

A los consumidores cada vez les preocupa más el origen, los métodos de producción y el impacto ambiental de los alimentos que consumen. Como resultado, la UE ha estado a la vanguardia en la implementación de regulaciones para garantizar prácticas agrícolas sostenibles y mejorar la trazabilidad en toda la cadena de suministro. (Guillen, 2023)

ÁRBOL DE PROBLEMAS

En la *Figura 3*, se muestra el árbol de problemas a partir del cual vamos a identificar el problema general y problema específico.

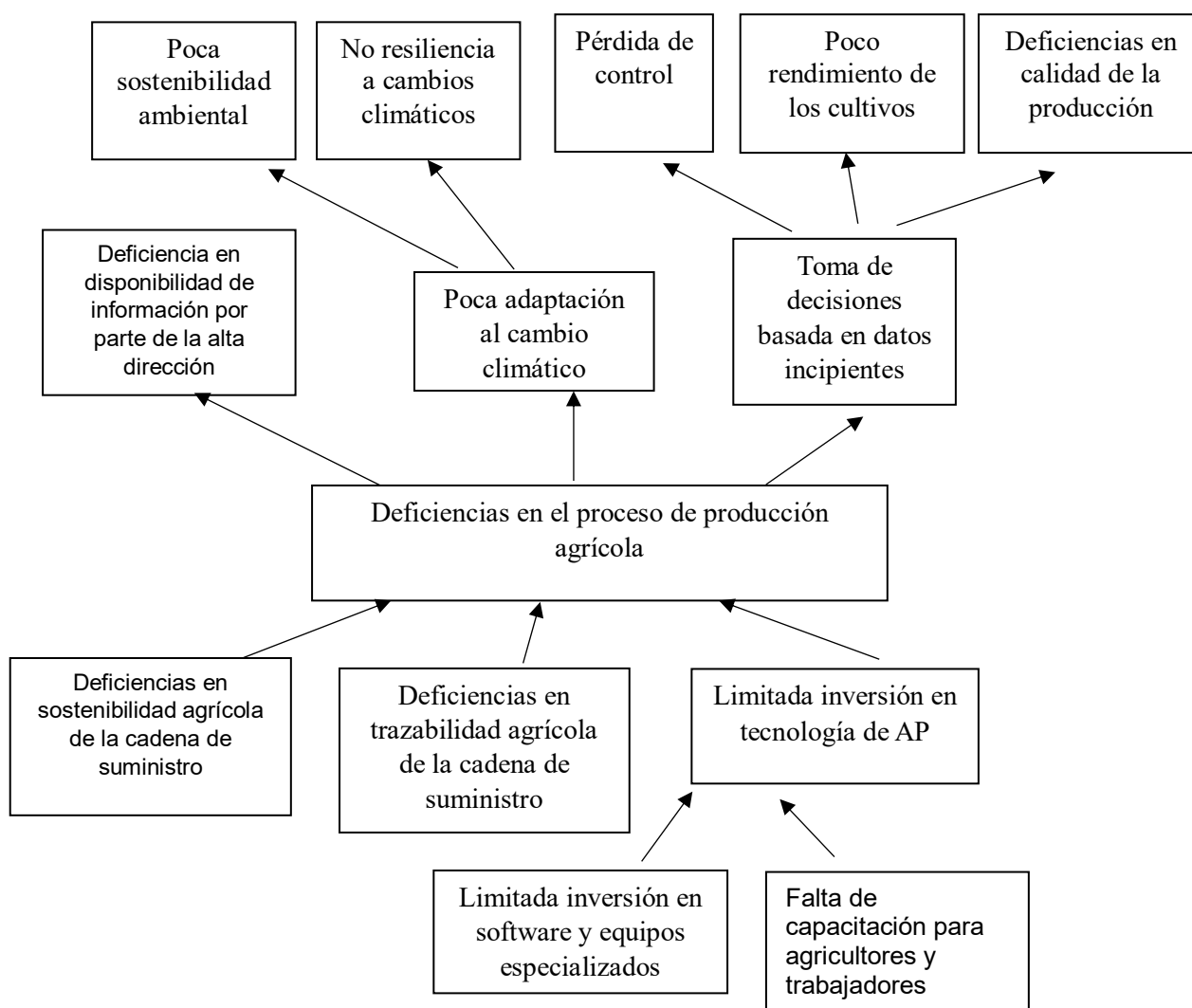


Figura 3: Árbol de problemas - Fuente: Elaboración propia 2024

Fuente: Elaboración propia

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Existe deficiencias en el proceso de producción agrícola?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- a) ¿Existen deficiencias en sostenibilidad agrícola de la cadena de suministros?
- b) ¿Existen deficiencias en trazabilidad agrícola de la cadena de suministro?
- c) ¿Existe Limitada inversión en tecnología de AP?

1.3 OBJETIVOS

ARBOL DE OBJETIVOS

A través del árbol de objetivos vamos a identificar el objetivo general y los objetivos específicos, tal como se muestra en la *Figura 4*.

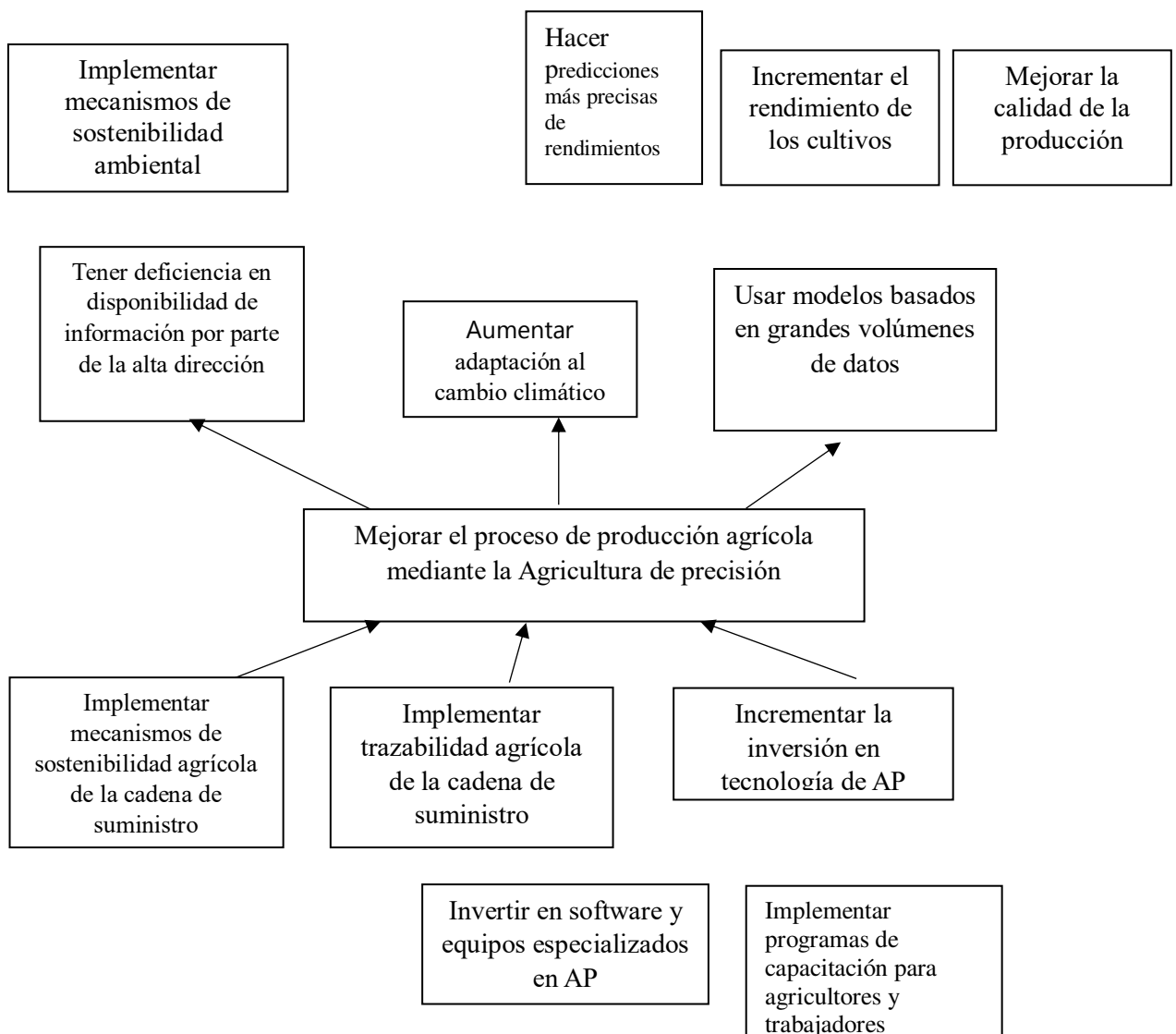


Figura 4: Árbol de objetivos - Fuente: Elaboración propia 2024

Fuente: Elaboración propia

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar el proceso de producción agrícola mediante la Agricultura de precisión

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Implementar mecanismos de sostenibilidad agrícola de la cadena de suministro
2. Implementar trazabilidad agrícola de la cadena de suministro
3. Incrementar la inversión en tecnología de AP

Análisis comparativo de la agricultura convencional con la agricultura de precisión

La tabla 1 muestra las diferencias sustanciales entre la agricultura convencional y la agricultura de precisión (KREIMER, 2003).

Agricultura Tradicional	Agricultura de Precisión
Aplicación de pesticidas	
Trata todo el campo de cultivo como una superficie uniforme con necesidades similares.	Gracias al tratamiento de imágenes aéreas, junto con las técnicas de digitalización, GPS y GIS, puede elaborarse un mapa del terreno con diferentes zonas detalladas, pudiendo prescindir la cantidad exacta de pesticida a aplicar en cada zona, según sus necesidades.
Empleo de banderas humanas para señalar a los aeroplanos dónde aplicar los pesticidas.	Empleo de GPS para indicar a los aeroplanos dónde descargar los pesticidas, y en qué cantidad, gracias a los mapas previamente elaborados.
Aplicación de abonos	
La cantidad de abono a aplicar se determina por medio de la composición de diferentes muestras del terreno: al final requiere una aplicación uniforme de lo que se cree una buena estimación de la cantidad apropiada (se trata de una media).	Permite una aplicación específica según las necesidades de cada región, con dos métodos: - Empleo de DGPS para dividir el terreno según una rejilla, con celdas de tamaño determinado por el usuario, posibilitando el acceso preciso a un punto concreto de cada celda, recoger una muestra y aplicar el abono estimado para cada celda. - Empleo de fotografías aéreas. Éstas se digitalizan, georreferencian y basándose en sus características se determina la cantidad de abono a aplicar en cada punto exacto del terreno. DGPS se encargará posteriormente de dar cada coordenada al vehículo de abono, así como la cantidad a aplicar.

Mapa de rendimiento	
Sólo es posible sospechar que unas zonas producen más que otras, un estudio detallado supondría un elevado esfuerzo y muchas horas de trabajo.	Durante la cosecha, mediante la combinación de DGPS y sensores de grano, es posible recopilar los datos necesarios para elaborar un mapa preciso y detallado del rendimiento del cultivo.
Decidir si una zona de terreno produce por encima de los costos es una labor arriesgada.	Las técnicas de viabilidad temporal junto con los mapas de rendimiento y los costos variables permiten tomar una decisión adecuada acerca de qué zonas sería mejor no cultivar, ya que producen gastos.

Tabla 1 Comparación de AP

Fuente: Elaboración propia

1.4 JUSTIFICACIÓN

El problema de las deficiencias en la agricultura en el Perú como en el resto de los países es de vital importancia y trascendental, dado que involucra aspectos como alimentación y salud de la población que se vinculan con problemas de pobreza, como bien señala el INEI el 41% de hogares agrarios se encuentra en situación de pobreza, casi el doble que los hogares no agrarios.

Las tecnologías existentes deben estar al servicio del bienestar humano, Según Toffler, vivimos en una sociedad del conocimiento, que se caracteriza porque la base de la producción son los datos, las imágenes, los símbolos, la ideología, los valores, la cultura, la ciencia y la tecnología.

El bien máspreciado no es la infraestructura, las máquinas y los equipos, sino las capacidades de los individuos para adquirir, crear, distribuir y aplicar creativa, responsable y críticamente (con sabiduría) los conocimientos, en un contexto donde el veloz ritmo de la innovación científica y tecnológica los hace rápidamente obsoletos. Sin embargo, estos deben estar al servicio del desarrollo en los diferentes sectores, en específico el sector agrario.

La principal justificación de la AP es la necesidad de optimizar la gestión de la agricultura que involucra la obtención de información más precisa y trazabilidad, así como reducir el impacto ambiental e incrementar la cantidad y calidad de productos nutritivos (EZCARA, 2012)

1.5 BENEFICIOS

Los principales beneficios de la agricultura de precisión podrían ser los siguientes:

- a. Gestión optimizada de las explotaciones.
- b. Reducción de la aplicación de pesticidas y fertilizantes.
- c. Menor impacto medioambiental.
- d. Productos con mayor valor nutritivo.
- e. Obtención de información más precisa y de trazabilidad, muy importante en las zonas con carencias de nitrógeno.
- f. Reducción de combustible en maquinarias.
- g. Otros beneficios adicionales son generados al supervisar la información.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Esta sección tiene por finalidad contextualizar al lector con los conceptos más importantes e ideas centrales que se ha utilizado para el desarrollo de este trabajo.

2.1. CONCEPTOS RELACIONADOS A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

2.1.1. AGRICULTURA DE PRECISION (AP)

La AP es un concepto de gestión agropecuaria que utiliza técnicas digitales para hacer un seguimiento de los procesos de producción agrícola, evaluar sus resultados con el propósito de optimizarlos. El objetivo es ahorrar costos en la utilización de recursos (energía, abonos, plaguicidas, etc.), reducir la repercusión medioambiental y producir más y mejores alimentos. Los métodos de la AP se basan principalmente en la combinación de las nuevas tecnologías de sensores, la navegación por satélite y la tecnología de posicionamiento, así como el internet de las cosas (EPRS, 2016).

Cuando existen dificultades en los procesos de producción agrícola (abono, siembra, cosecha), en lugar de aplicar el mismo tratamiento en la totalidad, se mide las variaciones en las condiciones de un campo y adapta en consecuencia la estrategia de en las zonas afectadas. Los métodos de la AP prometen aumentar la cantidad y la calidad de la producción agrícola utilizando menos insumos (agua, fertilizantes, pesticidas etc).

Fountas et al. (2003), definen la agricultura de precisión como el “manejo de la variabilidad espacial y temporal de los campos”. Incorpora en su definición el uso de una variedad de herramientas de gestión y TIC para evaluar y manejar la variabilidad del campo (Verand, 2023). Señala las diferencias entre la agricultura tradicional y la de precisión, las ventajas de utilizar la agricultura de precisión son evidentes, debido a la posibilidad de usar recursos de forma específica y en dosis adecuadas, de acuerdo a las necesidades del cultivo. Gestionar en forma diferenciada el campo evita la

aplicación de insumos de forma general en zonas donde no son necesarios, o donde se necesita la aplicación de cantidades inferiores, generando un impacto ecológico positivo al mismo tiempo que se reduce el uso de recursos energéticos.

Según la CEPAL (CEPAL, Observatorio de Agricultura digital, 2023), los expertos en el área de agricultura de precisión, coinciden en señalar que existen barreras para la adoptar las tecnologías digitales transformativas del agro en América Latina. Algunas de estas son:

- a) Falta de confianza de los usuarios en las nuevas tecnologías o en aquellos que las comercializan.
- b) Falta de una capacitación adecuada para su manejo y para entender sus beneficios.
- c) Falta de acceso al crédito para su implantación, aspectos legales y regulatorios en algunos países.

El Observatorio de Agricultura Digital viene acompañado al observatorio de Vigilancia Tecnológica, que nos permiten conocer, monitorear y relacionar los tres ejes de las principales barreras mencionadas.

Ventajas y Desventajas

Según (Cortez, 2023) la AP presenta las siguientes ventajas y desventajas:

2.1 Ventajas de la AP

Entre los principales beneficiarios de la AP se considera a los agricultores, los consumidores finales y, en especial, el medio ambiente. La AP presenta algunos beneficios y ventajas como las que se detallan a continuación:

- a) Aumento de la productividad,
- b) Mejora el proceso de toma de decisiones,
- c) Reducción del impacto en el medio ambiente,

- d) Reducción del uso de químicos, y
- e) Reducción de los costos de recursos (luz, agua, combustible, etc.)

2.2 Desventajas de la AP

- a) Inversión de capital.
- b) Acceso a Internet.
- c) Formación y conocimientos básicos en uso de tecnologías.

Resumen del estado de indicadores ilustrativos del acceso y aprovechamiento de tecnologías digitales en el sector rural:

Tema	Indicador	Situación general
Infraestructura	Cobertura eléctrica en áreas rurales	65 a 98%
	Población rural con acceso a conexión significativa	37%
	Acceso a 4G de población rural	17%
	Costo de internet	
	Familias que poseen teléfonos móviles	75% o más
Habilidades	Población rural con aptitudes digitales específicas	17,1 % o menos de individuos tiene aptitudes específicas
	Uso de internet en zonas rurales	26,2 % no sabe qué es 52,2 % no sabe usarlo
Uso	Uso de diferentes tecnologías por productores	Datos muy escasos y heterogéneos

Tabla 2 Estado de indicadores ilustrativos

Fuente: CEPAL

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ec3e9a9f-593e-4c55-85a3-b5eefbeca839/content>

2.1.2. AGRICULTURA 4.0

Llamamos **Agricultura 4.0** a un conjunto de tecnologías centradas en la digitalización de los procesos agrícolas. Estas tecnologías contribuirán a cumplir los propósitos de la AP. La agricultura 4.0 involucra equipos, software y sistemas que pueden mejorar el proceso de producción en sus diferentes fases, haciéndolo más rápido, económico y sostenible. Estamos viviendo la 4ª Revolución Industrial, que no sólo ha transformado los métodos de producción en las fábricas, sino que también ha modificado los procesos en la agroindustria, dando lugar a la Agricultura 4.0. (BASF, 2023). Ya en algunos lugares del mundo se realizan seguimientos de cultivos de trigo o maíz por satélite, junto con sistemas de riego inteligente en explotaciones súper-intensivas de olivares.

Gracias al impulso del “**Pacto Verde**”, que consiste de una serie de iniciativas políticas cuyo objetivo es situar a la Unión Europea en el camino hacia una transición ecológica, con el objetivo último de alcanzar la neutralidad climática de aquí a 2050, y también, la estrategia “**de la granja a la mesa**”, se van a potenciar estas innovaciones. La Asociación Europea de Innovación para la Productividad Agrícola y la Sostenibilidad (EIP-AGRI), creada por la Comisión Europea, Ha recogido una serie de recomendaciones, la primera de ellas: que "los agricultores deben participar activamente en el desarrollo de **herramientas de agricultura de precisión para garantizar beneficios claros** en términos de mejora de la productividad y sostenibilidad medioambiental".

El nombre de **Agricultura 4.0** se asocia al término Industria 4.0, aludiendo al término de la 4ª Revolución Industrial. Actualmente el binomio datos y tecnología sirven como motor para automatizar los procesos de producción de la forma más autónoma posible.

Al igual que las fábricas, el sector agrícola también ha pasado por otras etapas de evolución antes de llegar a la Agricultura 4.0.

Generación	Características
1.0	Caracterizada por la agricultura de subsistencia, en donde el propósito es sobrevivir. Aun es muy común en el país y tiene una baja productividad y uso de energía debido al difícil acceso a la tecnología.
2.0	La agricultura 2.0 surgida en la década de 1950, represento el avance de la ciencia en el campo y la llegada de maquinaria para impulsar la producción. Este proceso se produjo en todo el mundo, también conocido como la Revolución Verde por los nuevos métodos de cultivo difundidos.
3.0	Entre 1990 y 2010, tenemos la aparición de la Agricultura 3.0 en la industria. Esta etapa se caracteriza por el inicio de la automatización y la recolección de datos para aumentar el rendimiento de los procesos agrícolas. Junto con esto, también comienza una preocupación por el medio ambiente debido a los daños sufridos en años anteriores por la expansión desenfrenada de la agroindustria.
4.0	Donde tenemos a la naturaleza no sólo como una preocupación, sino también como un requisito a tener en cuenta en los métodos de cultivo. Esta fase se produce después de 2010 y también incluye la creación de nuevas herramientas digitales para mejorar los resultados de la agricultura combinada con la sostenibilidad.

Tabla 3 Evolución de las generaciones de la agricultura de precisión

Fuente: Elaboración propia 2024

2.2. CONCEPTOS RELACIONADOS A LA TECNOLOGÍA

2.2.1 Tecnologías digitales (TD):

Las TD pueden definirse como el conjunto de equipos, herramientas y sistemas informáticos, que incluyen una diversidad de dispositivos y desarrollos (sensores, aplicaciones y algoritmos, actuadores, redes de comunicación) que orquestados ofrecen una amplia gama de soluciones y beneficios. Entre sus principales beneficios, las tecnologías digitales habilitan la generación y el procesamiento eficiente de grandes volúmenes de datos, potenciando procesos de aprendizaje, decisión y operación. Asimismo, facilitan al máximo la conexión entre personas y entre dispositivos, potenciando la comunicación e interacción entre ellos. En las últimas décadas ha habido un desarrollo acelerado de tecnologías digitales, resultante de la evolución exponencial de las capacidades computacionales y del desarrollo informático y electrónico. Como consecuencia, se observa una creciente disponibilidad y accesibilidad a tecnologías que han venido transformando distintos ámbitos de la vida humana, incluida la agricultura (CEPAL, Perspectiva de las agricultura y el desarrollo rural en las americas, 2022).

2.2.2 Riesgos del avance de las tecnologías digitales en la agricultura

El avance de la aplicación de tecnologías digitales en la agricultura supone riesgos considerables, en simultáneo a los grandes beneficios potenciales.

- a) las TD podrían incrementar las brechas digitales dentro de la comunidad rural e incluso acelerar la exclusión de quienes no logren incorporarlas.
- b) Las TD generan cambios en los roles de actores y en los modos de relacionamiento, los cuales conducen a cambios en las relaciones de poder (OECD 2018, Scholz et al. 2018) y podrían generar conflictos y exclusión de quienes no tienen posibilidades de adaptarse (por ejemplo, recientemente se han observado conflictos de este tipo en industrias como la del transporte de pasajeros).

- c) Si bien la digitalización aumentaría la productividad de la mano de obra, la automatización de las tareas operativas (robots) y cognitivas (inteligencia artificial) generaría el desplazamiento y la exclusión de trabajadores (Acemoğlu 2021).
- d) Riesgos de violaciones a derechos de propiedad y privacidad de los agentes agrícolas asociados al tráfico y uso de los datos generados por las tecnologías. Para mitigar estos riesgos se requieren acciones concretas y anticipadas que aborden los factores que los determinan (por ejemplo, acceso a las tecnologías, formación de capacidades, marcos normativos, etc).

2.2.3 Tipos de tecnologías

- a) **Internet de las cosas:** La interconectividad de distintos dispositivos y programas como un organismo que funciona en tiempo real se denomina IoT. Este organismo permite el proceso de cultivo de plantas como una actividad controlada, regulada, analizada y corregida por tecnología inteligente automatizada tal como se muestra en la Fig. 5.



Fig 5 Internet de las cosas en agricultura

Fuente: <https://www.shutterstock.com/es/image-photo/smart-farm-technology-40-revolution-control-1929190274>

b) Este proceso pasa por dos etapas:

Primero: Geolocalización del área de cultivo utilizando sensores y un sistema GPS, que pueden colocarse en un dron o un tractor grabando y registrando datos sobre superficies, luego mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) analizan los datos recibidos para definir con precisión una serie de indicadores como ubicación geográfica del área, altura respecto al nivel del mar, el mapeo del suelo, canales, erosiones, etc., todo esto con el propósito de tener un conocimiento primario del espacio donde se proyectara realizar los cultivos.

Segundo: monitoreo con sensores para elaborar un Mapa de rendimiento con indicadores de las propiedades del suelo, grado de salinidad, de nitrógeno, de fosfatos, de acidez, grado de humedad, entre otras, necesarios para determinar la humedad requerida, cantidad de semillas necesarios por áreas de tierra, tipo y cantidad de abono a utilizar, así como los mecanismos para combatir plagas.

c) **Inteligencia artificial (IA):** La IA abre un abanico de posibilidades para generar valor en la agricultura, con el propósito fundamental es la reducción de insumos y la automatización de las tareas. La IA brinda un conjunto de técnicas (redes neuronales, machine learnig, Deep learning entre otras) para medir las tasas de producción de cultivos, proporcionando una valiosa información para los clientes de la cadena de suministro (EOS, 2023) . Las técnicas de IA aplicada a la AP se orientan al uso de satélites para la detección de los patrones de crecimiento de áreas vegetales (cultivos, bosques, áreas verdes urbanas) (Perez, 2015).

d) **Tecnología de tasa variable (VRT):** Se refiere a la tecnología o método que se usa para controlar con precisión la cantidad de insumos aplicables dentro de zonas agrícolas definidas (tal como se

muestra en Fig. 6). VRT utiliza software especializados, controladores y un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS). Básicamente hay tres enfoques para la VRT – manual, basado en mapas o datos de sensores.



Fig.6: Tecnología de tasa variable

Fuente: http://agriculturadeprecisionparaeldesarrollo.com/combinando-eficiencia-y-agronomia-en-la-agricultura-de-precision/#google_vignette

- e) **Sensores:** El agricultor que use métodos de precisión como los sensores para sus procesos de producción será mucho más próspero que un agricultor tradicional. El binomio: prácticas de cultivo y uso de la tecnología y datos en tiempo real le darán una ventaja sustancial frente a métodos antiguos. Al mismo tiempo, gracias a los datos se puede hacer recortes en procesos innecesarios y, hasta contraproducentes que se ejecutan dentro de las plantaciones y, así, rentabilizar el negocio. Los sensores son una pieza clave en IoT, amparándose en la miniaturización, nanotecnología, comunicaciones inalámbricas están impulsando el desarrollo grandes redes inalámbricas de sensores capaces de monitorear el entorno de forma autónoma y ubicua, como se muestra en Fig7. Los sensores capturan un gran volumen de datos, que serán analizados generando información muy valiosa que servirá para mejorar la calidad de los cultivos

al mismo tiempo que reducir el impacto sobre el medio ambiente (Joyanes, 2013).



Fig 7 Sensores en agricultura

Fuente: <https://metos.com.br/es/soluciones/imetos-ag/>

Existen varios tipos de sensores:

Sensores termales infrarrojos

El tan temido estrés hídrico en los cultivos, principalmente demostrable al analizar las raíces, desencadena varios procesos hormonales en los alimentos y que impiden su transpiración.

Esta disminución de la energía en las plantas, es totalmente detectable por la termografía infrarroja, lo que permite que los productores puedan identificar deficiencias en la temperatura con alta precisión y tomar acciones concretas que salven el cultivo.

Sensores multiespectrales e hiperespectrales

La clorofila en las plantas determina el estado nutricional, por eso, estudiar la cantidad de clorofila presente en las hojas de las plantas, es una excelente manera de conocer si los cultivos están experimentando un déficit nutricional, alguna enfermedad, entre otros.

Con este tipo de sensores, es posible obtener información relevante que no se puede obtener a simple vista.

Sensores N, P, K

Existe diversidad de sensores para agricultura de precisión, pero en general, los NPK son aquellos que determinan el nivel de algunos nutrientes específicos en el suelo, por ejemplo: **nitratos; fosfatos; potasio**; entre otros.

Los expertos en agricultura señalan que el nitrógeno participa en la mayoría de los procesos bioquímicos que componen y alimentan a la vida vegetal y animal, sin embargo, el exceso de nitrógeno puede tener efectos adversos en los cultivos. El exceso de nitrógeno puede retrasar la maduración de los cultivos, incrementar las posibilidades de que se rompa el tallo debido a su debilitación, producir el crecimiento excesivo de las plantas a expensas del correcto desarrollo del fruto y causar peligros potenciales para la salud de las personas y animales debido a la acumulación del nitrato en las verduras de hojas o los cultivos de forraje.

El fósforo, por su parte fortalece el desarrollo de las raíces, cumple un papel muy importante en incrementar el sabor de los productos cosechados y estimular la formación de grasas, el almidón convertible y semillas sanas. La cantidad de fósforo en el suelo puede acabarse rápidamente al cultivar de forma continua si no se toman las medidas necesarias para devolver el fósforo a la tierra en forma de estiércol o fertilizantes comercializados.

Aunque el Potasio no es uno de los constituyentes importantes, también juega un papel destacado en muchas actividades fisiológicas de las plantas como el control de la acumulación de carbohidratos, sobre todo haciendo más resistentes a las enfermedades, aumenta el tamaño de los frutos, su sabor y además produce un efecto positivo en el color y fragancia de las flores.

El nivel óptimo de nitrógeno o de compuestos NPK (Nitrógenos, Fósforo y Potasio) es a menudo un proceso complejo que requiere la consideración de numerosas variables como el tipo de suelo, el precedente cultural y las

condiciones climáticas. La aplicación de fertilizantes, en el contexto de la denominada agricultura de precisión, se fundamenta en la sustitución de una dosis media constante a nivel de la unidad parcelaria, por una cantidad variable de acuerdo con la variabilidad intra-parcelaria (dentro de la parcela).

Es sensores digitales pueden incorporarse en la maquinaria para medir este tipo de datos en tiempo real y detectar la presencia de estos componentes químicos en el suelo, aunque con menor precisión que los estudios de laboratorios habituales, sin embargo, su importancia radica en que pueden dar indicios de valor a la hora de tomar decisiones y controlar los cultivos.

Sensores de PH

Estos sirven para medir la cantidad de acidez de los suelos, se instalan en la profundidad de la tierra (tal como se muestra en Fig. 8). La acidez es un indicador muy importante a la hora de sumar nutrientes a las cosechas, ya que de acuerdo al nivel de PH que tengan, serán menos o más solubles.



Fig. 8: Sensor medidor 3 en 1

Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-651335434-medidor-de-suelo-3-en-1-ph-humedad-luz-tierra-nuevo-_JM

- f) **Robótica:** los denominados robots agrícolas o agrobots están diseñados para realizar una actividad específica (recolección de frutas, transporte de alimentos/productos seleccionados/maduros), realizar trabajos pesados, labores que requieren precisión. Tenemos los robots autoguiados, el robot cosechador automático que poseen brazos automáticos para manipulación mediante la aplicación de visión artificial tal como se muestra en la Fig. 9 ((EDSRobotics, 2021). Actualmente en Reino Unido se utilizan robots agrícolas eliminan las malas hierbas con electricidad (PortalFruticola, 2021)



Fig. 9. Robots agrícolas

Fuente: <https://www.uri18.ch/europaeische-startups-revolutionieren-die-landwirtschaft-durch-zukunftssichere-agtech-loesungen/>

g) **Drones:** Los drones son una de las innovaciones tecnológicas más famosas y utilizadas de los últimos años en diferentes áreas, pero muy especialmente en los procesos de producción agrícola. Estos pequeños aparatos voladores permiten visualizar el cultivo de forma panorámica. Existen algunos modelos que funcionan de forma autónoma previa configuración. El **uso de drones en agricultura**, es una “herramienta” de gran utilidad, ya que permite conseguir resultados imposibles de obtener con medios convencionales (tal como se muestra en Fig. 10). Sin embargo, deben usarse apropiadamente. Los drones agrícolas ya son capaces de identificar ataques de plagas, falta de riego, fallos en la plantación e incluso el seguimiento de animales.



Fig. 10: Drones de regado agrícola

Fuente: <https://manlybattery.com/es/definici%C3%B3n-y-tipos-de-robots-agr%C3%ADcolas/>

h) **Big Data:** El uso de TICs ha impactado grandemente en la AP, estimándose que su valor de mercado alcance los 5.090 millones de dólares para 2023. (Yepley, 2022); bigdata surge como un concepto utilizado en las diferentes fases (recopilación y análisis inteligente de datos) y conforman un binomio con el software de gestión para un trabajo simplificado y eficiente.

i) **Tecnologías de automatización de procesos (TAP):** los TAP son sistemas que siguen un procedimiento efectivo(algoritmo) con el propósito de reducir la carga agrícola pesada y mejorar la puntualidad e inclusive la precisión, para este propósito disponen de la robótica y el uso de maquinaria. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define la mecanización como “el uso de todo tipo de maquinaria y equipo, desde herramientas manuales sencillas y básicas hasta maquinaria más sofisticada y a motor, en las actividades agrícolas” (FAO, 2022).

j) **Maquinaria de conducción autónomas (MCA):** Mediante sensores tecnológicos e inteligencia artificial, los vehículos motorizados(tractores) ya pueden realizar sus funciones de forma autónoma en el cultivo, es decir, no necesitan un operario que guíe la máquina. Este avance en la tecnología se refleja en los resultados de las cosechas y en la reducción de las pérdidas durante el proceso tal como se muestra en Fig. 11



Fig.11: Maquinaria de conducción autónomas (MCA)

Fuente: <https://www.tecnopl.com/conduccion-autonoma-para-cosechadoras-grandes-dimensiones/>

k) **Software para la toma de decisiones**

Los softwares de decisión son soluciones que proporcionan un mayor asertividad en la producción. Estas herramientas analizan diferentes factores para ayudar al agricultor, en temas como finanzas, clima, fertilizantes, plagas y algunos otros elementos que el cultivo puede necesitar durante el periodo de siembra.

l) **Sistemas de posicionamiento global (GPS)**

Los Sistemas GPS son muy útiles en los diferentes procesos agrícolas, ya que los agricultores podrían usarlos para mejorar sus procesos (JACTO, 2023) tal como se muestra en la fig. 12 su uso ofrece varias ventajas para los agricultores y profesionales en el área, sin embargo, se requiere constante de capacitación y desarrollo de capacidades.



Fig.12: Sistemas de posicionamiento global (GPS)

Fuente: <https://ojo.pe/actualidad/nasa-descarta-que-satelite-artificial-caiga-sobre-america-del-norte-93620-noticia/>

El uso del GPS en la agricultura permite medir áreas, planificar la plantación, mapeo de campo, muestreo de suelos, inspección de cosechas entre otros (Agroempresario, 2020):

-Planificación de cultivos, estableciendo cronogramas de fechas para la plantación, cantidad de semillas

- **Levantamiento de mapas topográficos**; pueden hacerse estudios técnicos de los terrenos para conocer las variaciones y alteraciones que podrían afectar los cultivos
- **Exploración de cultivos**: es más sencillo y preciso la recopilación de información sobre el desarrollo de las plantas, de tal forma que se puedan evitar sosteniblemente la proliferación de plagas
- **Muestreo de suelos**: para diagnosticar el estado nutricional del suelo que permita determinar el tipo y cantidad de fertilizantes que se deben usar
- **Orientación de maquinarias**: puede planificarse la instalación de maquinarias que funcionen en forma autónoma con una guía visual que emita imágenes que proporcione datos o imágenes por donde pasa el tractor, por ejemplo
- **Aplicación de pesticidas y fertilizantes**; el proceso de aplicación de estos elementos es más preciso y exacto pudiendo cubrir áreas mayores en menor tiempo, sin afectar áreas que no necesitan de su aplicación
- **Cosecha precisa**: contribuye a determinar qué áreas están prestas a su cosecha, puede determinarse el tamaño del sitio para que a su vez se estime los recursos necesarios para la cosecha

2.2.4 Aplicaciones

6.1 Zonificación de terrenos: La agricultura tradicional o convencional considera generalmente que el espacio de cultivo es totalmente homogéneo. No es así, esta suposición trae como consecuencia un considerable desperdicio de insumos en la cadena de producción. Frente a ello, se requiere facilitar el proceso de planificación y coordinación de las actividades del sector agrícola, siendo necesario zonificar los terrenos, identificar las particularidades de cada lugar dentro de una misma zona de cultivo debido a lo irregular de la zona de producción y composición del suelo para asignar en forma eficiente

la cantidad de recursos (nutrientes) (BASF, 7 aplicaciones de agricultura de precisión, 2023).

6.2 Optimización del uso de insumos: La AP tiene como propósito optimizar el uso de insumos como semilla, fertilizante y agua, entre otros, aumentando los rendimientos y calidad de los cultivos (Infortambo, 2023)

6.3 Identificación de malezas dentro de plantaciones: Los drones (y otros robots), sensores, software, etc. Proveen gran ayuda para realizar tareas agrícolas con minuciosidad (**detectar malezas y cultivos enfermos** desde el aire) , eficiencia (ahorro de suministros y recursos) y en menor tiempo, labores que resultan difíciles para los seres humanos.. (Proxima, 2019).

6.4 Facilitar el proceso de siembra: El éxito del proceso de siembra dependerá de la elección correcta del tipo de plantas y también de su momento de siembra, debe clasificarse las especies según sus necesidades y características, monitorear el estado de las semillas, preparar el suelo, identificar la maleza, y sembrar de la manera indicada, en todas estas actividades interviene la tecnología (sensores, drones, robots) para hacerla as eficiente.

6.5 Creación de mapas de cosecha (MC): Como se mencionó, es un error considerar que todas las zonas son homogéneas y su tratamiento es general causando un gran desperdicio y un trato innecesario. El tratamiento de cultivos diferenciado permite ajustar la distribución de insumos (fertilizantes, pesticidas, agua de riego, etc.) así como también la intensidad de la actividad agrícola en función de las necesidades locales. El MC, particiona las áreas de manejo como subregiones, en la que cada una de estas si tiene cierta característica de homogeneidad de rendimiento y para los que un tratamiento uniforme basado en el terreno podría ser perjudicial (UDL, 2010). El concepto de manejo Sitio Específico (MSE) consiste en el tratamiento eficiente (elegir lugar adecuado y el momento oportuno) de los

procesos agrícolas, en contraposición a la mecanización de la agricultura homogénea que prevalecía en el siglo XX propiciada por la gran motivación económica de ese entonces(Lago, 2011).

6.6 Aplicación de insumos a tasas variables: La AP pretende evitar sobrecostos en el presupuesto del agricultor, lo cual derivara en maximizar la eficiencia en el suelo, mejores rendimientos al final de cada ciclo productivo, gracias a las correcciones precisas en las parcelas.

CAPITULO III:

ESTADO DEL ARTE

3.1 TRABAJOS NACIONALES

3.1.1 REGISTRO DE IMÁGENES PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN USANDO LENGUAJE C

Jorge Enrique Barba Escudero, 2012 PUCP

Actualmente las grandes empresas agroexportadoras utilizan la “agricultura de precisión” mediante drones ya han sobrevolado más de 60,000 hectáreas en los valles de Villacurí, Olmos, Lambayeque, Piura y pueden indicar luego de procesar los datos, con software especializados se puede determinar, qué zonas de sus campos son los más o menos eficientes, los problemas que se presentan (como falta de agua o plagas), o calcular la producción de una cosecha. Agregan valor e identifican riesgos en la agricultura. (RIN, 2023)

La agricultura de precisión en el Perú debe garantizar su eficiencia y sostenibilidad (Cortez, 2023). Ya desde el 2012, se vienen realizando estudios, como la tesis en la PUCP que muestra un registro de imágenes para agricultura de precisión usando lenguaje C (Barba, 2012) , este sistema informático aprovecha el aumento de la capacidad de procesamiento de las computadoras para la manipulación de la imagen con mayor eficiencia. Además, la continua mejora de algoritmos usados para el procesamiento de las imágenes permite extraer más eficientemente información que no se podrían obtener con la información en crudo

3.1.2 Desarrollo de un controlador agrícola para Agricultura de Precisión con LoRaWAN para banano y mango orgánico

El presente estudio muestra un prototipo de controlador agrícola, el cual permite llevar un control más exacto de lo que sucede en los terrenos de cultivo. La propuesta, basada en tecnología LoRaWAN en el marco de la agricultura de precisión, puede relacionarse con sistemas de riego tecnificado (Oquellis, 2020)..

3.2. TRABAJOS INTERNACIONALES

3.2.1 Agricultura de precisión en Brasil

Recién en la década de los 90 se introdujo la AP en el Brasil, sin embargo, recién a partir del año 2000 tuvo una mayor expansión, debido a los avances en la tecnología electrónica y popularización de los equipos de GPS. La adopción de la AP estuvo marcada por una dependencia tecnológica. En el ámbito de estudios académicos, este nuevo sistema introducido al Brasil se introdujo primero gracias a la Escuela Superior de Agricultura “Luiz de Quieroz”, unidad de la Universidad de São Paulo, que fue una de las instituciones pioneras en estudios en AP al organizar en 1996 el primer Simposio sobre Agricultura de Precisión. Después la Universidad de Santa María, en sur del país, pasó a ser uno de los centros más representativos sobre la temática de AP, logrando crear un master profesional en AP. (Rocha_de_Moraes, SN). Varios autores han coincidido en señalar que, la adopción del AP en Brasil aparte de ser lenta es desigual. Los centros de investigación en AP se encuentran muy alejados de los productores lo que dificulta su acceso, el alto costo de los equipos importados de alta tecnología influye también de sobremanera, así también los bajos precios de la mano de obra.

3.2.2 Agricultura de precisión en Chile

Estudios diversos en Chile muestran una variabilidad espacial muy alta en la producción agrícola, tanto en volumen como en calidad. Muchos de los productores han identificado mucha similitud entre las características productivas en sus predios. No obstante, recientemente las herramientas disponibles no les permitían cuantificar ni delimitar claramente esta variabilidad. Cuando se cosechan en los sectores de menor calidad, estos se confunden con las cosechas de los sectores de mayor calidad y el potencial de ventajas de estos últimos no pueden ser expresadas. (GobChile, 2009). Por otro lado, al manejar en forma homogénea los espacios agrícolas con una alta tasa de variabilidad espacial repercute en un uso ineficiente de los recursos, generando pérdidas económicas

significativas en insumos y labores agrícolas (Robert et al., 1995). Esta situación anómala se ha revertido en Chile, logrando convertirse en el mayor exportador frutícola del hemisferio sur, alcanzando 2,6 millones de toneladas de envíos de fruta al extranjero. Chile utilizando satélites y nano satélites captura imágenes aéreas a diferentes escalas espectrales posicionándolo a la vanguardia en tecnología agrícola. Mediante el uso de drones, se toman fotografías para aplicar pesticidas o algún tipo de producto sobre las plantaciones (UCM, 2020). El programa **Agua Control** ha instalado una red de sensores y mandos remotos que minimizan la necesidad de consumo de agua de riego, sobre todo considerando la amenaza ocasionada por el cambio. Otra empresa innovadora chilena, **Austral Falcon**, que articula la visión artificial de los vehículos con la inteligencia artificial a fin de recopilar datos y digitalizar procesos, usando aplicaciones para estimar futuros rendimientos de las cosechas.

3.2.3 Investigación sobre elevada variabilidad espacial y temporal.

La heterogeneidad espacial en las áreas agrícolas depende de muchos factores ambientales: calidad de los suelos, la presencia de malezas, enfermedades o plagas.

Por su parte, la variación temporal se relaciona principalmente a diferencias en las condiciones climáticas entre años y a las prácticas de manejo. (Geolnova, 2023). Cuando se utilizan las tecnologías de AP para la optimizar la aplicación de fertilizantes, se analiza la variabilidad espacial del área agrícola, con el objeto de determinar qué áreas requieren más fertilizantes y cuáles requieren menos. Mas aun determinar en el momento oportuno que fertilizante debe ser aplicado, para obtener resultados óptimos. Determinar la variabilidad temporal es de vital importancia, puesto que fisiológicamente se sabe, que no es lo mismo aplicar fertilizante nitrogenado durante la germinación que durante la floración.

3.2.4 Margaret: IA para la agricultura

Margaret es una plataforma de Inteligencia Artificial agroalimentaria, fue creada para análisis predictivo, gestionar diferentes escenarios futuros, con el propósito de analizar el impacto en la estrategia corporativa y ayudando a tomar la mejor decisión para cada objetivo de negocio.

Margaret tiene un motor de procesamiento que mediante algoritmos y modelos de IA analiza un *big data* agroalimentario, además permite desarrollar APPS adaptadas a la necesidad de cada productor, u otro actor de la industria complementaria. Para lograr su propósito, estructura y relaciona las diversas fuentes de datos históricos de operaciones de la empresa relacionándolos con los datos proporcionados por los sensores disponibles, predicción de clima, fuentes legales o estudios de mercado.

3.2.5 Japón agricultura hidropónica

La hidroponía consiste de un sistema de **producción agrícola** que utiliza sustratos (soluciones nutritivas) que contienen elementos necesarios para el crecimiento de la planta, sin que sea necesario un suelo agrícola tradicional. En este sistema las raíces de las plantas crecen en un medio inerte como la perlita, grava o incluso arena lavada, siendo lo más común que se desarrollen en una solución acuosa. (AGROSOLMEN, 2024)

¿Cómo funciona un sistema hidropónico?

Existen varios métodos para implementar un sistema hidropónico

Sistemas de producción de cultivos en solución nutritiva Sistema NFT	Sistemas de producción de cultivos en solución nutritiva Sistema NGS	sistema de raíz flotante	Sistemas de producción en sustrato	Sistemas de producción expuestos al aire
Es el método más común, consiste de tubos de PVC con orificios en la parte superior a través de los cuales se crea una película recirculante de solución nutritiva que es impulsada por una bomba. En los orificios se colocan las plantas y las raíces absorben los nutrientes de la solución en los tubos	Es un método de cultivo recirculante que no necesita sustrato. Consiste de bolsa que cuenta con distintas capas de polietileno dispuestas en forma de cascada, las raíces de las plantas van explorando sin restricción alguna.	Este sistema permite que las plantas se sostengan por una lámina ligera de unicel, las raíces flotan en forma permanente en una solución nutritiva.	A diferencia de los demás utiliza un material sólido distinto del suelo que sirve de sostén y anclaje a la planta, facilita la aireación, el drenaje, la humedad y la absorción de nutrientes permitiendo que las plantas no presenten ningún problema para su desarrollo.	También denominados cultivos aeropónicos, se incluyen en el grupo de hidroponía vertical , es el más empleado en los jardines hidropónicos . Utilizan en su fabricación cilindros de PVC con perforaciones en las paredes laterales, en donde se introducen las raíces de las plantas, y absorben los nutrientes que se encuentran en la solución

				nutritiva pulverizada a presión.
--	--	--	--	--

Tabla 4 Métodos para implementar un sistema hidropónico

Fuente Elaboración propia

3.2.6 Agricultura moderna: sin tierra ni trabajadores

Actualmente Japón promueve la agricultura sin tierra ni trabajadores. Yuichi Mori, científicos japoneses, tomo como referencia las membranas utilizadas en los riñones artificiales para desarrollar películas de polímeros para su uso en la agricultura. La técnica utilizada consume un 90% menos de agua que la agricultura convencional, además que no requiere de pesticidas, debido a que los poros del polímero impiden el ingreso de los virus y las bacterias. Su técnica adaptó los materiales que se usan para filtrar la sangre en los tratamientos de diálisis renal al medio de crecimiento de las plantas. La empresa, Mebiol, ha registrado sus patentes en casi 120 países siendo el pilar para una revolución agrícola en Japón, sus campos agrícolas se han modificado sustancialmente utilizando la IA combinados con internet de las cosas, convirtiéndose en verdaderos centros tecnológicos. En un país donde tanto la tierra cultivable como mano de obra son escasas, la agrotecnología ha apostado por la precisión en el monitoreo y mantenimiento de los cultivos.

Asombrosamente la AP permite cultivar sin tierra o en áreas con escasas de agua, utilizando el método agricultura hidropónica (KAMATA, 2019).

Japón ha podido expandir su producción de frutas y verduras mediante su producción en invernaderos. Mirai Group es una empresa que se encuentra a la vanguardia en la producción de alimentos en modo vertical y cosechando actualmente alrededor de 10.000 lechugas por día. Así su productividad ese eleva a cien veces comparándola con el método convencional.

3.2.7 España: mapeo de suelo para cultivos

El mapeo de suelos es un requerimiento imperativo para los agricultores y gestores de tierras, ya que permite mejorar la productividad agrícola y minimizar el impacto ambiental optimizando el uso de recursos. El agricultor puede por ejemplo conocer las características específicas del suelo de una parcela y con esta información elegir los cultivos más adecuados, también puede determinar la cantidad precisa de fertilizante y usar prácticas de riego más eficientes, con esto se logra evitar el desperdicio de agua y la contaminación.

El mapeo supone hacer lo siguiente:

1. **Toma de muestras** del suelo para **análisis en laboratorios**
2. **Procesado de datos:** permite crear mapas temáticos de variabilidad por parcela: textura, materia orgánica, K₂O, P₂O₅, salinidad, topográfico
3. **Cartografía digital** por parcela mediante satélite para crear mapas que muestran los diferentes tipos de suelo y características en un área específica.
4. **Interpretación:** a partir del mapeo de suelos se diseña un informe final con resultados analíticos, mapas temáticos que permitirá guiar en la toma de decisiones relacionadas al uso del suelo, selección de cultivos adecuados, el riego y la gestión de uso de fertilizantes.

3.2.8 Riego localizado SRL

El riego localizado se sustenta básicamente en controlar la productividad del cultivo utilizando el agua como vehículo para la aplicación de nutrientes solo cuándo, cuánto y dónde la planta los necesita.

La eficiencia en el uso de los recursos definirá el desarrollo de muchos países, obligándolos a implementar en la agricultura sistemas de riego localizado de alta precisión, tal como se muestra en la Fig. 13 Con el desarrollo tecnológico, los diseños singulares de emisores, junto a la capacidad de fabricación, aseguran una calidad y eficiente uso del agua, marcando la diferencia en el uso del agua en la agricultura (AZUD, 2023).



Fig. 13 Riego localizado SRL

Fuente: <https://www.nutella.com/ar/es/dentro-de-nutella/calidad-e-ingredientes/lecitina>

Beneficios de los sistemas de SRL:

Precisión permite aplicar las estimaciones para el cuándo, cuanto y donde aplicar nutrientes.

Aplicación directa: se aplica el agua y nutrientes de forma directa.

Mayor control: de aplicación de agua y nutrientes.

Mayor eficiencia de aplicación del agua de riego.

Reducción del gasto energético.

Uniformidad en la producción en la superficie de cultivo.

integración de materias primas controladas

Procesos de alto grado tecnológico

3.2.9 El impacto de la digitalización en el empleo agrícola en Ucrania Ucrania y Eslovaquia

Países como Eslovaquia y Ucrania han utilizado la estrategia de transformación digital para potenciar el desarrollo del sector agrícola, con el propósito de brindar seguridad alimentaria, garantizar el empleo en el sector agrícola y las industrias relacionadas. Las plataformas digitales permiten recopilar y analizar datos, haciendo que la agricultura sea más precisa y productiva. Paradójicamente en Ucrania existe una baja correlación entre la cantidad de personas que se dedican a la agricultura y las inversiones en transformación digital, a causa de las limitaciones específicas de la agricultura y la infraestructura. Sin embargo, en Eslovaquia, es más eficiente el uso de las herramientas digitales en la agricultura. El éxito de la transformación digital se debe también a una simplificación de los procedimientos burocráticos, el apoyo a la investigación y la innovación, esto produce como resultado incremento en la productividad y la competitividad del sector (SERVILUZ, 2024).

3.2.10 Agricultura de precisión en China

China es uno de los países que se encuentra a la vanguardia en AP. La agencia estatal de noticias Xinhua señaló que el uso de nuevas tecnologías agrícolas en China se está convirtiendo en algo común. En 2022, las estadísticas indican que se produjeron alrededor de 77.630 millones de kilogramos de granos lo que representa el 11,3 por ciento del total nacional. La tecnología brinda beneficios (ahorra tiempo y recursos a los agricultores). El grupo Beidahuang Group, es uno de los principales productores de granos del país, y usan en sus diversos procesos drones agrícolas monitoreados desde su celular, con programas de rociado de fertilizante de manera uniforme para que las plantas lo absorban mejor. El trabajo de una hora de trabajo con drones equivale a cinco o seis horas de trabajo agrícola convencional, manifestó el representante del grupo. Un dron puede reducir los costos de mano de obra en un 40 por ciento. Se usan también tecnologías de riego modernas, como el riego inteligente y el riego por goteo

poco profundo, evitando así los errores humanos en el riego convencional (Mundo_Agropecuario, 2023).

3.2.11 Agricultura de precisión en la India

Hasta la década de 1960, India dependía en gran medida de las importaciones para satisfacer las necesidades alimentarias de su población. Las pérdidas de cosechas, las sequías y las hambrunas fueron muy frecuentes. La Revolución Verde sacó a la India de la era de escasez crónica de alimentos y ayudó a nuestro país a marcar el comienzo de la autosuficiencia alimentaria. Posteriormente, India se convirtió en un exportador de alimentos en la década de 1990 (Agrobusiness, 2024). Mali Narendra, propietario de Vadli Farm en el distrito de Banaskantha de Gujarat, usa una aplicación basada en imágenes de satélite para controlar lo que sucede en sus áreas de cultivo. Los agricultores de la aldea de Khutahan en Mirzapur incluyeron el uso de drones para la plantación de semillas. Sanjay Borkar, CEO y cofundador de FARERP, una plataforma de agritech para soluciones agrícolas inteligentes relata que: “A través de los datos que se recopilan a través de la agricultura de precisión o la tecnología profunda, se pueden tomar decisiones para los procesos agronómicos en las granjas. Las medidas adecuadas tomadas hacia la agricultura de precisión y la tecnología profunda deben estar disponibles a costos asequibles para estos agricultores y ayudarlos a mejorar su productividad y lograr una mejor rentabilidad”, El concepto de tecnología se refiere a tecnologías de vanguardia que se basan en innovaciones científicas y de ingeniería avanzadas. Chandra, es el fundador de **FarmBeats**, que comenzó como un proyecto de Microsoft Research en 2014 para habilitar la agricultura impulsada por datos y ahora está disponible como una plataforma para la agricultura digital en la forma de Azure FarBeats. Las Naciones Unidas, estiman que la población mundial alcance 9.8 mil millones para el año 2050, lo que significa que se incrementa las personas que alimentar sin que se incremente la cantidad de tierra arable y patrones de clima impredecibles debido al cambio climático. Desafortunadamente, las tecnologías actuales para obtener datos agrícolas son muy costosas, y hacen imposibles que los agricultores pequeños puedan pagarlas.

CAPITULO IV

METODOLOGIA

La presente investigación es de tipo descriptiva y comparativa.

Es descriptiva porque se analizan todos o algunas de sus principales elementos y caracteres de interés científico relacionados a la agricultura en especial la agricultura de precisión y el uso de la tecnología para el logro de sus objetivos

Es comparativa porque realiza un análisis comparativo en los procesos agrícolas sin y con el uso de tecnologías de la información

El estudio consiste en recolectar información relacionada a la agricultura de precisión en el Perú

Se realizan las siguientes actividades

- a) **Antecedentes:** Se muestra la situación del desarrollo del sector agrario
- b) **Problemática:** Se identifican los problemas existentes en el sector agrario causadas en gran medida por la ausencia del uso de tecnología.
- c) **Construcción de una perspectiva teórica;** se construye una perspectiva teórica que servirá de sustento para identificar las implicancias de la implantación de la agricultura de la precisión.
- d) **Construcción del estado del arte:** se hace una revisión de los estudios realizados relacionados al trabajo de investigación.
- e) Identificación de las implicancias de la implementación de la agricultura de precisión.

Según su relación con la práctica es de naturaleza aplicada, ya que tiene como objeto la aplicación de los logros de la investigación básica con fines prácticos.

CAPITULO V

IMPLICANCIAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA AP

La implementación de la Agricultura de Precisión trae consigo implicancias que se mencionan a continuación:

5.1 Eficiencia en el uso de recursos:

Sabemos que el agua es un elemento muy importante para la existencia del ser humano y de todo ser viviente, eso se vuelve más crítico conforme se incrementa la población en el mundo, la cantidad de agua que hay en el mundo no se incrementa en la misma medida que su demanda, tal como se muestra en Fig. 14. Frente a esta problemática, por esto los investigadores realizan denodados esfuerzos para garantizar el acceso a mayor cantidad de agua de calidad.



Fig14 El agua en cifras

Fuente: Plataforma del estado peruano

<https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras>

Según MIDAGRI, el Perú es un país privilegiado, ya que cuenta con 1.89 % de la disponibilidad de agua dulce del mundo, sin embargo, no existe una cultura de cuidado y consciencia de uso racional, por ello se fomentan mecanismos para cuidarla y administrarla con justicia y equidad para todos.

5.1.1 Optimización del uso de agua, fertilizantes y pesticidas (ISAM, 2024). Para optimizar el uso del agua, se aplican los siguientes mecanismos:

a. **Introduce alta tecnología en los sistemas de riego**

Todos los cultivos necesitan agua para su subsistencia en mayor o menor medida; el agua es un recurso imprescindible, la naturaleza lo provee por medio de lluvia, pero no es la cantidad necesaria. Es por ello que necesitamos de un riego de precisión, que consiste de un conjunto de técnicas para un uso racional del agua, evitando su desperdicio, que permita mantener la salud y el rendimiento de los cultivos. En la actualidad ya tenemos a nuestra disposición sensores de humedad del suelo para adquirirlos y que sean de apoyo para el agricultor, de esta manera ya se sabrá la cantidad de agua que ya poseen los cultivos y así se podrá evitar un uso innecesario de ella. A través de los algoritmos de inteligencia artificial se pueden predecir sequías, de esta forma sabremos las necesidades de las plantaciones, modelos de simulación de cultivos y herramientas meteorológicas.

Al usar sistemas de riego localizado se ahorra agua dado que este se dirige hacia las raíces, en consecuencia, se mejora la salud de las plantas con hidratación precisa, se reducen enfermedades al mantener el follaje seco y optimizan el uso de fertilizantes. (EOSDATA, 2024). Al usar sensores, el riego suele depender de la precisión a la hora de colocar los sensores en

los campos. Una alternativa menos costosa es obtener esa misma información mediante imágenes de satélite.

b. Utiliza sistemas de riego adecuados

En diversas áreas del Perú el agua es escasa y las sequías abundan, y en algunos casos son afectadas por fenómenos climáticos periódicos. Para contrarrestar esta situación es conveniente implementar mecanismos que usen herramientas y métodos eficientes para la gestión del agua en las prácticas agrícolas. El riego de precisión consiste en usar técnicas de riego de manera efectiva para producir una cosecha óptima. De las técnicas existentes, el sistema de riego por goteo es el que mayor agua ahorra, además es el más práctico y económico. Se implementan mediante múltiples tuberías bajo tierra con pequeños agujeros en ellas próximos a las raíces de la planta, causando un mínimo desperdicio por evaporación.

c. Almacena agua sobre todo en regiones más secas

En la actualidad ya tenemos a nuestra disposición sensores de humedad del suelo para adquirirlos y que sean de apoyo para el agricultor, de esta manera ya se sabrá la cantidad de agua que ya poseen los cultivos y así se podrá evitar un uso innecesario de ella. A través de los algoritmos de inteligencia artificial se pueden predecir sequías, de esta forma sabremos las necesidades de las plantaciones, modelos de simulación de cultivos y herramientas meteorológicas.

d. Reutiliza las aguas residuales

En los alrededores de zonas agrícolas, las aguas residuales tienen una composición variada, que son provenientes de las descargas de usos domésticos, municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuario y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas. Al eliminar los contaminantes de aguas contaminadas (como hidrocarburos y algunos compuestos orgánicos), se aprovechan y son reutilizadas en el regadío. La oxidación total funciona mediante la

aireación prolongada de las aguas (Cisneros, 2016). Las aguas no tratadas contienen patógenos, y al regar por inundación, goteo o aspersión podría contaminar el cultivo.

Usando esta técnica de riego por goteo, el agua llega de manera directa a la raíz de la planta y ya no los contaminantes; obteniendo así cada planta la cantidad de agua que necesita para desarrollarse.

De esta forma el agua que antes no se utilizaba se transforma en un activo importante.

e. Evita el desperdicio de alimentos

Eliminar el desperdicio de agua, según Instituto de recursos mundiales se desperdician 1,3 billones de toneladas, es decir, 166 trillones de litros de agua, lo que se traduce en casi el 24% del agua utilizada para fines agrícolas.

5.1.2 Reducción de costos operativos

Muchas regiones del mundo están experimentando crecientes problemas de déficits hídricos. La causa principal es el crecimiento cada vez mayor de la demanda de agua frente a unos recursos hídricos estáticos o en disminución y a las periódicas sequías debidas a factores climáticos.

Se estima que un calentamiento global de 2°C, como consecuencia del cambio climático, podría llevar a una situación en la que de uno a dos mil millones de personas no cuenten con agua suficiente para satisfacer sus necesidades de consumo, higiene y alimentarias. Frente a esta situación se resalta la reducción de costos operativos de implementar un sistema de aprovechamiento de aguas residuales.

El agua es un recurso con mayor demanda, y en muchos casos produce competencia entre sus diversos usos, sobre todo cuando se acerca al límite de su disponibilidad. Las áreas urbanas e industrializadas debido a su

mayor capacidad económica o incluso poder político pueden crear infraestructuras(reservorios) y nuevas formas de suministros de agua o reasignar suministros existentes desde las áreas agrícolas a las urbanas. En la competencia por el agua, desde el ámbito socio-económico las necesidades humanas se priorizan sobre las necesidades de los ecosistemas. Tradicionalmente, al carecer de políticas o controles gubernamentales, el agua ha sido considerada un bien común y público, no obstante, el abuso de este bien público, puede causar mayor perjuicio a los sectores con menos poder político y económico (Winpenny, 2013).

5.2 Aumento de la productividad:

5.2.1 Mayor rendimiento de los cultivos

Los beneficios de adoptar la agricultura de precisión dependerán en gran medida la estructura de la empresa agrícola, ya que los campos son variados en dimensión (hectáreas) y en su estructura productiva (orientación de los cultivos y del mercado). Teniendo en cuenta que la variabilidad dentro del campo se refiere a una escala espacial más manejable, la utilización de la AP dependerá de una evaluación específica de cada predio.

La agricultura de precisión puede ser una buena manera de abordar los retos que presenta la seguridad alimentaria, el agotamiento de los recursos naturales y el cambio climático, pero se deben hacer los esfuerzos necesarios para asegurar que los agricultores pequeños y medianos no se queden rezagados.

5.2.2 Mejor calidad de la producción

Según las estimaciones de la FAO, la producción de alimentos deberá crecer más de un 50% para 2050 frente al incremento de la población mundial, que alcanzará los 10.000 millones de habitantes. La adaptación de la agricultura podría significar para garantizar una producción alimentaria con buenas prácticas protegiendo los medios de vida de millones de agricultores y garantizando el suministro constante de alimentos para una población mundial en crecimiento.

5.2.3 Sostenibilidad ambiental:

• Disminución del impacto ecológico

La técnica que usa AP persigue el objetivo de maximizar la productividad a la vez que garantizar su sostenibilidad. Al ayudar a reducir el uso de recursos como insumos como fertilizantes y pesticidas reduce el impacto ambiental de la agricultura.

Reducción de deforestación	Reducción de fertilizantes y pesticidas	Uso preciso de agua
El logro de mayores rendimientos implica que es posible aumentar la producción sin necesidad de expandir el área agrícola, lo cual a su vez implica menos deforestación y agotamiento de los recursos naturales.	La reducción de las cantidades de fertilizantes y otros agroquímicos puede generar enormes beneficios en términos de reducciones de gases de efecto invernadero y menos contaminación de suelos y masas de agua por la escorrentía proveniente de los cultivos	El uso preciso del agua implica un importante ahorro de ese recurso tan escaso.

Tabla 5 Disminución del impacto ecológico

Fuente: Elaboración propia

• Conservación de suelos y recursos hídricos

El suelo no es algo estático, es un sistema en constante evolución, es dinámico, por tanto, posee características físicas, químicas y biológicas particulares (BPA, 2022). Los análisis de suelos proveen información valiosa acerca de la toma de decisiones sobre la aplicación de fertilizantes y se realizan de acuerdo a la orientación de un experto acreditados en laboratorios.

La administración responsable de este valioso recurso debe mejorar y potenciar sus características naturales a través de técnicas que aseguren la conservación de la fertilidad, minimizando la contaminación y evitando la erosión, la compactación y su salinidad. Como lo señala (Ortiz, 2024), se debe valorar la conservación de suelo y el agua considerando el cuidado del bien máspreciado para el desarrollo de la agricultura como es el medio ambiente. Para ello se debe considerar un equilibrio entre mejorar la producción tanto en cantidad como calidad si perjuicio del medio ambiente. Alineado a la agricultura de precisión surge el concepto de agricultura de conservación con enfoque sustentable por las siguientes razones:

- a) **Mejoran la rentabilidad:** Reducen costos a largo plazo y pueden aumentar los rendimientos.
- b) **Son adaptables al cambio climático:** Ayudan a crear sistemas más resilientes frente a variaciones climáticas.
- c) **Promueven la biodiversidad y la salud del ecosistema:** Importante para la sostenibilidad a largo plazo del ambiente agrícola.

5.3 Toma de decisiones basada en datos:

5.3.1 Monitoreo en tiempo real de cultivos y condiciones

Los sensores colocados a lo largo de las zonas agrícolas monitorean los cultivos en busca de cambios de luz, humedad, temperatura, forma y

tamaño. Cualquier anomalía detectada por los sensores es analizada y notificada al agricultor. Así, la teledetección puede ayudar a prevenir la propagación de enfermedades y vigilar el crecimiento de los cultivos.

Mediante técnicas de Analítica de cultivos es posible obtener visualizaciones relevantes del desempeño del cultivo para medir y pronosticar su evolución.

5.3.2 Predicciones más precisas de rendimientos

La seguridad alimentaria mundial se garantiza por la eficacia de las prácticas de gestión de alimentos, en esta intervienen la predicción del rendimiento, que permite a los agricultores cultivar de forma más sostenible. Las técnicas de machine learning y Deep learning para predicción del rendimiento y el análisis geoespacial, proporciona a agricultores, explotaciones agrícolas, empresas de seguridad alimentaria y otros responsables de la toma de decisiones los datos cruciales necesarios para una producción de cultivos sostenible y rentable. La predicción de alimentos presenta los siguientes beneficios:

Velocidad	Rentabilidad	Seguridad
Aumento de la velocidad en la toma de decisiones relacionadas con las operaciones de cosecha, almacenamiento y transporte	Datos sobre la rentabilidad en su zona de interés basados en la predicción del rendimiento de los cultivos.	Una gran oportunidad de reforzar la seguridad alimentaria mundial mediante la introducción de la predicción del rendimiento de los cultivos en países en desarrollo, ayudándoles a prevenir hambrunas, impulsar la economía local e implementar prácticas agrícolas sostenibles.

Tabla 6 Predicciones más precisas de rendimientos

Fuente: Elaboración propia

5.4 Cambios en la fuerza laboral:

5.4.1 Demanda de trabajadores calificados en tecnología

Países de gran potencial agrícola como India, China y Estados Unidos tienen la misma cantidad de tierra arable. Existe mucha capacidad y oportunidad para mejorar, pero para eso es necesario que los pequeños productores se empoderen, el pequeño productor, trabajando de forma independiente, puede encontrar dificultades económicas para emplear la agricultura de precisión, por lo que asociarse es fundamental para encontrar un camino viable para utilizarla. Se requiere personal más calificado el uso de recursos tecnológicos: drones, sensores y otros equipos y técnicas. Según la FAO, la agricultura emplea a más de mil millones de personas en todo el mundo, lo que representa aproximadamente un tercio de la fuerza laboral global. Sin embargo, a medida que las poblaciones urbanas aumentan y las oportunidades en otros sectores atraen a los trabajadores jóvenes, la agricultura se enfrenta a una creciente escasez de mano de obra calificada en agricultura de precisión (FEPROPAZ, 2023).

5.4.2 Posible reducción de mano de obra no calificada

La mano de obra agrícola es un gran desafío para muchos productores estadounidenses. Factores como las interrupciones en el cambio de la oferta agrícola han complicado el problema de la mano de obra agrícola. La industria agrícola constituye un pilar fundamental de la economía global, se encuentra en medio de una transformación sin precedentes en el siglo XXI. La esencia misma de la agricultura, que durante milenios ha dependido en gran medida de la mano de obra humana, está siendo redefinida por la irrupción vertiginosa de la tecnología. La AP se enfrenta a un desafío cruciales: la gestión de la mano de obra y la adopción efectiva de la tecnología (FEPROPAZ, 2023).

5.5 Inversión en tecnología:

5.5.1 Plataformas digitales de agricultura

El uso de agricultura de precisión requiere la Implementación de plataformas digitales de seguimiento al cultivo: en la actualidad se implementa plataformas digitales (sensores, drones y técnicas de IA) tal como se muestra en Fig. 15 que permiten hacer seguimiento en tiempo real al cultivo a través de contraste de imágenes de alta definición que muestren su evolución. Adoptar la agricultura de precisión no está exento de desafíos. La inversión inicial en tecnología puede ser alta, y la curva de aprendizaje para manejar estas nuevas herramientas puede ser empinada para algunos agricultores, especialmente para aquellos en regiones menos desarrolladas (Learning_heroes, 2024).



Fig 15 Inversión en tecnología

Fuente: <https://diariocorreo.pe/economia/minagri-pobreza-rural-puede-reducirse-en-casi-50-800439/?ref=dcr>

5.5.2 Necesidad de adquirir equipos y software especializados

A los elementos básicos de la agricultura que son el agua, el suelo, el clima, entre otros, se une la información y la tecnología para obtenerla. Estos elementos y su interrelación permiten lograr una relación óptima entre rendimiento, recursos disponibles y tiempo y dinero invertidos. Las herramientas que utilizan software de agricultura de precisión, permiten recopilar datos e interrelacionarlos para lograr una relación óptima entre rendimiento, recursos disponibles, tiempo y dinero invertidos (BBVA, 20214). El software agricultura de precisión trabaja en conjunto con la nanotecnología, sensores de parámetros, drones y satélites, inteligencia artificial en maquinarias como rociadores y análisis predictivos, teledetección, mapeo de las características de los suelos, Sistemas de Información Geográfica y protocolos móviles 4G y 5G.

5.5.3 Curva de aprendizaje para agricultores y trabajadores

La agricultura es desarrollada en gran medida en forma artesanal, siendo una de las más antiguas y significativas. Incluso puede ser uno de las más conservadoras. Muchos agricultores, representantes de la industria y propietarios de empresas agrícolas de todo el mundo se aferran a sus prácticas de décadas de antigüedad. Todavía no están ideológicamente preparados para dar el salto hacia la tecnología agrícola moderna (WISSE, 2022). La educación y capacitación son fundamentales para superar la curva de aprendizaje asociada con la agricultura de precisión. Diversas instituciones académicas y organizaciones agrícolas se están involucrando ofreciendo programas y talleres dedicados a enseñar a los agricultores cómo aprovechar al máximo estas tecnologías. Es fundamental la integración de las tecnologías de la información (TIC) en la **gestión inteligente de la agricultura**, apoyada en la nanotecnología, los sensores de parámetros como la humedad o la temperatura, la monitorización por drones y satélites, la inteligencia artificial aplicada en maquinarias como rociadores y análisis predictivos, teledetección, mapeo de las características de los suelos o 'software' SIG

(Sistemas de Información Geográfica), además de la comunicación entre dispositivos que propician el internet de las cosas y los protocolos móviles 4G y 5G.

5.6 Gestión de datos:

5.6.1 Manejo de grandes volúmenes de información

La ciencia de datos es una disciplina que se encarga de tratamiento de grandes volúmenes de datos para descubrir tendencias, predecir el futuro y anticiparlo. Uno de los desarrollos más emocionantes es su aplicación en la agricultura, especialmente conocida como big data en la agricultura. Esta innovación está transformando la manera en que los agricultores gestionan sus cultivos y optimizan su rendimiento.

El uso de la ciencia de datos permite a los agricultores recopilar y analizar grandes cantidades de información tal como se muestra en Fig. 16, lo que les brinda una visión más completa de sus cultivos. Ahora, pueden tomar decisiones más informadas sobre cuándo sembrar, cuándo aplicar fertilizantes y cuándo cosechar.

Esta tecnología está demostrando su valía al aumentar significativamente los rendimientos de los cultivos, lo que la convierte en una herramienta esencial para agricultores de todo el mundo cuando se requieren manejar grandes volúmenes de datos (HEMAV, 2024). La información de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo permitirá posteriormente determinar problemas de degradación del suelo, pérdida de la calidad, deficiencias nutricionales, entre otros aspectos.



Fig. 16: Ciencia de datos

Fuente: <https://agroempresario.com/publicacion/14276/china-apunta-a-desarrollar-una-agricultura-inteligente/>

5.6.2 Detección de salud de áreas de vegetación

Uno de los indicadores para detectar el grado de salud (o vigor) de las plantas es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que es un indicador de la biomasa fotosintéticamente activa, que determina el cálculo de la salud de la vegetación.

El NDVI permite diferenciar las áreas de vegetación de otras áreas sin vegetación, al mismo tiempo que determinar su estado general. También permite detectar cambios anormales en el proceso de crecimiento.

El NDVI se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Rojo}) / (\text{NIR} + \text{Rojo}),$$

donde NIR es la luz del infrarrojo cercano y Rojo es luz roja visible.

El NDVI permite medir el estado y la salud de los cultivos también denominado vigor de las plantas. Es un indicador de verdor y tiene una fuerte relación con la biomasa verde, por ejemplo, en áreas de cultivo con

una alta tasa de tala masiva de bosques es color verde es ausente como se aprecia en la Fig 17. También es fundamental como indicador eficiente de crecimiento. Los valores de NDVI tienen una alta relación con el rendimiento de los cultivos, por esta razón es muy utilizada como herramienta para medir la productividad de los cultivos y estimar su rendimiento futuro.



Fig 17 Áreas de tala masiva en color marrón

Fuente: EOS data Analytic

<https://eos.com/es/blog/ndvi-preguntas-frecuentes/#:~:text=EI%20NDVI%20se%20calcula%20con,Roja%20es%20luz%20roja%20visible.>

5.6.3 Privacidad y seguridad de datos agrícolas

Los avances en el tratamiento de datos en diversas áreas, que incluye la agricultura, ha propiciado la transformación de los métodos de cultivo y producción de alimentos que aplican los agricultores en todo el mundo. Existen diferentes mecanismos y niveles de protección dependiendo del tipo de datos que son muy diversos. También hay una gran

variabilidad en la forma en que los distintos países protegen esos datos como una categoría separada de los derechos de propiedad intelectual (DPI) en su legislación interna. Para los miembros de la Organización Mundial del Comercio, OMC), es obligatoria la protección de la información no divulgada de conformidad con el Acuerdo sobre los aspectos de los derechos de propiedad intelectual relacionados con el comercio (ADPIC).

5.7 Adaptación al cambio climático

5.7.1 Mayor resiliencia frente a condiciones climáticas variables

En terminología científica, el término “Cambio Climático” se refiere a “cualquier alteración del clima producida durante el transcurso del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o a la actividad humana” (MIDIGRI, 2023). Esta expresión alude a un cambio de clima causado directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural. El cambio climático es producto del incremento de los gases de efecto invernadero (GEI) encontrados en la atmósfera, propiciados por la actividad humana, al crecimiento poblacional y también a la expansión de las industrias. La adaptación al cambio climático debe enfocarse a desarrollar y aplicar estrategias para enfrentar los impactos adversos del cambio climático en la agricultura. Este enfoque busca aumentar la resiliencia de los sistemas agrícolas, asegurando mecanismos para resistir y recuperarse de las variaciones climáticas extremas, tales como sequías prolongadas, inundaciones, aumentos en la temperatura y cambios en los patrones de precipitación.

5.7.2 Ajuste preciso de prácticas agrícolas según condiciones locales

Es muy importante reconocer las problemáticas existentes y mas aun por experiencia propia: por ejemplo, es conveniente identificar prácticas no sostenibles en el manejo de los suelos. Es importante reconocer a partir de experiencias propias, si existen problemas reportados, relacionados con la aplicación de prácticas no sostenibles en el manejo de los suelos y/o pérdida de servicios ecosistémicos de los mismos. Las reuniones con la comunidad permiten recopilar información acerca de problemáticas asociadas al manejo sostenible de los suelos, entre estos problemas pueden identificarse los más comunes (FAO, Guia de buenas practicas para la gestion y usos sostenible de suelos en areas rurales, 2018):

Uso inadecuado del suelo con relación a su vocación de uso, excesiva o inadecuada mecanización agrícola.
Uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas de síntesis
Presencia de monocultivos
Sobrepastoreo.
Excesiva utilización de recursos hídricos y destrucción de microclimas.
Quemas y tala de bosques

Tabla 7 Ajuste preciso de prácticas agrícolas

Fuente: Elaboración propia

Agricultura sostenible AS

El incremento de la población mundial a 9 millones de personas en el 2050, la elevación de la ingesta de calorías en un 60% prevista entre 2000 y 2050, la elevación de las demandas de tierra para la generación de biocombustibles y alimentos, constituyen un requerimiento imperativo de hacer mas eficiente los procesos agrícolas, en el contexto de una mayor restricción en la disponibilidad de recursos naturales. La **AS** es una herramienta clave contra el hambre y el cambio climático, la AS es respetuosa con el medioambiente, rentable y social, se ha convertido en una prioridad. El valor de la producción agrícola mundial supera los 3.000 billones de dólares al año y en algunos países supone hasta el 40% de su riqueza, según datos del Banco Mundial. Pero es responsable de más del 20% de los gases de efecto invernadero (EosDataAnalytic, 2023). La AS busca implementar prácticas agrícolas ecológicas basado en innovaciones científicas.

5.8 Diversificación funcional

La diversificación funcional es el proceso mediante el cual se aumenta el número de especies que hacen parte del agroecosistema y que cumplen una funcionalidad dentro del mismo como se muestra en la fig 18. En este proceso se tienen tres tipos diferentes de diversificación, a saber: temporal, espacial y genética.

Beneficios

Las diferentes estrategias de diversificación presentan los siguientes beneficios (Altieri y Nicholls, 2004; Caballero, et al 2011; Nicholls, 2009):

- a. Mejoran los mecanismos de reciclaje de nutrientes, utilizando sistemas basados en leguminosas, árboles y la incorporación de animales.

- b. La mezcla de variedades disminuye la vulnerabilidad de agroecosistemas simplificados genéticamente.
- c. Hay una mayor abundancia y diversidad de enemigos naturales, manteniendo la regulación de plagas y disminuyendo con esto la aplicación de agroquímicos.
- d. Incrementan la sostenibilidad del agroecosistema, conforme aumenta la diversidad y aumentan las interacciones benéficas entre especies.
- e. Reducen el riesgo de los agricultores, especialmente aquellos en áreas con condiciones ambientales impredecibles. Si un cultivo falla, el rendimiento y la ganancia de los otros compensará la pérdida.
- f. Mantienen una cobertura vegetal abundante, como medida eficaz para conservar suelo y agua.



Fig. 18: Diversificación funcional

Fuente. CIMMIT

<https://idp.cimmyt.org/diversificar-cultivos-dietas-variadas-y-mas-ingresos/>

5.9 Brecha digital

La agricultura repercute en gran manera en la economía de los países, en los países menos adelantados (países MA) constituye uno de los motores que impulsa las economías, pues contribuye con un porcentaje elevado al producto interno bruto (PIB) (del 30 al 60 por ciento en casi dos tercios de estos países), una gran proporción de mano de obra (del 40 por ciento hasta el 90 por ciento en la mayoría de ellos) se dedica a al sector relacionado a la agricultura, por otro lado, representa una fuente importante de divisas (del 25 por ciento hasta el 95 por ciento en las tres cuartas partes de los casos), proporciona la mayoría de los alimentos básicos, y facilita los medios de subsistencia y otros ingresos a más de la mitad de la población de los países MA. Los sólidos vínculos progresivos y regresivos dentro del sector rural y con otros sectores de la economía proporcionan más estímulos para el crecimiento y la generación de ingresos. No obstante, a pesar de lo mencionado, siendo el uso de las tecnologías el motor que impulsa la agricultura, el indicador de brecha “Porcentaje de productores agropecuarios sin servicio de asistencia técnica”, según MIDAGRI, al finalizar el año 2024 tendrá un avance del 0.41% en el cierre de brecha respecto al valor del año 2023 (que alcanzó el 79.17%). Para el año 2025 se proyecta un incremento en el cierre del 2.02 %, dando como resultado una disminución del valor numérico del indicador, para alcanzar 76.75% y para el año 2026, se proyecta una reducción del valor del indicador en 6.45 %, dando como resultado, el valor numérico proyectado de 70.30 % pendiente de cierre. Sin embargo, se observa una tendencia decreciente en los próximos tres años en los que la brecha se iría reduciendo progresivamente, debido a que las inversiones que cierran esta brecha consideran la etapa de ejecución de 3 a 5 años. (MIDAGRI, 2024),

CAPITULO VI:

TRAZABILIDAD AGRARIA

6.1 Definición

La trazabilidad agraria se refiere a la capacidad de monitorear un producto agrícola durante toda la cadena de suministro, desde el campo hasta la mesa del consumidor. Esto incluye información sobre el origen, el procesamiento, la distribución y la venta del producto (RawData, 2024).

La trazabilidad agraria es muy en varios aspectos:

- **Seguridad alimentaria:** permite identificar y retirar rápidamente productos contaminados o defectuosos.
- **Calidad:** ayuda a garantizar que los productos cumplan con los estándares de calidad establecidos.
- **Transparencia:** brinda información clara y precisa a los consumidores sobre el origen y el proceso de producción de los alimentos.

Al igual como ocurre en otros ámbitos de producción, en el proceso productivo agrícola, el consumidor final quiere conocer las características que deben tener los productos. Se siente con derecho a informarse del producto que adquiere para consumir, de donde proviene, tipo de procesamiento que ha tenido, a qué lote corresponde, la fecha de fabricación o envasado, su código de identificación, entre otros datos (Agritotal, 2024).

Frente a esta realidad, las empresas agroindustriales deben garantizar la trazabilidad de sus productos, es decir, tener registro, certificación y control de los procesos, desde la procedencia de las materias primas con las que se elaboran sus mercaderías hasta el producto final en centro de acopio. La información sobre estos mecanismos de control les brinda transparencia y confianza a los consumidores.

La trazabilidad se define como un proceso en el cual se registra toda la información correspondiente a los elementos involucrados en el historial de un producto, desde el comienzo hasta el final de la cadena de comercialización”.

6.2 Tipos de trazabilidad agraria

Existen dos tipos principales de trazabilidad agraria:

1. **Trazabilidad hacia atrás** (o ascendente): permite rastrear el origen de un producto hasta su fuente original.
2. **Trazabilidad hacia adelante** (o descendente): permite seguir el recorrido de un producto desde su origen hasta su destino final tal como se muestra en Fig. 19

Para una trazabilidad efectiva, es esencial combinar ambos tipos y mantener registros precisos en cada etapa de la cadena de suministro.

Las acciones de trazabilidad tienen aplicación en la cadena de suministro de procesos agrícolas, en ella intervienen variables como rentabilidad, sostenibilidad ambiental, seguridad alimentaria, entrega de bienes y servicios, entre otros (Hualpa, 2023).

Implantar un sistema de trazabilidad agraria puede parecer tedioso al inicio, sin embargo, con una planificación adecuada y siguiendo estos pasos, podrás lograrlo con éxito:

1. Definir los objetivos y el alcance del sistema de trazabilidad.
2. Identificar los puntos críticos de control en la cadena de suministro.
3. Establecer procedimientos de registro y documentación.
4. Capacitar al personal en el uso del sistema de trazabilidad.
5. Realizar pruebas y auditorías periódicas para verificar la eficacia del sistema.

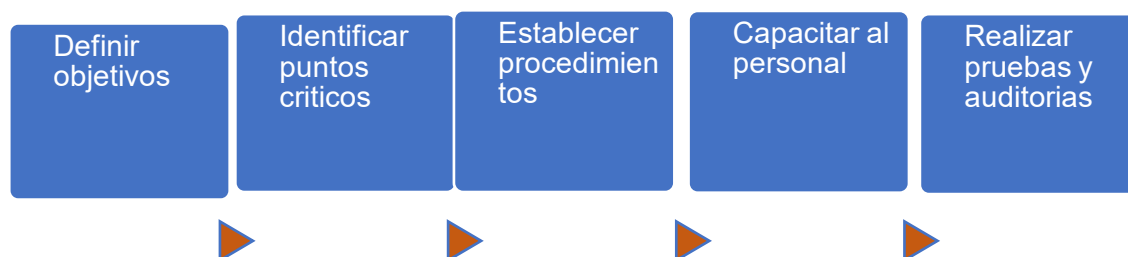


Fig. 19: Trazabilidad hacia adelante

Fuente: Elaboración propia

Trazabilidad en la siembra

Intervienen las variables como nombre del lote, nombre del operario, localidad, variedad a sembrar, fecha, además de permitir determinar con gran precisión, a través de sensores, la densidad de semilla y la dosis de fertilización que se esté aplicando en el lote. Además, usando un GPS es posible registrar la información de cada lugar del lote, logrando la confección de un mapa de siembra o aplicación georreferenciado.

Trazabilidad en la pulverización

Es muy importante en el proceso agrícola controlar y registrar la cantidad y volumen de fitosanitarios aplicados a la materia prima para lograr un producto final libre de tóxicos químicos.

Las computadoras de aplicación que se utilizan en las pulverizadoras brindan un registro de la aplicación que se realiza en los cultivos y barbechos. Además, al contar con GPS, posibilita tener el registro de la aplicación en forma de mapa georreferenciado. A partir de esta herramienta se puede tener una trazabilidad fitosanitaria del cultivo y el lote, donde quedara registrado y certificado el momento, lugar de aplicación, el producto que se utilizó y la dosis aplicada. Además, también es posible

contar con el registro de las condiciones ambientales en las cuales se aplica dicho producto.

Trazabilidad en la cosecha

A través de los diferentes monitores de cosecha se generan mapas de rendimiento en tiempo real.

Estos informan:

- a) Rendimiento
- b) Humedad del grano.
- c) Superficie cosechada
- d) Kilogramos por lote.
- e) Promedios,
- f) Velocidad de trabajo.

Entre otros datos, que acoplados a un GPS son georreferenciados y almacenados en una tarjeta de memoria. Esta información de gran importancia, ya que permite tener un seguimiento del lugar de procedencia de los granos que pasarán a ser procesados para diferentes usos.

APLICACIÓN

Un sensor físico es un dispositivo que detecta y/o mide una magnitud, estado o condición física, es decir es sensible a una magnitud física (Leija, 2009). En nuestra aplicación, el sensor permite monitorear el nivel de humedad de las plantas y así recordar cuando necesitan ser regadas o incluso para realizar un sistema totalmente automatizado de riego. Desde hace ya varios años, los sensores de humedad han hecho enormes progresos.

En agricultura existen varios tipos de sensores,

Humedad del suelo

En el contexto de agricultura, se considera humedad de suelo a la cantidad total de agua que hay en los poros del suelo o en su superficie. Puede expresarse como un porcentaje, agua por peso o volumen, o pulgadas de agua por pie de suelo.

La cantidad o porcentaje de humedad del suelo depende de varios factores:

- a) Clima
- b) Tipo de terreno.
- c) Plantas que en él habitan.

La humedad del suelo es un factor importante para la agricultura, no solo determina el contenido de agua, sino la salud del campo, es importante también para los organismos que viven en el suelo, para gestionar el suministro de agua, controlar de forma eficiente las actividades agrícolas y predecir catástrofes naturales.

La humedad es clave porque puede indicar una futura inundación o déficit hídrico mejor y antes que otros indicadores. La humedad del suelo es muy importante porque afecta a:

(EosDataAnalytic, 2023)

- a) El contenido de aire, la salinidad y la cantidad de sustancias tóxicas.
- b) Su estructura y espesor.
- c) La temperatura y capacidad calorífica.

Por esta razón, resulta muy conveniente en el proceso de agricultura hacer una prueba periódica de medición de la humedad en los suelos antes y durante el proceso agrícola. Las raíces de las plantas absorben el agua de él, por lo que su estado depende directamente de la cantidad existente en las diversas capas y de la aireación. La cantidad de agua necesaria para los cultivos dependerá del tipo de plantas, pero

generalmente *el rango para la mayoría de los cultivos se sitúa en el 20-60%.*

La humedad depende de varios indicadores, como la topografía, la vegetación y el clima tal como se muestra en Fig. 20

No obstante, deben considerarse las principales características que determinan la humedad del suelo:

- a) **Textura:** cuanto más fino, más poros tiene y, por tanto, mejor retención de la humedad.
- b) **Estructura:** una estructura porosa con un alto nivel de agregación mejora la retención de agua.
- c) **Contenido en materia orgánica:** A mayor cantidad de materia orgánica, mayor capacidad de retención de agua.
- d) **Densidad:** a mayor densidad, menor cantidad de agua penetra en el interior.
- e) **Temperatura:** el contenido de humedad es mayor a temperaturas más bajas.
- f) **Salinidad:** cuanto mayor sea el contenido de sal, menos agua podrán absorber las plantas, ya que la sal es un absorbente natural.
- g) **Profundidad:** este factor afecta a la cantidad de agua disponible; es decir, cuanto más profundo, más agua y nutrientes pueden obtener las plantas.



Fig. 20: Prototipo de sensor de humedad para agricultura de precisión

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Distribucion-espacial-de-Nitrogeno-total-estimado-en-planta-de-maiz-para-el-mes_fig2_369807716

La configuración de los sensores de humedad puede configurarse en forma personalizada. Usualmente el usuario puede asignarle un identificador para facilitar su identificación. Se recomienda hacer su instalación a la profundidad donde se encuentre la mayor zona radicular y de importancia para el productor, esto dependerá de cada cultivo, por ejemplo, para **aguacate** se recomienda la instalación de dos sensores uno a **20 cm y otro 40 cm de profundidad**. (NETAFIM, 2023)

Al seleccionar alguno de los sectores o sensores de humedad, las gráficas aparecerán forma automática y mostraran los resultados de acuerdo con los riegos que se han dado durante el periodo seleccionado.

Sensor de humedad Delta T-SM 150T

El **Delta T-SM 150T** mide el porcentaje de humedad que contine el suelo y/o sustrato en el punto que es colocado. Este sensor es altamente preciso ya que es de grado de investigación. Cuenta con la versatilidad de poder ser instalado a diferentes profundidades del suelo o si se trata de hidroponía en sustrato puede ser colocado desde la superficie, hasta la parte más profunda del contenedor tal como se muestra en Fig. 21



Fig. 21: Sensor de humedad Delta T-SM 150T

Fuente: <https://www.netafim.pe/blog/importancia-de-los-sensores-de-humedad-para-disenar-una-estrategia-de-riego-exitosa/>

Sensor de humedad de Suelo **FC-28**

El Sensor FC-28 permite medir de forma sencilla la humedad del suelo por medio de 2 electrodos resistivos tal como se muestra en Fig. 22 Compatible con Arduino, PIC, ESP8266/NodeMCU/NodeMCU-32.

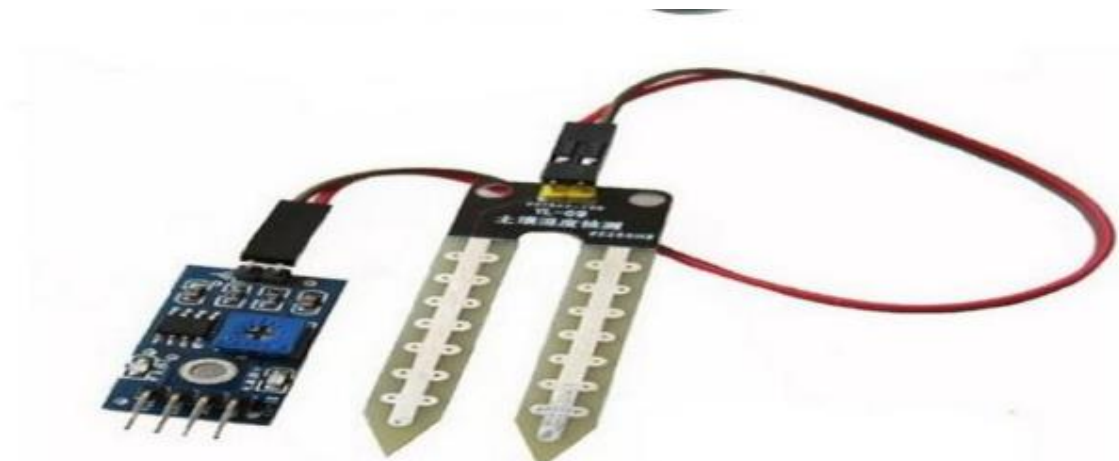


Fig. 22: Sensor de humedad de Suelo FC-58

Fuente: <https://creatividadahora.com/producto/sensor-humedad-de-suelo-higrometro/>

Específicamente en nuestra aplicación, añadiendo al sensor una válvula o una bomba de agua. Si el sistema se conecta a internet podríamos controlar/monitorear nuestro jardín desde cualquier lugar del mundo.

Un higrómetro de suelo FC-28 es un sensor que mide la humedad del suelo tal como se muestra en Fig. 23. Son ampliamente empleados en sistemas automáticos de riego para detectar cuando es necesario activar el sistema de bombeo. El FC-28 es un sensor sencillo que mide la humedad del suelo por la variación de su conductividad

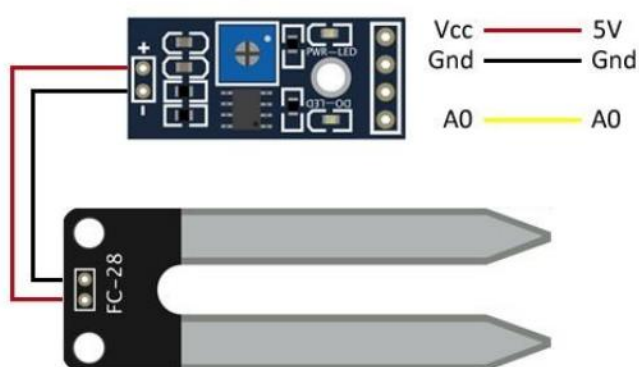


Fig. 23: Higrómetro de suelo FC-28

Fuente: <https://www.automatizacionparatodos.com/sensor-dht11-arduino/>

El sensor funciona de la siguiente forma:

- a) Medir la resistencia entre 2 electrodos insertados dentro del suelo, la resistencia entre los electrodos dependerá de la humedad del suelo,
- b) Si suelo es muy húmedo

resistencia muy baja (corto circuito)

Sino // suelo es muy seco

resistencia será muy alta (circuito abierto).

El electrodo va conectado a una tarjeta de acondicionamiento (YL-38) que entrega una salida digital y otra analógica. La salida digital (DO) es la salida de un opamp en modo comparador, la salida digital se activa cuando el nivel de humedad es menor al nivel deseado, este nivel (umbral o threshold) se puede regular con el potenciómetro de la tarjeta. La salida analógica (AO) es la salida de un divisor de tensión entre una resistencia fija y la resistencia entre los electrodos, entrega un voltaje analógico desde 0V para un suelo muy húmedo hasta 5V para un suelo muy seco (Naylamp, 2024). Para la conexión a Arduino podemos optar por utilizar la salida analógica del módulo conectada a una entrada analógica del Arduino o por utilizar la salida digital (DO) conectada a una entrada digital del Arduino. (Tienda, 2023)

DIAGRAMA DE CONEXIÓN

La conexión es simple tal como se muestra en Fig. 24, sólo tenemos que conectar tres pines, la tensión de alimentación vcc que debe ser aproximadamente 5V, el pin de GND y después tenemos otros dos pines de los cuales tenemos que decidir cual usaremos, si el analógico o el digital.

- VCC debe ser del orden de 5V, puede estar conectado a la misma alimentación que el arduino.
- GND debe estar conectado al gnd de arduino.
- A0 es el pin de datos analógico
- D0 es el pin de datos digital

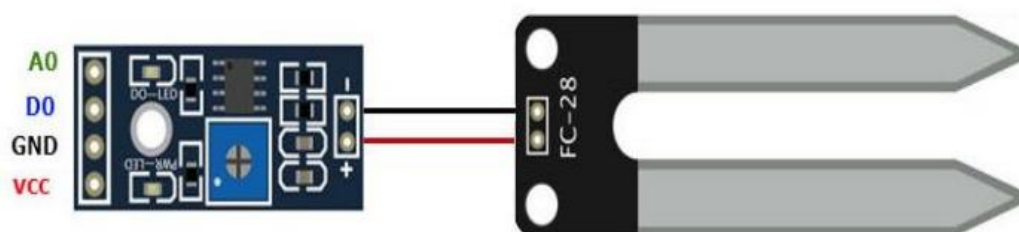


Fig. 24: Estructura interna de sensor FC-28

Fuente: <https://www.uruktech.com/product/fc-28-soil-hygrometer-sensor/>

```
const int sensorPin = A0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  int humedad = analogRead(sensorPin);
  Serial.print(humedad);

  if(humedad < 500)
  {
    Serial.println("La humedad del suelo esta por debajo de 500 en
nuestra lectura analogica");
    //tomar medidas al respecto
  }
  delay(1000);
}
```

Fig. 25 Lectura Analógica

Fuente: <https://www.teseopress.com/conceptosarduino/chapter/programacion/>

```
const int sensorPin = 10;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(sensorPin, INPUT);
}

void loop()
{
  int humedad = digitalRead(sensorPin);

  if (humedad == HIGH)
  {
    Serial.println("El estado de la humedad esta en alto");
  }
  delay(1000);
}
```

Fig. 26 Lectura digital

Fuente: <https://arduino.cl/programa-arduino/>

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. La agricultura en el Perú, es incipiente. El agricultor es cortoplacista, cuando gasta dinero o invierte en algo, quiere ver resultados, ya sean económicos, de mejora de la calidad o de unas necesidades concretas.
2. La agricultura de precisión es un trabajo permanente y continuo, que debe realizar el agricultor. Requiere un plan de monitoreo constante del rendimiento de los cultivos y de las condiciones del campo, lo que permite ajustes en tiempo real para maximizar la productividad y minimizar los impactos negativos.
3. La trazabilidad es una herramienta útil y necesaria en la cadena agroalimentaria, dado que permite garantizar la protección de los consumidores y detectar fallas en la seguridad alimentaria. Además, facilita a los operadores el control de procesos y gestión interna, contribuye a la certificación o acreditación de productos, a la localización rápida de partidas con problemas y a la toma de decisiones en tiempo y forma.
4. La conectividad también ha revolucionado la forma en que los agricultores gestionan sus explotaciones. Las aplicaciones móviles y herramientas en línea les permiten acceder a datos en tiempo real o monitorear el progreso de las actividades.
5. Las herramientas de Agricultura de Precisión permiten garantizar y en cierta manera certificar mediante el registro, el control en la producción primaria. De este modo, es posible identificar la procedencia de los granos y diferenciar su calidad y valores a partir de su trazabilidad de procesos.
6. La agricultura de precisión es realmente el futuro de la agricultura. Conforme la tecnología continúa avanzando, las herramientas y

técnicas con las que disponemos se volverán aún más sofisticadas, permitiéndonos enfrentar los desafíos de alimentar a una población mundial en crecimiento de manera sostenible.

7. La agricultura de precisión combina la tecnología de la información, la electrónica y la agronomía con el propósito de mejorar la productividad agrícola. Se basa en la recolección y análisis de datos agrícolas precisos y en tiempo real, lo que permite tomar decisiones informadas y optimizar los procesos de producción.

5.2. RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda abordar adecuadamente en análisis espacio - temporal de zonas agrícolas con el propósito de aprovechar el potencial de los beneficios económicos, ambientales y sociales de la agricultura de precisión.
- b) Se recomienda fomentar el desarrollo de softwares de decisión que proporcionen un mayor asertividad en la producción. Estas herramientas permitirán analizar diferentes factores para ayudar al agricultor, en temas como finanzas, clima, fertilizantes, plagas y algunos otros elementos que el cultivo puede necesitar durante el periodo de siembra.
- c) Utilizar las tecnologías digitales en la agricultura para mitigar las consecuencias del cambio climático en América Latina, en especial del Perú
- d) Se recomienda utilizar la agricultura de precisión como una de las alternativas que permitiría llevar más alimentos a la mesa con menos recursos, y al tiempo aumentar la resiliencia ante el cambio climático.
- e) Se recomienda el uso de sensores para medir y calibrar la humedad, luz y PH del cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- "Cámara de Zaragoza". (2012). *¿Qué es un código QR?* Obtenido de <https://www.camarazaragoza.com/faq/que-es-un-codigo-qr/>
- "PYV Technology". (2022). *TECNOLOGÍA CONTACTLESS: QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA*. Obtenido de <https://pyv.technology/es/blog/tecnologia-contactless-que-es-y-como-funciona/>
- "SAP Concur Team". (2022). *¿Qué es la tecnología contactless?* Obtenido de <https://www.concur.pe/blog/article/tecnologia-sin-contacto>
- ACADEMIC. (2010). *Código QR*. Obtenido de <https://es-academic.com/dic.nsf/eswiki/278121>
- Agritotal. (2024). *El rol de la Agricultura de Precisión en la trazabilidad*. Obtenido de <https://www.agritotal.com/nota/el-rol-de-la-agricultura-de-precision-en-la-trazabilidad-de-los-agroalimentos/>
- Agroempresario. (4 de junio de 2020). *GPS en agricultura: conozca las ventajas*. Obtenido de <https://agroempresario.com/publicacion/23827/gps-en-agricultura-conozca-las-ventajas/>
- AGROSOLMEN. (2024). Obtenido de <https://agrosolmensl.es/que-es-la-hidroponia-o-agricultura-hidroponica>
- Aumaille, B. (2002). *J2EE: Desarrollo de aplicaciones Web*. Barcelona - España: Ediciones ENI, 2002. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=dsR2ydrU3vUC&hl=es&source=gbv_na_vlinks_s
- BASF. (17 de abril de 2023). *7 aplicaciones de agricultura de precisión*. Obtenido de <https://agriculture.basf.com/pe/es/contenidos-de-agricultura/digitalizacion-agricultura-precision.html>
- BASF. (2023). *Agricultura 4.0*. Obtenido de <https://agriculture.basf.com/pe/es/contenidos-de-agricultura/digitalizacion-agricultura-4-0.html>
- BBVA. (20214). *Cómo es y para qué sirve el 'software' de la agricultura de precisión*. Obtenido de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/como-es-y-para-que-sirve-el-software-de-la-agricultura-de-precision/>
- BCRP. (2020). *Reglamento del Servicio de Pago con Códigos de Respuesta Rápida (QR)*. Obtenido de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Transparencia/Normas-Legales/Circulares/2020/circular-0003-2020-bcrp.pdf>
- BPA. (2022). *Buenas Prácticas Agrícolas: Lineamientos de Base*. Obtenido de <https://www.casafe.org/pdf/2015/BUENAS-PRACTICAS-AGRICOLAS/BuenasPracticasAgricolas-LineamientosdeBase.pdf>
- Camila. (2021). *Todo lo que debes saber sobre el trabajo remoto en Perú*. Obtenido de <https://www.sesamehr.pe/blog/todo-lo-que-debes-saber-sobre-el-trabajo-remoto-en-peru/>

- CEPAL. (2021). *PERSPECTIVAS DE LA AGRICULTURA*. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ec3e9a9f-593e-4c55-85a3-b5eefbeca839/content>
- CEPAL. (2022). *¿Qué son los Códigos QR?* Obtenido de <https://biblioguias.cepal.org/QR>
- CEPAL. (2022). *Perspectiva de las agricultura y el desarrollo rural en las americas*.
- CEPAL. (2023). *Observatorio de Agricultura digital*. Obtenido de <https://agriculturadigital.cepal.org/es>
- Chen, J. (27 de junio de 2023). *Influencia de la luz en el crecimiento del cultivo*. Obtenido de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-influencia-de-la-luz-en-el-crecimiento-del-cultivo/>
- Cisneros, O. (2016). *Reúso de aguas residuales en la agricultura*. Mexico. Obtenido de https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/riego-drenaje/reuso-aguas-residuales.pdf
- Conde, S. (2017). *Control de Asistencia mediante Técnicas NFC*. Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid - España. Obtenido de https://oa.upm.es/44943/1/TFG_SERGIO_CONDE_MURO.pdf
- CONFIEP. (2022). *PYMES: El motor del crecimiento en el Perú*. Obtenido de <https://www.confiep.org.pe/confiep-tv/pymes-el-motor-del-crecimiento-en-el-peru/>
- Contreras, J. (2022). *Código QR: qué es y cómo estar alerta para protegernos*. Obtenido de https://www.seguritecnia.es/actualidad/codigo-qr-que-es-y-como-estar-alerta-para-protegernos_20220211.html
- Cortes, N. (2023). *¿Por qué controlar asistencia digitalmente en Perú?* Obtenido de <https://www.geovictoria.com/es-pe/blog/tecnologia/beneficios-controlar-asistencia-digital-peru/>
- Cortez, A. (2023). *impacto. pppPerfiles de Ingeniería*, 201-219. Obtenido de https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles_Ingenieria/article/view/6308/10047
- Ecobusiness. (2021). *QR Dinámico: Autenticación al alcance de la mano (Y del dispositivo)*. Obtenido de <https://www.ecobusiness.in/2021/08/30/qr-dinamico-autenticacion/>
- EDSRobotics. (12 de 11 de 2021). *Agricultura automatizada y robótica agrícola*. Obtenido de <https://www.edsrobotics.com/blog/agricultura-automatizada-y-robotica-agricola/>
- EOS. (2023). *Clasificación de Redes Neuronales para la Vigilancia de la Pr*. Obtenido de Eos Data Analytc: <https://eos.com/es/industries/agriculture/crop-production-monitoring/>
- EOSDATA. (2024). *EOS Data Analytic*. Obtenido de <https://eos.com/es/blog/riego-de-precision/>
- EosDataAnalytic. (2023). Obtenido de <https://eos.com/es/blog/humedad-del-suelo/>

- EPRS. (2016). *La agricultura de precision y el futuro del sector agropecuario en Europa*.
- EZCARA, I. (2012). AGRICULTURA DE PRECISIÓN: ELABORACIÓN DE MAPAS DE CONSUMO Y RESBALAMIENTO.
- FAO. (2018). *Guia de buenas practicas para la gestion y usos sostenible de suelos en areas rurales*. Bogota. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/158f38e2-86ef-47a9-aa3e-21be6fe6bd28/content>
- FAO. (2022). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/cb9479es/online/sofa-2022/agricultural-automation-technological-evolution.html>
- Feliciano, L. (2015). *Seguridad en Base de Datos & Aplicaciones Web*. Obtenido de https://premios.eset-la.com/universitario/pdf/seguridad_en_base_de_datos_y_aplicaciones_web.pdf
- FEPROPAZ. (2023). *Desafíos de la industria agrícola: mano de obra y tecnología*. Obtenido de <https://fepropaz.com/agricultura-y-tech/>
- Furiati, S. (2024). *¿Qué es el teletrabajo y cómo funciona?* Obtenido de <https://payfit.com/es/contenido-practico/que-es-el-teletrabajo/#:~:text=En%20efecto%2C%20el%20teletrabajo%20es,vimos%20forzados%20en%20la%20pandemia>.
- Geolnova. (2023). Obtenido de https://geolnova.org/blog-territorio/agricultura-de-precision-en-busca-del-cultivo-mas-productivo/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwko21BhAPEiwAwfaQCD5EHMJ3o5mKT5Tj6wfhQhA9xHrnJUEacOKfTDeOvclcUZMvju7ntxoCTdIQAvD_BwE
- GobChile. (2009). Estudio de Alcance de la agricultura de precisión en Chile. Obtenido de <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2009/07/AgriculturaDePrecision.pdf>
- Gonzales, A. (2016). Drones Aplicados a la agricultura de precisión. 10.
- González, F. (2021). *El potencial de las PYMES*. Obtenido de <https://blogs.gestion.pe/mision-verde/2021/08/el-potencial-de-las-pymes.html>
- Guillen, E. (2023). *Abrazando la Sostenibilidad y Trazabilidad*. Obtenido de <https://farmable.tech/es/blog/sostenibilidad-trazabilidad-agricultura/>
- HEMAV. (2024). *Big data en la agricultura: revolucionando cultivos con análisis*. Obtenido de <https://hemav.com/blog/big-data-en-la-agricultura/>
- Hualpa, A. (2023). Trazabilidad en el sector agrícola: una revisión para el periodo 2017 – 2022. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/437/43774024012/43774024012.pdf>
- Hurtado, E., & LLanos, J. (2021). *Sistema de control de asistencia a estudiantes mediante carnet virtual con código QR*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C - Colombia. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/26731>

- Infortambo. (15 de julio de 2023). *Cómo optimizar el uso de los insumos*. Obtenido de <https://www.infortambo.cl/es/contenidos/como-optimizar-el-uso-de-los-insumos>
- ISAM. (2024). *5 formas de ahorrar agua en agricultura*. Obtenido de <https://isam.education/5-formas-de-ahorrar-agua-en-agricultura/>
- JACTO. (2023). Obtenido de <https://bloglatam.jacto.com/como-usar-gps-agricola/>
- Jiménez , G. (2018). *Sistema web de control de asistencia basado en web services y la biometría de huella dactilar para las instituciones educativas*. Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima - Perú. Obtenido de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10179>
- Joyanes, L. (2013). *Big Data, Analisis de grandes volúmenes de datos en organizaciones*. España: [Barcelona] : Marcombo, D.L. 2013. Obtenido de <https://www.iberlibro.com/BIG-DATA-An%C3%A1lisis-grandes-vol%C3%BAmenes-datos/19390663210/bd>
- Joyanes, L. (2013). *BigData*. Mexico: AlfaOmega.
- KAMATA. (2019). *BBC*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-49784511>
- KREIMER. (2003).
- Lago, C. (2011). Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292011000100009
- Learning_heroes. (2024). *Tecnología en Agricultura de Precisión: ¿Cómo Funciona?* Obtenido de <https://www.learningheroes.com/aprende-sobre-tecnologias-disruptivas/agricultura-de-precision-usando-la-tecnologia-para-alimentar-al-mundo>
- Leija, L. (2009). *Metodos de procesamiento avanzado e Inteligencia artificial en sistemas sensores y biosensores*. Barcelona: Reverte.
- Márquez, L. (2023). *Control de asistencia: ¿Qué es y para qué sirve?* Obtenido de <https://www.geovictoria.com/es-mx/blog/recursos-humanos/control-de-asistencia-que-es/>
- MIDAGRI. (2024). Obtenido de <https://www.midagri.gob.pe/portal/22-sector-agrario/vision-general/190-problemas-en-la-agricultura-peruana?start=3>
- MINTRA. (2021). *Decreto Supremo N.º 014-2021-TR: Decreto Supremo que modifica el Reglamento de la Ley General de Inspección del Trabajo, aprobado mediante Decreto Supremo N° 019-2006-TR*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtpe/normas-legales/2004405-014-2021-tr>
- Mundo_Agropecuario. (2023). *Mundo agropecuario La agricultura inteligente en China se ha convertido en una práctica común*. Obtenido de <https://mundoagropecuario.com/la-agricultura-inteligente-en-china-se-ha-convertido-en-una-practica-comun/>
- Naylamp. (2024). Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/47-sensor-de-humedad-de-suelo-fc-28.html>

- NETAFIM. (2023). *Importancia de los sensores de humedad para diseñar una estrategia de riego exitosa*. Obtenido de <https://www.netafim.pe/blog/importancia-de-los-sensores-de-humedad-para-disenar-una-estrategia-de-riego-exitosa/#:~:text=El%20sensor%20de%20humedad%20Delta,del%20d%C3%Aa%20en%20tiempo%20real.>
- OCU. (2022). *Códigos QR: qué son y para qué sirven*. Obtenido de <https://www.ocu.org/tecnologia/telefono/noticias/codigos-qr-que-son-y-para-que-sirven576294>
- Orozco, M. A., & Cerezo, S. M. (2019). *Propuesta de mejora para el control de acceso de los estudiantes al Crai de la Universidad Estatal de Milagro por medio de la lectura de códigos QR en carnets estudiantiles*. Universidad Estatal de Milagro, Milagro - Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/4808>
- Ortiz, L. (2024). *agricultura de conservación*. Obtenido de <https://www.hydrobit.ag/blog/agricultura-de-precision-y-agricultura-de-conservacion>
- Osio, L. (2010). *El Teletrabajo: Una opción en la era digital*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3252786.pdf>
- Palomino, D. C. (2023). *Implementación de un sistema de registro de usuarios temporales utilizando código QR para mejorar el control de acceso a una institución privada*. Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima - Perú. Obtenido de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/19649>
- Perez, A. (2015). Redes neuronales artificiales para estimar el contenido de nitrógeno en plantas leguminosas. *Revista Ciencia e Ingeniería.*, 36(2), 85-92.
- Peruano. (2022). *Sunafil: Normativa sociolaboral no obliga consignar la hora de salida e ingreso por el tiempo de refrigerio*. Obtenido de <https://www.elperuano.pe/noticia/163443-sunafil-normas-no-exigen-anotar-salidas-por-refrigerio>
- PortalFruticola. (2021). *PortalFruticola*. Obtenido de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/06/15/los-nuevos-robots-agricolas-eliminan-las-malas-hierbas-con-electricidad/>
- Proxima. (febrero de 2019). *Que es la agricultura 4.0*. Obtenido de <https://www.proximasystems.net/agricultura/que-es-la-agricultura-4-0/>
- RawData. (2024). *Trazabilidad agraria: definicion e importancia en la cadena alimenticia*. Obtenido de <https://agrawdata.com/blog/trazabilidad-agraria-definicion/>
- Ríos, M. (2023). *Horas extras: ¿cómo se calcula el pago y quiénes quedan excluidos?* Obtenido de <https://gestion.pe/mix/vida-laboral/pago-de-horas-extras-en-peru-como-se-calcula-el-monto-y-que-tipo-de-trabajadores-quedan-excluidos-horario-laboral-jornada-laboral-noticia/>
- Rocha_de_Moraes, C. (SN). *AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BRASIL. VII Congreso de Estudiantes Universitarios de Ciencia, Tecnología e Ingeniería*

- Agronómica*. Obtenido de https://oa.upm.es/42094/1/INVE_MEM_2015_225973.pdf
- Salazar, N., & Espinoza, J. C. (2018). *Implementación de un sistema con código QR para optimizar el control de asistencia de alumnos, en la UAP sede Huánuco*. Universidad de Huánuco, Huánuco - Perú. Obtenido de <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/945>
- Santos, J. (2022). *Código QR: Todo lo que necesitas saber*. Obtenido de <https://www.deltaprotect.com/blog/codigo-qr-que-es>
- SERVILUZ. (2024). El impacto de la digitalización en el empleo agrícola en Ucrania y Eslovaquia. *Revista Universidad de Zulia*, 15(42). Obtenido de <https://produccioncientificaluz.org/index.php/rluz/article/view/41344>
- solutekcolombia. (2016). *Implementación códigos QR*. Obtenido de https://www.solutekcolombia.com/servicios_tecnologicos/implementacion/codigos_qr.htm
- Tienda. (2023). *Sensor de Humedad de Suelo FC-28*. Obtenido de <https://angelmicelti.github.io/VilladiegoSTEAM/invernadero/sensor-de-humedad-de-suelo-fc28.pdf>
- Torres, E. (2019). *Implementación de un sistema de control de asistencia con código QR para la institución educativa Ricardo Palma – Carhuaz; 2019*. Tesis de grado, Universidad Católica los Ángeles de Chimbote (ULADECH), Chimbote - Perú. Obtenido de <https://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/14434>
- UCM. (2020). *Los desafíos que plantea la agricultura de precisión para Chile*. Obtenido de <https://portal.ucm.cl/noticias/los-desafios-plantea-la-agricultura-precision-chile>
- UDL. (2010). *Cómo obtener y qué hacer con los mapas de colores*. La Universidad de Lérida. Obtenido de https://www.google.com/search?q=Creaci%C3%B3n+de+mapas+de+cosecha&client=firefox-b-d&ei=Lk2_ZJfDazC5OUPk7i-0Ao&ved=0ahUKEwiYrrq7gKmAAXUsIbkGHROcD6oQ4dUDCA4&uact=5&oq=Creaci%C3%B3n+de+mapas+de+cosecha&gs_l=EGxnd3Mtd2l6LXNlcnAiHUNyZWJfjacOzbiBkZSBtYXBhcyBk
- Vega, A. (2023). *El teletrabajo en el Perú. Evolución Normativa*. Obtenido de <https://lpderecho.pe/el-teletrabajo-en-el-peru-evolucion-normativa/>
- Verand, M. (2023). *SERVICIOS DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN APLICADOS A CULTIVOS DE AGROEXPORTACIÓN EN LA COSTA PERUANA*. Lima. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/311096dd-ac2c-426e-b087-622054b86d48>
- Winpenny, J. (2013). *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?* Roma.
- WISSE. (2022). *Las barreras de entrada a la agricultura de precisión*. Obtenido de <https://www.wiseagrotechnology.net/b/las-barreras-de-entrada-a-la-agricultura-de-precision>

Yeply. (2022). *Las nuevas tendencias y los retos de la Agricultura 4.0*. Obtenido de <https://www.yeeply.com/blog/tendencias-y-retos-agricultura-4-0/>