

Automatización y monitoreo de sistemas productivos agropecuarios

Breve descripción:

Este componente ofrece una introducción comprehensiva al modelamiento y gestión de datos para sistemas de inteligencia artificial. Abarca los fundamentos de estructuras de datos, técnicas de calidad y tratamiento, sistemas de gestión de bases de datos y conceptos básicos de IA. Proporciona las bases teóricas necesarias para comprender cómo los datos se transforman en información valiosa para modelos de IA.

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| Introducción | 1 |
| 1. Introducción a los sistemas productivos agropecuarios | 5 |
| 1.1. Definición y componentes de un sistema productivo | 5 |
| Componentes esenciales de un sistema productivo | 6 |
| 1.2. Variables clave en el monitoreo agrícola | 6 |
| Tipos de sistemas productivos | 6 |
| 1.3. Importancia de la caracterización de sistemas productivos | 9 |
| Objetivos de la caracterización | 9 |
| 1.4. Papel de la sostenibilidad en los sistemas productivos modernos | 9 |
| Dimensiones de la sostenibilidad | 9 |
| Automatización y sostenibilidad | 11 |
| 2. Variables en sistemas productivos y su monitoreo | 14 |
| 2.1. Importancia de las variables en los sistemas productivos | 14 |
| 2.2. Clasificación de variables en sistemas productivos | 15 |
| Variables agroclimáticas | 15 |
| Variables del suelo y agua | 16 |
| Variables productivas | 17 |
| 2.3. Monitoreo de variables en sistemas productivos | 17 |

| | |
|--|----|
| Tecnologías de monitoreo | 18 |
| 2.4. Estrategias de monitoreo | 19 |
| 2.5. Beneficios del monitoreo de variables | 20 |
| 2.6. Retos en el monitoreo de variables..... | 21 |
| 3. Automatización en el monitoreo de sistemas productivos | 24 |
| 3.1. Introducción a la automatización en la agricultura | 24 |
| 3.2. Componentes de un sistema automatizado | 25 |
| 3.3. Modelos de Implementación de la automatización | 26 |
| Cultivos en ambiente abierto..... | 27 |
| Cultivos en ambiente protegido..... | 28 |
| Sistemas pecuarios | 28 |
| 3.4. Ventajas de la automatización en el monitoreo | 29 |
| 3.5. Retos en la implementación de la automatización | 31 |
| 3.6. Impacto de la automatización en la sostenibilidad..... | 31 |
| Impactos clave en la sostenibilidad..... | 31 |
| 4. Gestión de variabilidad espacial y temporal | 34 |
| 4.1. Variabilidad espacial y temporal en la agricultura | 34 |
| 4.2. Concepto de variabilidad espacial y temporal..... | 35 |

| | | |
|------|--|----|
| 4.3. | Impacto de la variabilidad espacial y temporal en los sistemas productivos | 36 |
| 4.4. | Estrategias de manejo específico por sitio (MSS) | 37 |
| 4.5. | Uso de tecnologías para la gestión de la variabilidad | 37 |
| 4.6. | Beneficios de la gestión de la variabilidad..... | 38 |
| 5. | Herramientas y métodos de análisis | 40 |
| 5.1. | Importancia de la planificación basada en datos | 40 |
| | Ventajas de la planificación basada en datos | 40 |
| 5.2. | Modelos de gestión integrada de recursos | 41 |
| | Gestión integrada del agua | 41 |
| | Gestión integrada del suelo | 42 |
| | Gestión integrada de la energía | 42 |
| 5.3. | Optimización de recursos en sistemas productivos automatizados..... | 43 |
| | Uso de sensores para optimización..... | 43 |
| | Plataformas de análisis de datos..... | 44 |
| 6. | Aplicación práctica del monitoreo y automatización..... | 46 |
| 6.1. | Estudios de caso: implementación exitosa de sistemas automatizados | 46 |
| | Caso 1: monitoreo agroclimático en cultivos de arroz..... | 46 |
| | Caso 2: automatización en la producción avícola | 47 |

| | |
|---|----|
| 6.2. Monitoreo de variables y análisis de resultados | 48 |
| Fundamentos del monitoreo de variables | 48 |
| Interpretación de datos en plataformas SCADA | 49 |
| Análisis geoespacial con drones y SIG | 49 |
| 6.3. Vigilancia tecnológica y GNSS en sistemas productivos..... | 50 |
| Importancia de la vigilancia tecnológica | 50 |
| Teoría y aplicaciones de GNSS en la agricultura | 51 |
| Síntesis | 52 |
| Material complementario..... | 54 |
| Glosario | 56 |
| Referencias bibliográficas | 58 |
| Créditos | 60 |

Introducción

En un entorno agrícola y pecuario en constante evolución, la incorporación de tecnologías avanzadas es clave para enfrentar los desafíos de sostenibilidad, eficiencia y productividad. El componente de automatización y monitoreo de sistemas productivos agropecuarios responde a estas necesidades, proporcionando a los aprendices las herramientas teóricas y prácticas necesarias para implementar sistemas automatizados de adquisición y gestión de datos.

Este componente se enfoca en la caracterización de sistemas productivos y el monitoreo de variables críticas, como temperatura, humedad, precipitación y calidad del suelo. A través de tecnologías como sensores IoT, plataformas SCADA y software de análisis de datos, se busca optimizar cada fase del proceso productivo, desde la siembra hasta la cosecha y postcosecha. Estas herramientas no solo permiten la recolección de datos en tiempo real, sino también la toma de decisiones informadas que mejoren el rendimiento y reduzcan el impacto ambiental.

El monitoreo automatizado facilita la detección temprana de problemas, como deficiencias hídricas o condiciones climáticas adversas, y permite ajustar las estrategias productivas de manera oportuna. Además, este enfoque promueve la agricultura de precisión, que optimiza el uso de insumos y recursos, incrementando la rentabilidad y reduciendo el desperdicio.

A lo largo de este componente, se explorarán estudios de caso en cultivos como el aguacate Hass y la producción avícola, demostrando cómo estas tecnologías mejoran la productividad y sostenibilidad de los sistemas agropecuarios. También se abordarán

normativas y buenas prácticas que aseguren la correcta implementación de estas herramientas.

En resumen, este componente prepara al aprendiz para enfrentar los retos del sector agropecuario moderno, equipándolo con los conocimientos y habilidades necesarios para integrar tecnologías automatizadas en procesos productivos, promoviendo una gestión eficiente y sostenible de los recursos.

Video 1. Automatización y monitoreo de sistemas productivos agropecuarios



[Enlace de reproducción del video](#)

Síntesis del video: Automatización y monitoreo de sistemas productivos agropecuarios

El componente formativo "Automatización y monitoreo de sistemas productivos agropecuarios" aborda la transformación digital del sector agropecuario a través de tecnologías avanzadas y sistemas automatizados.

En un contexto donde la demanda de alimentos crece y los recursos naturales son limitados, la automatización y el monitoreo preciso se han vuelto fundamentales para la agricultura moderna. Estas tecnologías permiten optimizar el uso de recursos y mejorar significativamente la productividad.

Comenzaremos explorando los fundamentos de los sistemas productivos agropecuarios y la importancia de caracterizar sus variables clave. Comprenderemos cómo factores como el clima, el suelo y las prácticas de manejo influyen en la producción.

El monitoreo de variables es nuestro siguiente enfoque, donde aprenderemos sobre tecnologías como sensores IoT, sistemas SCADA y drones. Estas herramientas permiten recopilar datos en tiempo real para tomar decisiones más informadas.

En automatización, abordaremos cómo implementar sistemas inteligentes que optimicen procesos como el riego, la fertilización y el control ambiental. Exploraremos casos prácticos en cultivos y producción pecuaria.

La gestión de la variabilidad espacial y temporal será otro tema central, donde veremos cómo las tecnologías geoespaciales y la agricultura de precisión permiten adaptar las prácticas agrícolas a las condiciones específicas de cada zona.

Las tendencias actuales apuntan hacia una agricultura cada vez más tecnificada, sostenible y eficiente, donde la automatización y el monitoreo juegan un papel crucial en la optimización de recursos y la mejora de la productividad.

¡Bienvenido al innovador mundo de la automatización y el monitoreo en sistemas productivos agropecuarios!

1. Introducción a los sistemas productivos agropecuarios

Los sistemas productivos agropecuarios son la base de la producción de alimentos, fibras y materias primas esenciales para la sociedad. Estos sistemas operan en un entorno dinámico, donde factores como el clima, los recursos naturales y las condiciones económicas influyen constantemente en su desempeño. Comprender cómo funcionan y se estructuran estos sistemas es fundamental para optimizar su productividad, garantizar la sostenibilidad y enfrentar los desafíos actuales, como el cambio climático y la demanda creciente de alimentos.

En este capítulo, se explorará el concepto de sistema productivo, sus componentes esenciales y los diferentes tipos que existen, desde sistemas agrícolas y pecuarios hasta agroindustriales. Además, se analizará la importancia de la caracterización de estos sistemas como paso inicial para su monitoreo y mejora continua. Por último, se abordará el papel de la sostenibilidad como eje central en la gestión moderna de los sistemas productivos, destacando cómo la integración de nuevas tecnologías contribuye a un uso más eficiente de los recursos y a la conservación del medio ambiente.

1.1. Definición y componentes de un sistema productivo

Un sistema productivo agropecuario se define como el conjunto de actividades interrelacionadas que, utilizando recursos naturales, humanos, tecnológicos y financieros, tiene como objetivo la producción de bienes agropecuarios, tales como alimentos, fibras y materias primas industriales. Estos sistemas pueden clasificarse en agrícolas, pecuarios y agroindustriales, dependiendo de su enfoque productivo.

Componentes esenciales de un sistema productivo

- **Recursos naturales**

Incluyen el suelo, el agua, el clima y la biodiversidad, elementos fundamentales que determinan las posibilidades y limitaciones de la producción.

- **Infraestructura y tecnología**

Comprende maquinaria, sistemas de riego, sensores y plataformas digitales.

- **Recursos humanos**

La mano de obra y la gestión administrativa son esenciales para ejecutar las actividades del sistema productivo.

- **Factores económicos y sociales**

Incluyen costos de producción, mercado y políticas públicas que influyen en la sostenibilidad y rentabilidad del sistema.

1.2. Variables clave en el monitoreo agrícola

El monitoreo agrícola se centra en el seguimiento de diversas variables que influyen en el rendimiento y la calidad de los cultivos. Estas variables se dividen en dos categorías principales:

Tipos de sistemas productivos

Son estructuras complejas que integran recursos, procesos y tecnologías para la generación de bienes primarios, como alimentos, fibras y materias primas agroindustriales. Estos sistemas operan en un entorno dinámico, influenciado por

factores climáticos, económicos y sociales, que afectan tanto su rendimiento como su sostenibilidad.

Desde un enfoque sistémico, un sistema productivo puede ser visto como un conjunto de elementos interrelacionados, donde las entradas (insumos como agua, semillas, fertilizantes y energía) se transforman en salidas (productos finales) mediante procesos productivos específicos. El éxito de estos sistemas depende de su capacidad para gestionar eficientemente recursos limitados, maximizar la productividad y adaptarse a las condiciones cambiantes del entorno.

En la actualidad, los sistemas productivos enfrentan desafíos significativos como la demanda creciente de alimentos, la escasez de recursos naturales y los efectos del cambio climático. La integración de tecnologías avanzadas, como la automatización y el monitoreo en tiempo real, permite optimizar estos sistemas, mejorando su resiliencia y sostenibilidad. Esto hace que la comprensión de sus elementos y dinámicas internas sea clave para su gestión y desarrollo.

Tabla 1. Clasificación de los sistemas productivos

| Sistemas | Tipos | Descripción |
|---|------------|---|
| Sistemas agrícolas. Producción vegetal en campos abiertos o ambientes controlados (invernaderos). | Extensivos | Cultivos como trigo, maíz y arroz, caracterizados por grandes superficies y baja intensidad tecnológica |
| Sistemas agrícolas. Producción vegetal en campos abiertos o ambientes controlados (invernaderos). | Intensivos | Hortalizas, frutales en invernaderos, con alto uso de tecnologías y recursos controlados. |

| Sistemas | Tipos | Descripción |
|---|------------------------|---|
| Sistemas pecuarios. Producción animal, como ganado bovino, porcino y avícola. Se enfocan en la gestión del bienestar animal y la optimización de la conversión alimenticia. | Intensivos | Producción avícola y porcina en ambientes controlados |
| Sistemas pecuarios. Producción animal, como ganado bovino, porcino y avícola. Se enfocan en la gestión del bienestar animal y la optimización de la conversión alimenticia. | Extensivos | Ganadería bovina en pastoreo, dependiente de variables climáticas |
| Sistemas agroindustriales. Incorporan procesos de transformación como la producción de aceites, harina y productos lácteos. | Integración vertical | Control de la cadena de valor desde la producción primaria hasta la transformación y comercialización (por ejemplo, aceites, harinas, lácteos). |
| Sistemas agroindustriales. Incorporan procesos de transformación como la producción de aceites, harina y productos lácteos. | Integración horizontal | Especialización en una o varias etapas del proceso de transformación (procesamiento, empaque, distribución), en alianza con otros actores. |

Fuente: OIT, 2024.

Cada clasificación está influenciada por factores como el acceso a tecnología, la disponibilidad de recursos y las condiciones del mercado. La caracterización de estos sistemas productivos, que abarca tanto el análisis de sus variables como la identificación de oportunidades de mejora, sienta las bases para la implementación de soluciones tecnológicas que contribuyan a la competitividad y sostenibilidad del sector agropecuario.

1.3. Importancia de la caracterización de sistemas productivos

La caracterización de un sistema productivo implica identificar y analizar sus componentes, dinámicas internas y el entorno en el que opera. Esto es fundamental para implementar mejoras tecnológicas y optimizar la gestión de recursos.

Objetivos de la caracterización

- **Diagnóstico integral**
Permite entender el estado actual del sistema y sus limitaciones.
- **Identificación de oportunidades**
Detecta áreas críticas que pueden beneficiarse de la automatización o mejores prácticas.
- **Base para el monitoreo y la mejora continua**
Proporciona datos de referencia para evaluar el impacto de nuevas tecnologías y estrategias.

1.4. Papel de la sostenibilidad en los sistemas productivos modernos

Dimensiones de la sostenibilidad

La sostenibilidad en los sistemas productivos modernos se articula en tres dimensiones interrelacionadas: económica, ambiental y social.

Económica

La sostenibilidad económica se centra en asegurar la viabilidad financiera de las operaciones agropecuarias. Esto implica maximizar la eficiencia en el uso de recursos, reducir costos y garantizar una rentabilidad adecuada. La adopción de tecnologías avanzadas como la automatización y la agricultura de precisión permite a los

productores mejorar su competitividad en mercados cada vez más globalizados. Sus estrategias clave son:

- a) Optimización del uso de insumos como agua, fertilizantes y energía.
- b) Reducción de pérdidas postcosecha mediante sistemas automatizados de monitoreo y control.
- c) Diversificación de ingresos a través de la integración agroindustrial.

Ambiental:

La dimensión ambiental busca minimizar el impacto de las actividades agropecuarias sobre los ecosistemas. Esto incluye la conservación de recursos naturales, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la protección de la biodiversidad. Los sistemas productivos sostenibles adoptan prácticas como la rotación de cultivos, la agroforestería y la gestión integrada de plagas para mantener la salud del suelo y la calidad del agua. Algunos beneficios ambientales de la automatización son:

- **Reducción del consumo de agua**
Mediante sistemas de riego automatizados basados en sensores de humedad del suelo.
- **Minimización de la aplicación de agroquímicos**
A través de la aplicación de dosis variables en función de las necesidades específicas de cada zona del cultivo.
- **Disminución de emisiones**
Control preciso de procesos como la fertilización y la ventilación en sistemas pecuarios.

Social:

La sostenibilidad social se centra en mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales y garantizar la seguridad alimentaria. Esto incluye la generación de empleo digno, el acceso a tecnologías y la promoción de prácticas que fortalezcan la resiliencia de los sistemas productivos ante desafíos como el cambio climático. Algunas contribuciones sociales de la sostenibilidad son:

- a) Mejora de la seguridad alimentaria mediante una producción más eficiente y estable.
- b) Promoción de la equidad en el acceso a tecnologías avanzadas para pequeños y medianos productores.
- c) Fortalecimiento de la cohesión social y la colaboración entre productores a través de redes de conocimiento y cooperación.

Automatización y sostenibilidad

La automatización es una herramienta poderosa para impulsar la sostenibilidad en los sistemas productivos. Permite una gestión más eficiente y precisa de los recursos, lo que contribuye a reducir el desperdicio y a optimizar el uso de insumos. Además, la capacidad de monitorear y analizar datos en tiempo real facilita la implementación de prácticas agrícolas adaptativas que mejoran la resiliencia del sistema productivo. Contribuciones específicas de la automatización son por ejemplo:

- **Mejoras en la eficiencia del riego**

Los sistemas automatizados aplican agua de manera precisa, reduciendo el consumo y asegurando un suministro adecuado para los cultivos.

- **Manejo integrado de plagas (MIP)**

La detección temprana y el control automático de plagas mediante sensores y drones disminuyen la necesidad de aplicaciones químicas extensivas.

- **Optimización del bienestar animal**

En sistemas pecuarios, la automatización permite mantener condiciones ambientales óptimas en los galpones, mejorando la salud y el rendimiento de los animales.

Retos y beneficios de la sostenibilidad

Retos para alcanzar la sostenibilidad:

- **Acceso a tecnología y capital:** las inversiones iniciales necesarias para la automatización y la adopción de prácticas sostenibles pueden ser prohibitivas para pequeños y medianos productores.
- **Capacitación técnica:** el éxito de estas tecnologías depende de la capacidad de los productores y trabajadores agrícolas para utilizarlas de manera efectiva.
- **Políticas y regulaciones:** la falta de políticas públicas que fomenten la sostenibilidad puede limitar la adopción de prácticas y tecnologías innovadoras.

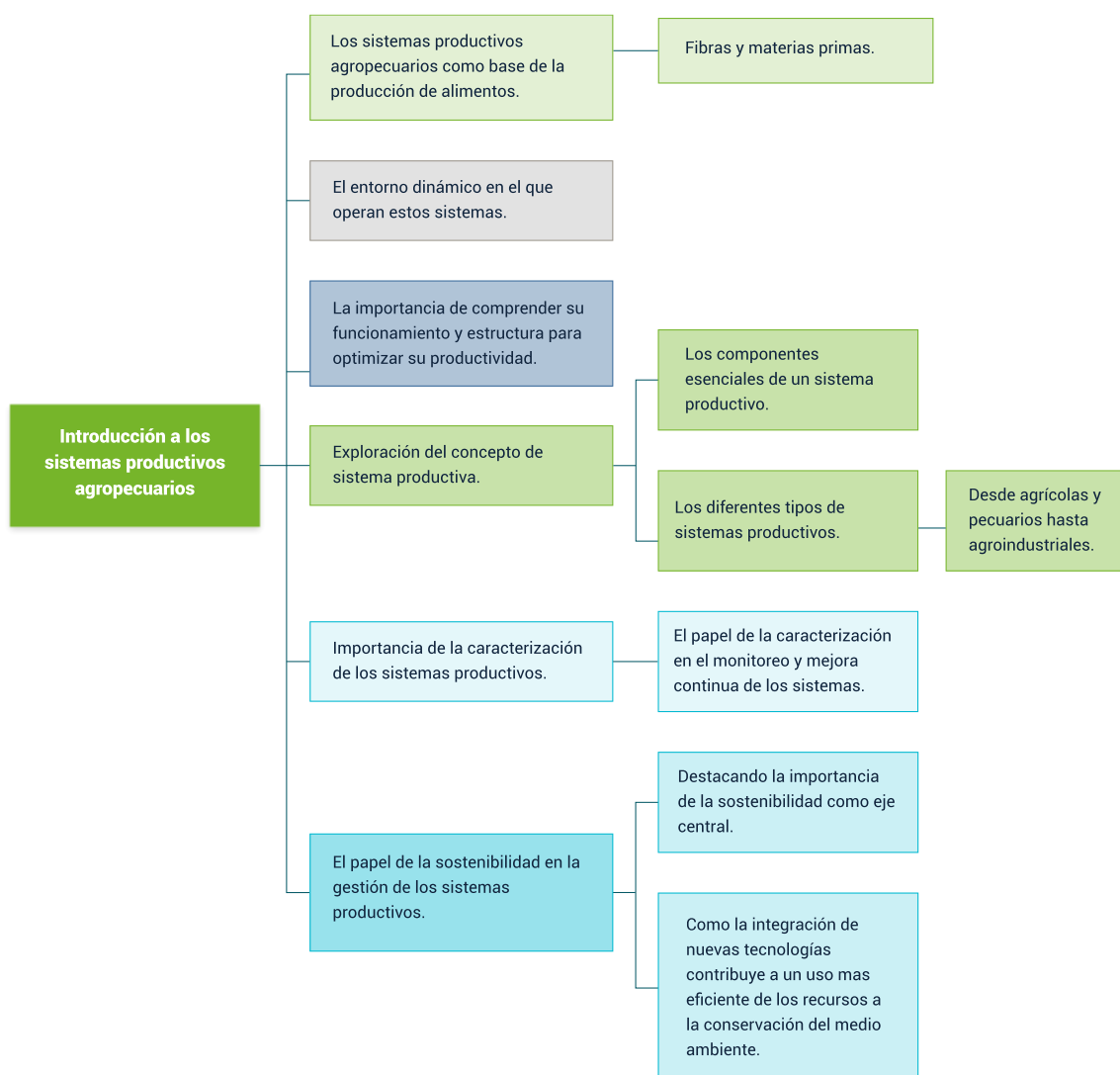
Beneficios a largo plazo de la sostenibilidad:

- Adoptar un enfoque sostenible en los sistemas productivos no solo responde a los desafíos actuales, sino que también ofrece beneficios significativos a largo plazo, entre estos destacan la resiliencia frente a

condiciones climáticas extremas, la conservación de la fertilidad del suelo y la creación de un sector agropecuario más competitivo y adaptativo.

- La combinación de tecnologías avanzadas, como la automatización con prácticas agrícolas sostenibles, constituye una estrategia integral para garantizar que los sistemas productivos agropecuarios sigan siendo viables y rentables en el futuro.

Figura 1. Resumen introducción a los sistemas productivos agropecuarios



Fuente: OIT, 2024.

2. Variables en sistemas productivos y su monitoreo

En los sistemas productivos agropecuarios, las variables son factores determinantes que influyen directamente en la eficiencia, productividad y sostenibilidad de los procesos. Estas variables, que van desde condiciones climáticas hasta características del suelo y parámetros productivos, conforman un conjunto dinámico que requiere monitoreo constante para garantizar un desempeño óptimo.

El monitoreo de variables es un componente clave en la gestión moderna de los sistemas productivos. Gracias a los avances tecnológicos, es posible medir y analizar en tiempo real factores críticos como la humedad del suelo, la temperatura ambiente o la calidad del agua, lo que permite tomar decisiones informadas para optimizar recursos y minimizar riesgos. Este proceso, central en la agricultura de precisión, no solo mejora el rendimiento de los cultivos y la producción pecuaria, sino que también contribuye a la sostenibilidad al reducir el impacto ambiental.

2.1. Importancia de las variables en los sistemas productivos

Las variables en los sistemas productivos agropecuarios representan factores clave que afectan directa o indirectamente el rendimiento y la sostenibilidad del proceso productivo. Su monitoreo constante permite ajustar prácticas agrícolas y pecuarias para maximizar la eficiencia y minimizar riesgos. Estas variables pueden ser de naturaleza ambiental, biológica o productiva, y su correcta gestión es fundamental para la optimización de recursos y la toma de decisiones informadas.

En cualquier sistema productivo agropecuario, las variables representan los factores que determinan su funcionamiento, eficiencia y resultados. Estas variables no solo reflejan las condiciones internas del sistema, como el estado del suelo o la salud

del cultivo, sino también las influencias externas, como las condiciones climáticas y los mercados. Entender su importancia es esencial para gestionar y optimizar procesos productivos, ya que permite a los productores anticipar problemas, tomar decisiones informadas y aplicar estrategias de mejora. Este apartado explora cómo las variables afectan todos los aspectos del sistema productivo y su papel en la sostenibilidad y la competitividad en el sector agropecuario.

2.2. Clasificación de variables en sistemas productivos

La diversidad de factores que influyen en los sistemas productivos hace necesario clasificarlos para una gestión efectiva. Las variables se pueden dividir en categorías que abarcan aspectos agroclimáticos, edáficos y productivos. Cada categoría tiene un impacto específico y requiere métodos de monitoreo y control adecuados para maximizar la eficiencia del sistema. Este apartado presenta un marco para comprender y clasificar estas variables, proporcionando una base sólida para el diseño e implementación de estrategias de monitoreo.

Las variables en los sistemas productivos se dividen en varias categorías, cada una con un impacto específico en el proceso productivo:

Variables agroclimáticas

Las variables agroclimáticas son factores ambientales que influyen significativamente en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, así como en la productividad de los sistemas pecuarios. Estas variables, como la temperatura, la humedad relativa, la precipitación y la velocidad del viento son elementos externos que no pueden ser controlados directamente, pero cuyo impacto puede ser gestionado mediante el monitoreo y la implementación de estrategias adaptativas.

- **Temperatura**

Afecta la germinación, crecimiento y madurez de los cultivos. En la producción pecuaria, influye en el bienestar animal y la productividad.

- **Humedad relativa**

Importante para la transpiración y fotosíntesis en cultivos, y para mantener condiciones saludables en los establos.

- **Precipitación**

Asegura el suministro de agua para cultivos y rellena acuíferos.

- **Velocidad y dirección del viento**

Afecta la polinización, dispersión de plagas y daños estructurales en invernaderos.

Variables del suelo y agua

El suelo y el agua son recursos fundamentales para cualquier sistema productivo agrícola. Las variables asociadas, como la humedad del suelo, la salinidad y la calidad del agua, tienen un impacto directo en la salud de los cultivos y el rendimiento. La gestión adecuada de estas variables es crítica para asegurar un entorno productivo óptimo y evitar problemas como la compactación del suelo, la salinización o la contaminación de los acuíferos. Este apartado se centra en identificar y explicar estas variables, resaltando su relevancia en la planificación y operación de los sistemas productivos.

- **Humedad del suelo**

Determina la cantidad de agua disponible para las plantas, clave para planificar riegos.

- **pH del suelo**

Afecta la disponibilidad de nutrientes esenciales para el cultivo.

- **Salinidad**

Altos niveles pueden ser tóxicos para los cultivos y reducir su rendimiento.

- **Calidad del agua**

Elemento crítico para sistemas de riego, debe ser monitoreada para evitar la acumulación de sales y contaminantes.

Variables productivas

Las variables productivas miden el éxito del sistema en términos de cantidad y calidad de los productos obtenidos. Incluyen indicadores como el rendimiento del cultivo, la calidad del producto y la eficiencia en el uso de insumos. Estas variables son clave para evaluar la rentabilidad y la competitividad del sistema, y su monitoreo continuo permite ajustes en las prácticas agrícolas para maximizar los resultados. Este apartado analiza las principales variables productivas, su relación con las demás categorías de variables y su importancia en la toma de decisiones estratégicas.

- a) **Rendimiento del cultivo:** cantidad de producto obtenido por unidad de superficie.
- b) **Índice de cosecha:** relación entre biomasa cosechada y biomasa total.
- c) **Calidad del producto:** influyen aspectos como tamaño, color, contenido nutricional o nivel de humedad en el producto final.

2.3. Monitoreo de variables en sistemas productivos

El monitoreo de variables es un proceso determinante para garantizar que los sistemas productivos operen de manera eficiente y sostenible. Este proceso permite

identificar tendencias, prever problemas y realizar ajustes precisos en tiempo real. Con la adopción de tecnologías avanzadas, como sensores IoT y sistemas SCADA, el monitoreo ha evolucionado, permitiendo a los productores tener un control detallado de cada aspecto del sistema productivo. Este apartado profundiza en las técnicas y tecnologías de monitoreo, resaltando su papel en la optimización de los procesos productivos.

Tecnologías de monitoreo

La evolución de la tecnología ha transformado el monitoreo en sistemas productivos, pasando de métodos manuales a sistemas automatizados que recopilan y analizan datos en tiempo real. Sensores, drones, imágenes satelitales y software especializado han revolucionado la forma en que se controlan las variables agroclimáticas, del suelo y productivas. Este apartado se centra en las principales tecnologías disponibles, sus características y cómo contribuyen a mejorar la toma de decisiones y la eficiencia del sistema.

El desarrollo de la agricultura de precisión ha introducido herramientas que mejoran la precisión y eficiencia del monitoreo:

- **Sensores IoT**

Dispositivos que capturan datos agroclimáticos, del suelo y del cultivo en tiempo real, como temperatura, humedad y niveles de nutrientes. Estos sensores están conectados a redes que permiten el análisis remoto.

- **Sistemas SCADA**

Supervisan y controlan procesos productivos, integrando datos de múltiples fuentes para una gestión eficiente.

- **Drones y satélites**

Ofrecen imágenes aéreas para monitorear la salud de los cultivos y condiciones del suelo, identificando áreas con estrés hídrico o infestaciones.

- **Software de análisis**

Herramientas especializadas que procesan los datos recopilados y generan reportes visuales para la toma de decisiones.

2.4. Estrategias de monitoreo

El monitoreo continuo de variables proporciona numerosos beneficios, desde la mejora en la eficiencia del uso de recursos hasta la mitigación de riesgos. Al identificar problemas de manera temprana, permite aplicar soluciones antes de que afecten significativamente la producción. Además, fomenta prácticas sostenibles, al optimizar el uso de agua y fertilizantes, y reducir el impacto ambiental. Este apartado analiza los principales beneficios del monitoreo y cómo contribuyen al éxito de los sistemas productivos.

- **Monitoreo en tiempo real**

Ideal para variables críticas como la humedad del suelo en cultivos de riego.

- **Monitoreo periódico**

Revisión de datos en intervalos programados, útil para variables de largo plazo como la calidad del suelo.

- **Monitoreo predictivo**

Utiliza modelos de datos históricos para prever condiciones futuras y tomar acciones preventivas.

- **Sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)**

Permiten la supervisión y control remoto de múltiples procesos agrícolas, integrando datos de sensores y actuadores. Los sistemas SCADA ofrecen interfaces gráficas intuitivas para el análisis y la toma de decisiones en tiempo real.

- **Drones y satélites**

Los drones equipados con cámaras multiespectrales y los satélites proporcionan imágenes aéreas detalladas, permitiendo identificar variaciones en el estado de los cultivos y áreas problemáticas dentro de grandes parcelas.

2.5. Beneficios del monitoreo de variables

A pesar de sus beneficios, la implementación del monitoreo de variables en sistemas productivos no está exenta de desafíos. Factores como el costo inicial de la tecnología, la falta de infraestructura en áreas rurales y la necesidad de capacitación especializada pueden limitar su adopción. Este apartado aborda los principales retos que enfrentan los productores y propone estrategias para superarlos, garantizando que el monitoreo se convierta en una herramienta accesible y efectiva.

El monitoreo de variables en los sistemas productivos ofrece múltiples beneficios:

- a) **Optimización de recursos:** permite un uso eficiente de agua, fertilizantes y energía, reduciendo costos operativos.
- b) **Aumento de la productividad:** la gestión precisa de variables asegura condiciones óptimas para el crecimiento de los cultivos y la salud animal.

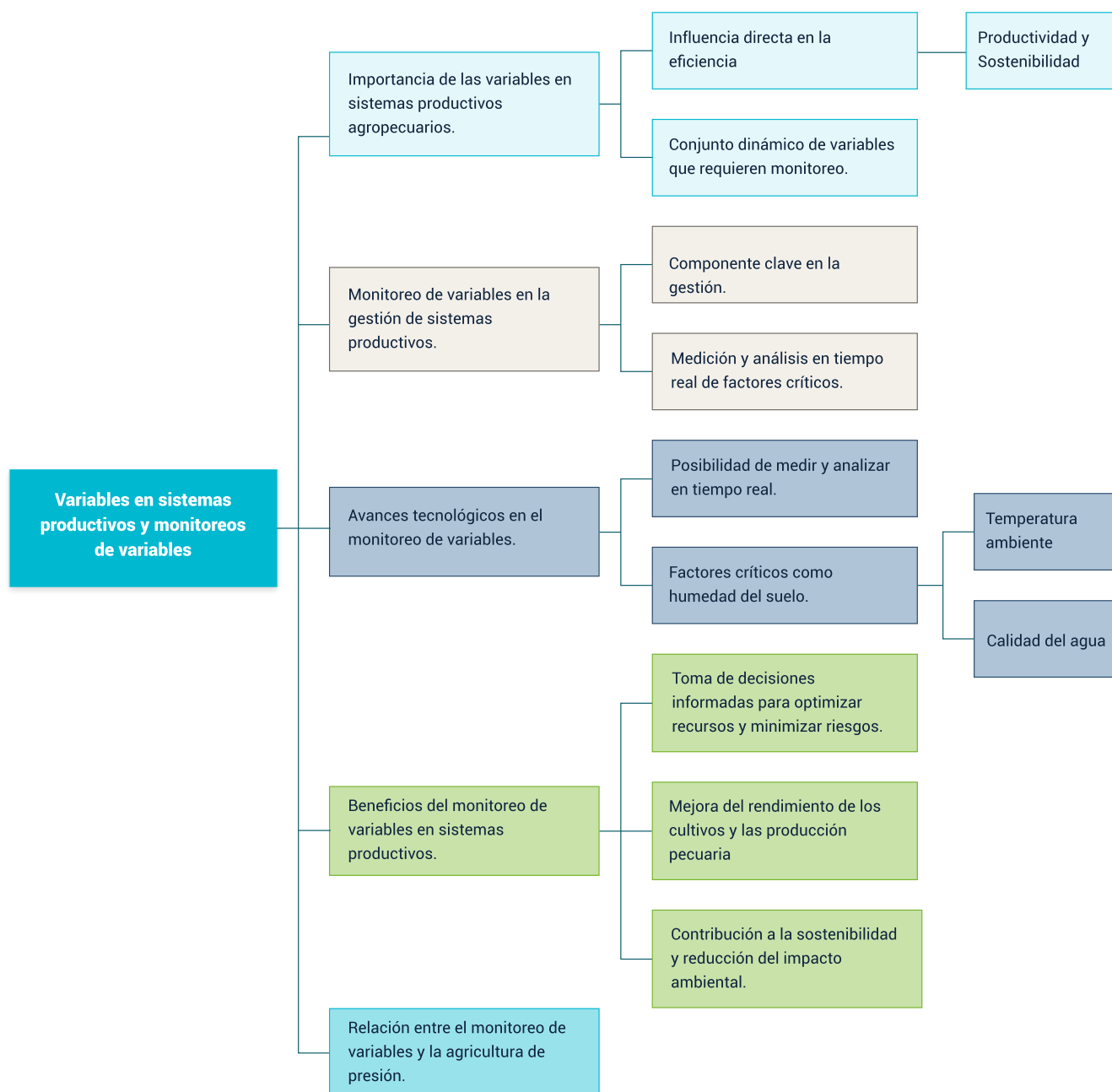
- c) **Mitigación de riesgos:** identifica problemas como deficiencias nutricionales o amenazas climáticas, permitiendo una respuesta oportuna.
- d) **Sostenibilidad:** minimiza el impacto ambiental al reducir el uso excesivo de insumos y proteger recursos naturales.

2.6. Retos en el monitoreo de variables

Implementar un sistema de monitoreo eficaz requiere una planificación cuidadosa y una estrategia bien definida. Esto incluye la selección de tecnologías adecuadas, la capacitación del personal y la integración de los datos recolectados en los procesos de toma de decisiones. Este apartado explora las mejores prácticas para la implementación del monitoreo, destacando cómo adaptarlas a diferentes contextos productivos para maximizar su impacto; a pesar de sus ventajas, el monitoreo presenta desafíos:

- **Acceso a tecnología**
Altos costos iniciales pueden limitar su adopción en pequeñas explotaciones.
- **Capacitación técnica**
Los usuarios necesitan formación para interpretar datos y utilizar tecnologías avanzadas.
- **Infraestructura**
La conectividad en áreas rurales puede ser un obstáculo para el monitoreo en tiempo real.

Figura 2. Resumen variables en sistemas productivos y monitoreos agropecuarios



Fuente: OIT, 2024.

El monitoreo y la gestión de variables en sistemas productivos agropecuarios son fundamentales para asegurar la eficiencia, la sostenibilidad y la competitividad en un sector cada vez más desafiante. A lo largo de este capítulo, se han explorado las

diversas categorías de variables que afectan los procesos productivos, desde las agroclimáticas, que determinan las condiciones externas, hasta las del suelo, agua y productividad, que son críticas para el rendimiento y la calidad.

Asimismo, se destacó la relevancia del monitoreo continuo mediante tecnologías avanzadas como sensores IoT, sistemas SCADA y herramientas de análisis de datos. Estas tecnologías no solo permiten una supervisión más precisa y en tiempo real, sino que también facilitan la toma de decisiones fundamentadas, ajustando las prácticas agrícolas para maximizar la productividad y minimizar los riesgos.

Se recomienda profundizar en variables de sistemas productivos y monitoreo de variables.

- Enlace video. “Sistemas de productividad agrícola”
<https://www.youtube.com/watch?v=3eQKBi4kdHQ>
- Enlace web. Simulador: CROPWAT: Herramienta para cálculo de riego agrícola
<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/>
- Enlace web. Lectura: “Introducción a sensores IoT en agricultura”
<https://doi.org/10.17013/risti.24.39-56>

3. Automatización en el monitoreo de sistemas productivos

La automatización ha revolucionado la gestión de los sistemas productivos agropecuarios, transformando la manera en que se monitorean y controlan las variables clave. A través de la integración de tecnologías avanzadas como sensores IoT, sistemas SCADA y plataformas de análisis de datos, los productores pueden obtener información en tiempo real, tomar decisiones informadas y optimizar cada aspecto del proceso productivo.

En un entorno agropecuario cada vez más desafiante, donde factores como el cambio climático y la competencia global exigen mayor eficiencia y sostenibilidad, la automatización se ha convertido en un aliado indispensable. Permite no solo reducir costos operativos y mejorar la calidad de los productos, sino también mitigar riesgos y reducir el impacto ambiental.

3.1. Introducción a la automatización en la agricultura

La automatización en los sistemas productivos agropecuarios ha revolucionado la forma en que se gestionan los cultivos y la producción pecuaria. Mediante la integración de tecnologías avanzadas, como sensores IoT, sistemas SCADA y plataformas de análisis de datos, es posible monitorear y controlar variables clave en tiempo real, optimizando cada aspecto del proceso productivo.

Este capítulo aborda cómo la automatización ha transformado el monitoreo agrícola, permitiendo una gestión más precisa, eficiente y sostenible. Se analizarán los componentes esenciales de un sistema automatizado, los modelos de implementación y su impacto en la toma de decisiones basada en datos.

3.2. Componentes de un sistema automatizado

Un sistema automatizado de monitoreo agrícola está compuesto por varios elementos interconectados que trabajan en conjunto para recopilar, procesar y analizar datos. A continuación, se describen los principales componentes:

Tabla 2. Principales componentes de un sistema automatizado

| Componente | Descripción | Aplicaciones |
|--|--|---|
| Sensores IoT | Los sensores IoT son dispositivos clave en la automatización. Capturan datos relacionados con variables agroclimáticas (como temperatura, humedad y precipitación), del suelo (como niveles de humedad y pH) y productivas (como el rendimiento del cultivo). Estos sensores se conectan a través de redes inalámbricas, lo que permite el monitoreo en tiempo real. | <p>Tipos de sensores más comunes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sensores de humedad del suelo: ayudan a optimizar el riego al medir la cantidad de agua disponible para las plantas. • Sensores de calidad del aire: utilizados en sistemas pecuarios para controlar niveles de gases como amoníaco y CO₂. • Sensores de temperatura y humedad relativa: monitorean el ambiente de cultivos e invernaderos. <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recopilación de datos en tiempo real. • Reducción de la intervención manual. • Capacidad de integración con otros sistemas automatizados. |
| Sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) | Los sistemas SCADA son plataformas de supervisión y control a distancia. Integran sensores y dispositivos para recolectar datos de procesos productivos en tiempo real, permitiendo el monitoreo, análisis y ajuste de variables clave sin la intervención directa del operador. | <p>Aplicaciones en la agricultura</p> <ul style="list-style-type: none"> • Riego automatizado: controla el suministro de agua basado en datos de humedad del suelo. • Climatización de invernaderos: regula automáticamente la temperatura y humedad para mantener condiciones óptimas. • Producción pecuaria: monitorea la alimentación y el ambiente de los animales. |

| Componente | Descripción | Aplicaciones |
|---------------------------|--|---|
| | | Beneficios: <ul style="list-style-type: none"> • Centralización del monitoreo. • Mejor toma de decisiones gracias a la visualización de datos históricos y en tiempo real. • Capacidad de automatización de procesos complejos. |
| Drones y Satélites | <p>Los drones y satélites proporcionan información visual y georreferenciada de cultivos y su entorno. Mediante imágenes multiespectrales y otras tecnologías de detección remota, facilitan la identificación temprana de problemas, la optimización de insumos y la mejora de la planificación agrícola.</p> | Aplicaciones: <ul style="list-style-type: none"> • Detección de estrés hídrico y nutricional: identificación de áreas problemáticas dentro de una parcela. • Monitoreo de plagas: ayudan a detectar infestaciones tempranas y optimizar el uso de pesticidas. • Evaluación de rendimientos: mediante índices de vegetación como NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada). Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> • Cobertura rápida y eficiente de grandes áreas. • Reducción de costos en inspección manual. • Mayor precisión en la planificación de actividades agrícolas |

Fuente: OIT, 2024.

3.3. Modelos de Implementación de la automatización

La automatización en los sistemas productivos agropecuarios no sigue un modelo único; su implementación depende de factores como el tipo de cultivo o producción, el entorno donde se desarrolla, y los recursos tecnológicos y financieros disponibles.

Existen diversas formas de integrar tecnologías automatizadas, y cada modelo responde a las necesidades específicas de distintos sistemas productivos. Estos modelos van desde la implementación de sistemas básicos de monitoreo hasta soluciones avanzadas que gestionan automáticamente todo el ciclo productivo. La implementación de sistemas automatizados en la agricultura varía según el tipo de sistema productivo, las condiciones locales y los recursos disponibles. Algunos de los modelos más comunes incluyen:

Cultivos en ambiente abierto

Los **cultivos en ambiente abierto**, como el maíz, el arroz y otros cereales, enfrentan grandes desafíos debido a la exposición directa a condiciones climáticas variables. La automatización en este contexto se centra en el monitoreo agroclimático y la gestión de recursos como agua y fertilizantes.

a) Elementos clave de la automatización en ambiente abierto

- Sistemas de riego automatizado: integran sensores de humedad del suelo para activar riegos solo cuando es necesario, optimizando el uso del agua.
- Monitoreo climático: sensores que miden variables como temperatura, humedad y precipitación ayudan a predecir condiciones adversas.
- Uso de drones y satélites: proveen imágenes de grandes áreas agrícolas, permitiendo identificar zonas con estrés hídrico o infestaciones de plagas.

b) Beneficios

- Reducción del uso de insumos.
- Mejora del rendimiento y calidad de los cultivos.
- Mayor resiliencia frente a condiciones climáticas extremas.

Cultivos en ambiente protegido

Los **cultivos en ambiente protegido**, como los invernaderos, permiten un control mucho más preciso de las condiciones de crecimiento. La automatización en estos entornos no solo optimiza el uso de recursos, sino que también asegura un ambiente ideal para maximizar la productividad. Algunas tecnologías aplicadas en ambientes protegidos son:

a) Control climático automatizado

Sistemas que regulan la temperatura, la humedad y la luz mediante sensores y actuadores.

b) Sistemas de fertirrigación automatizada

Combinan el suministro de agua con nutrientes, adaptándose a las necesidades específicas del cultivo en cada etapa de crecimiento.

c) Monitoreo de plagas y enfermedades

Sensores específicos detectan la presencia de plagas y condiciones propicias para enfermedades, activando sistemas de control preventivo.

Entre sus beneficios se encuentran:

- Aumento en la producción por unidad de área.
- Mayor eficiencia en el uso de insumos.
- Reducción de riesgos asociados a plagas y enfermedades.

Sistemas pecuarios

En los **sistemas pecuarios**, la automatización se enfoca en optimizar el bienestar animal y la eficiencia en la producción. Esto incluye la gestión automatizada de la

alimentación, el monitoreo de la salud y el control de las condiciones ambientales.

Algunos ejemplos de automatización en sistemas pecuarios son:

- a) **Alimentación automatizada:** sistemas que administran raciones de alimento de acuerdo con las necesidades específicas de cada animal, mejorando la conversión alimenticia.
- b) **Monitoreo ambiental:** sensores de temperatura, humedad y calidad del aire (amoníaco y CO₂) aseguran un ambiente saludable.
- c) **Sistemas de detección de enfermedades:** tecnologías que miden indicadores de salud como la temperatura corporal y el comportamiento, permitiendo una detección temprana de enfermedades.

Entre sus beneficios se encuentran:

- Mejora del rendimiento productivo.
- Reducción de costos asociados a la mano de obra y el uso de insumos.
- Aseguramiento de estándares de bienestar animal.

3.4. Ventajas de la automatización en el monitoreo

La automatización en el monitoreo ofrece múltiples beneficios que mejoran la eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad de los sistemas productivos agropecuarios.

a) Precisión y eficiencia

Permite un monitoreo constante y preciso de variables clave, optimizando el uso de recursos como agua y fertilizantes.

b) Toma de decisiones basada en datos

Los datos recopilados y analizados en tiempo real facilitan decisiones más informadas y rápidas, mejorando la capacidad de respuesta ante cambios en las condiciones del sistema.

c) Sostenibilidad

La automatización contribuye a prácticas más sostenibles al minimizar el desperdicio de recursos y reducir el impacto ambiental.

d) Reducción de costos operativos

A largo plazo, la eficiencia mejorada y la reducción de pérdidas compensan la inversión inicial en tecnología.

e) Principales ventajas

- **Monitoreo continuo y en tiempo real:** proporciona datos precisos y actualizados que permiten ajustes inmediatos en los procesos productivos.
- **Optimización del uso de recursos:** tecnologías como el riego y la fertilización automatizados aseguran que solo se utilicen insumos cuando y donde sean necesarios.
- **Reducción de costos operativos:** menor necesidad de intervención manual y menos desperdicio de recursos.
- **Sostenibilidad:** al reducir el impacto ambiental, la automatización promueve prácticas agrícolas más responsables.

3.5. Retos en la implementación de la automatización

A pesar de sus múltiples beneficios, la automatización enfrenta varios desafíos que limitan su adopción generalizada, especialmente en pequeñas y medianas explotaciones:

- **Inversión inicial:** los sistemas automatizados pueden tener un costo elevado, lo que limita su adopción por pequeños y medianos productores.
- **Capacitación técnica:** es necesario que los usuarios estén capacitados para manejar las tecnologías y analizar los datos generados.
- **Infraestructura y conectividad:** en áreas rurales, la falta de conectividad y de infraestructura tecnológica puede dificultar la implementación de sistemas avanzados.

3.6. Impacto de la automatización en la sostenibilidad

La automatización no solo mejora la eficiencia y productividad, sino que también tiene un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental y económica de los sistemas productivos. Al optimizar el uso de insumos y reducir las pérdidas, contribuye a la conservación de recursos naturales y a la mitigación de impactos negativos en el medio ambiente. Además, la capacidad de anticipar y responder a problemas mejora la resiliencia del sistema frente a desafíos como el cambio climático.

Impactos clave en la sostenibilidad

- **Reducción del impacto ambiental**

La automatización minimiza la sobreexplotación de recursos y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.

- **Mayor resiliencia frente al cambio climático**

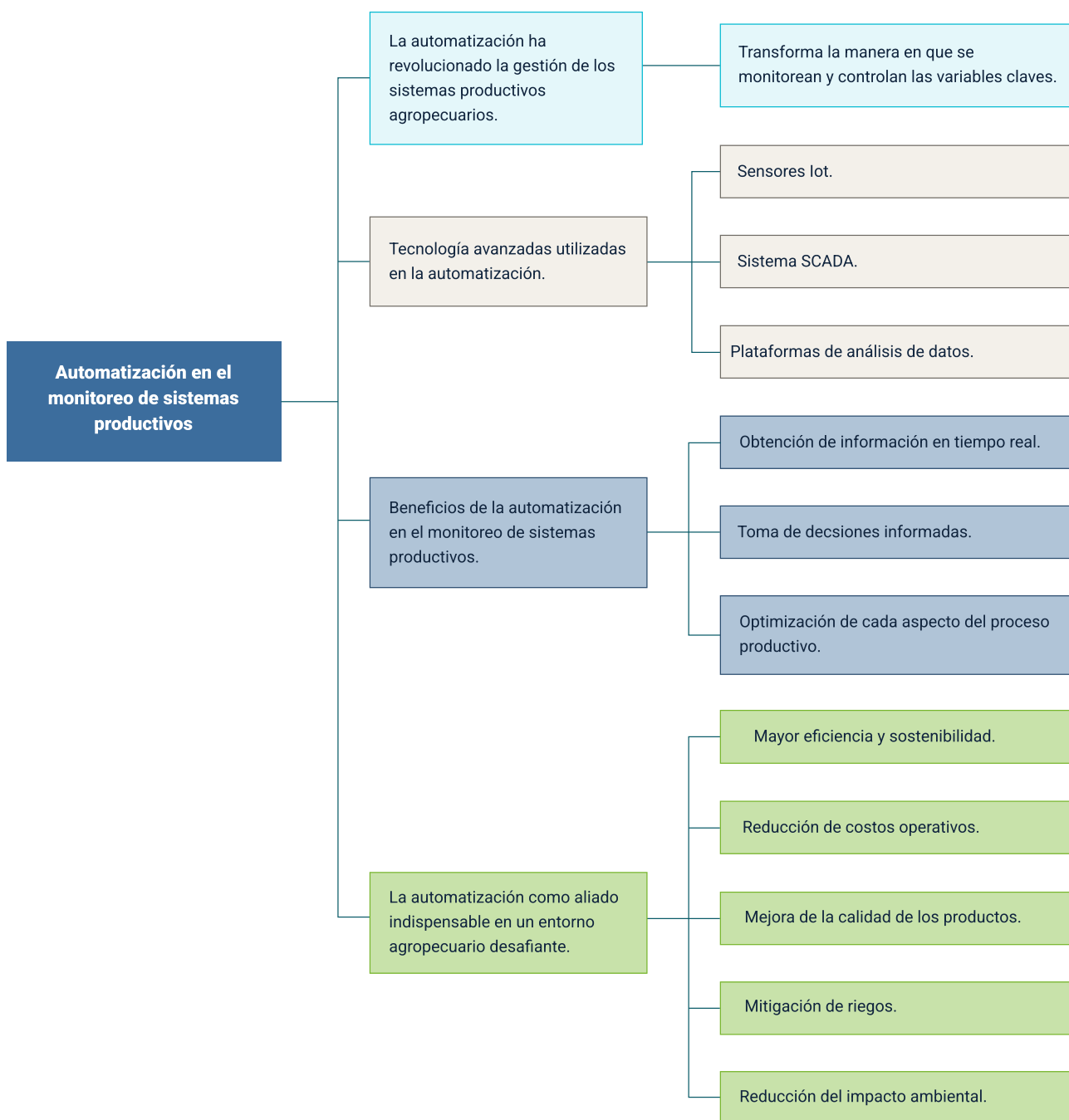
Los sistemas automatizados pueden prever y mitigar los efectos de condiciones climáticas adversas.

- **Conservación de la biodiversidad**

Al aplicar insumos de manera precisa, se reduce el impacto sobre el entorno natural, protegiendo la fauna y flora local.

La implementación de la automatización representa un paso necesario hacia un sector agropecuario más eficiente, competitivo y sostenible.

Figura 3. Resumen automatización en el monitoreo de sistemas productivos



Fuente: OIT, 2024.

4. Gestión de variabilidad espacial y temporal

En los sistemas productivos agropecuarios, la variabilidad espacial y temporal es un factor clave que influye en la productividad y eficiencia de los cultivos y la producción pecuaria. La variabilidad espacial se refiere a las diferencias que existen en las condiciones del suelo, el agua y otros recursos dentro de una misma parcela o entre parcelas cercanas. Por otro lado, la variabilidad temporal abarca los cambios que ocurren a lo largo del tiempo, como las fluctuaciones estacionales en el clima o la evolución de las propiedades del suelo debido a prácticas agrícolas.

Gestionar esta variabilidad es fundamental para optimizar la producción, ya que permite adaptar las prácticas agrícolas a las condiciones específicas de cada área y momento. Esto es posible gracias a herramientas avanzadas, como los sistemas de información geográfica (SIG), sensores IoT y drones, que facilitan la recopilación y análisis de datos georreferenciados. La integración de estas tecnologías en el manejo agrícola permite implementar estrategias de agricultura de precisión, como la fertilización y el riego variable, que aseguran un uso eficiente de los recursos y mejoran el rendimiento del sistema productivo.

4.1. Variabilidad espacial y temporal en la agricultura

La variabilidad espacial y temporal es una característica inherente a los sistemas productivos agropecuarios. Se refiere a las diferencias en las condiciones del suelo, el clima, y el estado de los cultivos o animales a lo largo del tiempo y el espacio. Esta variabilidad puede tener un impacto significativo en la productividad, la eficiencia en el uso de recursos y la sostenibilidad del sistema productivo.

La variabilidad espacial considera cómo cambian las condiciones dentro de una misma parcela o entre diferentes parcelas de un mismo sistema. Por otro lado, la variabilidad temporal se refiere a cómo varían las condiciones a lo largo del tiempo debido a factores como el clima, las prácticas de manejo y las dinámicas del ecosistema.

La gestión adecuada de esta variabilidad, a través de tecnologías avanzadas y prácticas de agricultura de precisión, permite optimizar las operaciones, mejorar el rendimiento y reducir los impactos ambientales.

4.2. Concepto de variabilidad espacial y temporal

La variabilidad espacial se manifiesta en diferencias en características del suelo, como la textura, el contenido de materia orgánica, la capacidad de retención de agua y la fertilidad. Estas diferencias influyen en cómo los cultivos responden a las prácticas de manejo, como la fertilización y el riego.

Por otro lado, la variabilidad temporal afecta el sistema productivo debido a cambios estacionales o interanuales en las condiciones climáticas, como la temperatura, la precipitación y la humedad. Además, la variabilidad temporal puede estar relacionada con eventos extremos, como sequías o inundaciones.

- **Variabilidad espacial**

Se refiere a las diferencias en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como en las condiciones micro climáticas dentro de una misma parcela o entre parcelas vecinas.

- **Variabilidad temporal**

Incluye cambios estacionales y anuales en variables como la temperatura, la precipitación y la disponibilidad de agua en el suelo, influenciados por fenómenos climáticos y prácticas de manejo.

4.3. Impacto de la variabilidad espacial y temporal en los sistemas productivos

La variabilidad espacial y temporal puede generar desigualdades en el rendimiento de los cultivos y en la eficiencia del uso de insumos. Por ejemplo, algunas áreas dentro de una parcela pueden ser más fértiles y requerir menos fertilización, mientras que otras pueden necesitar mayores aportes para alcanzar un rendimiento óptimo.

Principales impactos:

- **Rendimiento desigual**

Diferencias en el crecimiento y desarrollo de los cultivos dentro de una misma parcela.

- **Ineficiencia en el uso de insumos**

Aplicación uniforme de fertilizantes o agua en áreas con necesidades variables puede resultar en desperdicio de recursos o deficiencias en ciertas zonas.

- **Incremento de costos**

La falta de adaptación a la variabilidad puede generar costos adicionales en insumos y mano de obra.

- **Sostenibilidad comprometida**

El manejo inadecuado de la variabilidad puede resultar en impactos negativos sobre el suelo y los recursos hídricos.

4.4. Estrategias de manejo específico por sitio (MSS)

El manejo específico por sitio (MSS) es una estrategia clave para abordar la variabilidad espacial dentro de los sistemas productivos. Implica la adaptación de prácticas agrícolas a las condiciones específicas de cada zona dentro de una parcela, utilizando datos detallados para tomar decisiones más precisas.

4.5. Uso de tecnologías para la gestión de la variabilidad

Permiten mapear la variabilidad espacial dentro de una parcela y analizar datos georreferenciados, como la fertilidad del suelo y la topografía, para diseñar estrategias de manejo específicas para cada zona.

Tabla 3. Tecnologías para la gestión de la variabilidad

| Tecnología | Aplicación | Ventajas |
|---|---|---|
| Sistemas de información geográfica (SIG) Los SIG son herramientas fundamentales para la gestión de la variabilidad espacial, permitiendo mapear y analizar datos georreferenciados sobre el suelo, el clima y los cultivos. | <ul style="list-style-type: none"> • Generación de mapas de fertilidad del suelo. • Identificación de zonas con estrés hídrico. • Análisis de patrones de rendimiento. | <ul style="list-style-type: none"> • Visualización clara de la variabilidad dentro de una parcela. • Toma de decisiones más informada. • Integración con otras tecnologías de monitoreo. |

| Tecnología | Aplicación | Ventajas |
|--|---|---|
| Drones y sensores remotos Los drones equipados con cámaras multiespectrales y térmicas son ideales para monitorear grandes áreas agrícolas con alta precisión. | <ul style="list-style-type: none"> • Detección temprana de plagas y enfermedades. • Monitoreo de la salud de los cultivos mediante índices de vegetación como NDVI. • Mapeo de zonas con baja productividad. | <ul style="list-style-type: none"> • Cobertura eficiente de grandes áreas. • Reducción del tiempo y costo de las inspecciones manuales. • Datos precisos para la gestión localizada. |

Fuente: OIT, 2024.

4.6. Beneficios de la gestión de la variabilidad

La gestión efectiva de la variabilidad espacial y temporal aporta múltiples beneficios, tanto económicos como ambientales:

- **Aumento del rendimiento y calidad del producto**

Al ajustar las prácticas de manejo a las necesidades específicas de cada zona, se logra un crecimiento más uniforme y un mayor rendimiento total.

- **Reducción de costos**

Menor desperdicio de insumos y uso más eficiente de recursos como el agua y los fertilizantes.

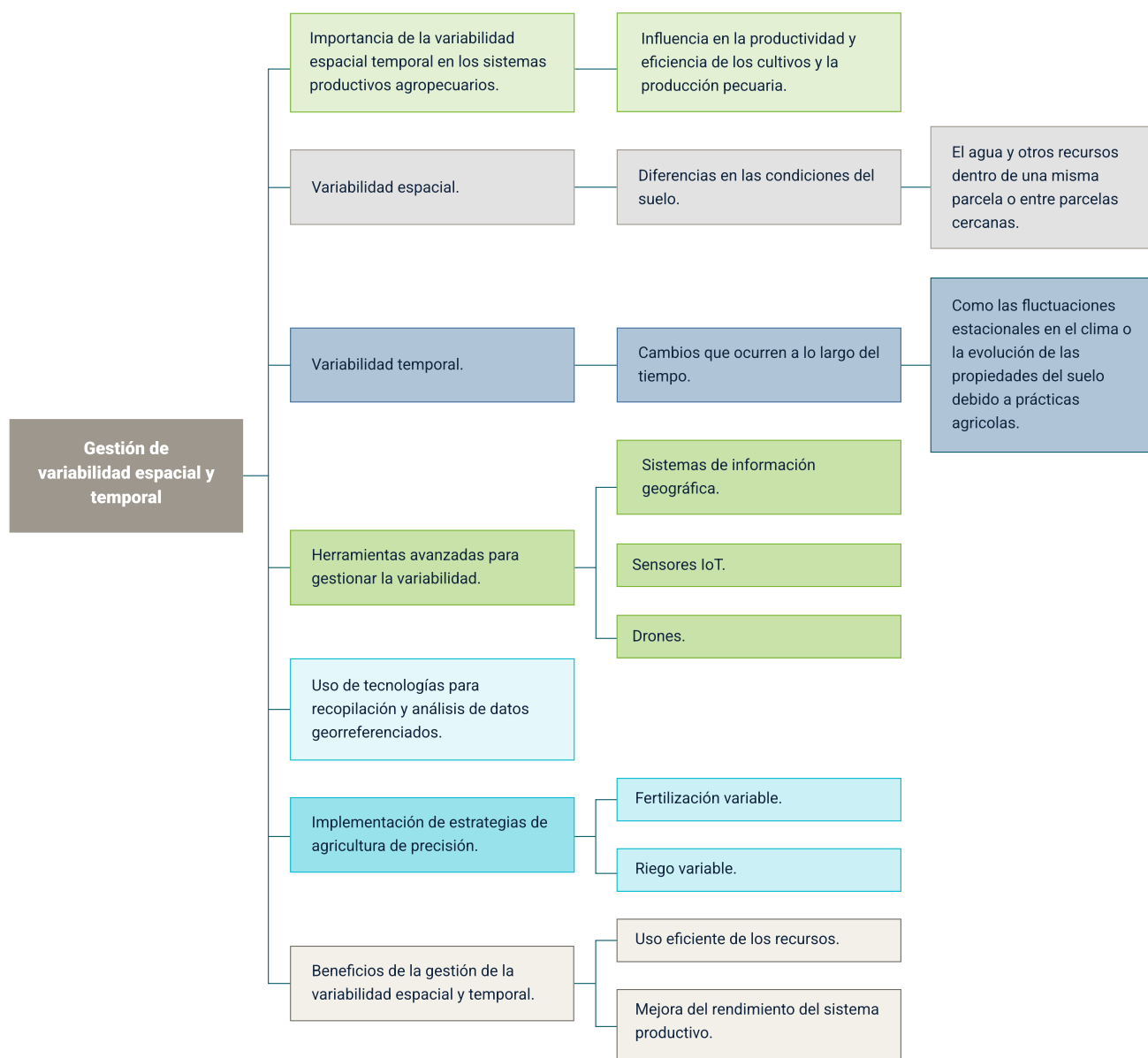
- **Sostenibilidad ambiental**

Al reducir la aplicación excesiva de insumos, se minimiza el impacto negativo sobre el suelo y los recursos hídricos.

- **Mejor toma de decisiones**

El acceso a datos detallados y en tiempo real permite a los productores tomar decisiones más informadas y adaptativas.

Figura 4. Resumen gestión de variabilidad espacial y temporal



Fuente: OIT, 2024.

5. Herramientas y métodos de análisis

En los sistemas productivos agropecuarios, la planificación y gestión integrada de recursos es fundamental para garantizar la eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad. Esta gestión involucra la administración coordinada de recursos clave como el agua, el suelo, la energía y los insumos agrícolas, buscando maximizar la producción mientras se minimizan los impactos negativos sobre el medio ambiente.

La integración de herramientas tecnológicas y estrategias de planificación basadas en datos permite a los productores tomar decisiones informadas, adaptarse a condiciones cambiantes y optimizar el uso de los recursos disponibles. Este capítulo abordará la importancia de la planificación agrícola, los modelos de gestión integrada y las estrategias para optimizar recursos en sistemas productivos automatizados.

5.1. Importancia de la planificación basada en datos

La planificación agrícola basada en datos es un enfoque que utiliza información cuantitativa y cualitativa recopilada de diversas fuentes, como sensores, SIG y análisis históricos, para tomar decisiones estratégicas en el manejo de los sistemas productivos, siendo su objetivo el asegurar que cada recurso se utilice de manera óptima, alineando las prácticas agrícolas con las condiciones específicas del entorno y las necesidades del mercado.

Ventajas de la planificación basada en datos

- **Toma de decisiones informada**

Los datos precisos y actualizados permiten ajustar las prácticas de manejo en tiempo real.

- **Reducción de riesgos**

La planificación basada en datos ayuda a anticipar problemas como sequías, plagas o fluctuaciones en el mercado.

- **Optimización de recursos**

Permite un uso eficiente de insumos, reduciendo costos y mejorando la sostenibilidad.

5.2. Modelos de gestión integrada de recursos

La gestión integrada de recursos implica la administración coordinada de los distintos insumos y elementos naturales que son esenciales para la producción agropecuaria. Este enfoque busca equilibrar la producción con la conservación de recursos, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles.

Gestión integrada del agua

El agua es un recurso crítico en los sistemas productivos, especialmente en contextos de creciente escasez. La gestión integrada del agua incluye estrategias como el riego eficiente, la captación de agua de lluvia y el reciclaje de aguas residuales.

a) Tecnologías clave

- **Sistemas de riego automatizado:** basados en sensores de humedad del suelo y datos climáticos.
- **Modelos de predicción de demanda hídrica:** calculan las necesidades de riego en función de las condiciones específicas del cultivo y el clima.

b) Beneficios

- Reducción en el consumo de agua.
- Mejora en la eficiencia del riego.

- Conservación de recursos hídricos a largo plazo.

Gestión integrada del suelo

El manejo sostenible del suelo es fundamental para mantener la productividad y la salud de los sistemas agrícolas. Esto incluye prácticas como la rotación de cultivos, la incorporación de materia orgánica y el monitoreo constante de la fertilidad del suelo.

Tecnologías clave

- a) **Análisis geoespacial del suelo:** utilizando SIG para identificar zonas con diferentes niveles de fertilidad.
- b) **Sensores de calidad del suelo:** monitorean pH, contenido de nutrientes y salinidad.

Beneficios

- Mantenimiento de la estructura y fertilidad del suelo.
- Prevención de la erosión y la salinización.
- Optimización de la aplicación de fertilizantes.

Gestión integrada de la energía

El consumo de energía en los sistemas productivos puede ser significativo, especialmente en actividades como el bombeo de agua, la climatización de invernaderos y el funcionamiento de maquinaria agrícola.

a) Estrategias de eficiencia energética

- **Uso de energías renovables:** como paneles solares y biodigestores para reducir la dependencia de combustibles fósiles.

- **Automatización de procesos energéticamente intensivos:** optimización del consumo en sistemas de riego y ventilación.

b) Beneficios

- Reducción de costos operativos.
- Disminución de la huella de carbono del sistema productivo.
- Contribución a la sostenibilidad ambiental.

5.3. Optimización de recursos en sistemas productivos automatizados

La automatización permite un manejo más preciso y eficiente de los recursos en los sistemas productivos. A través del uso de tecnologías avanzadas, es posible ajustar las prácticas de manejo en función de las condiciones específicas de cada zona dentro de una parcela.

Uso de sensores para optimización

- **Sensores de humedad y calidad del suelo:** proveen datos en tiempo real que permiten ajustar la aplicación de riego y fertilizantes según las necesidades específicas del cultivo.
- **Sensores climáticos:** ayudan a prever condiciones adversas, como heladas o sequías, permitiendo una respuesta proactiva.

Beneficios:

- Reducción del desperdicio de insumos.
- Mejora en la productividad y uniformidad del cultivo.
- Menor impacto ambiental.

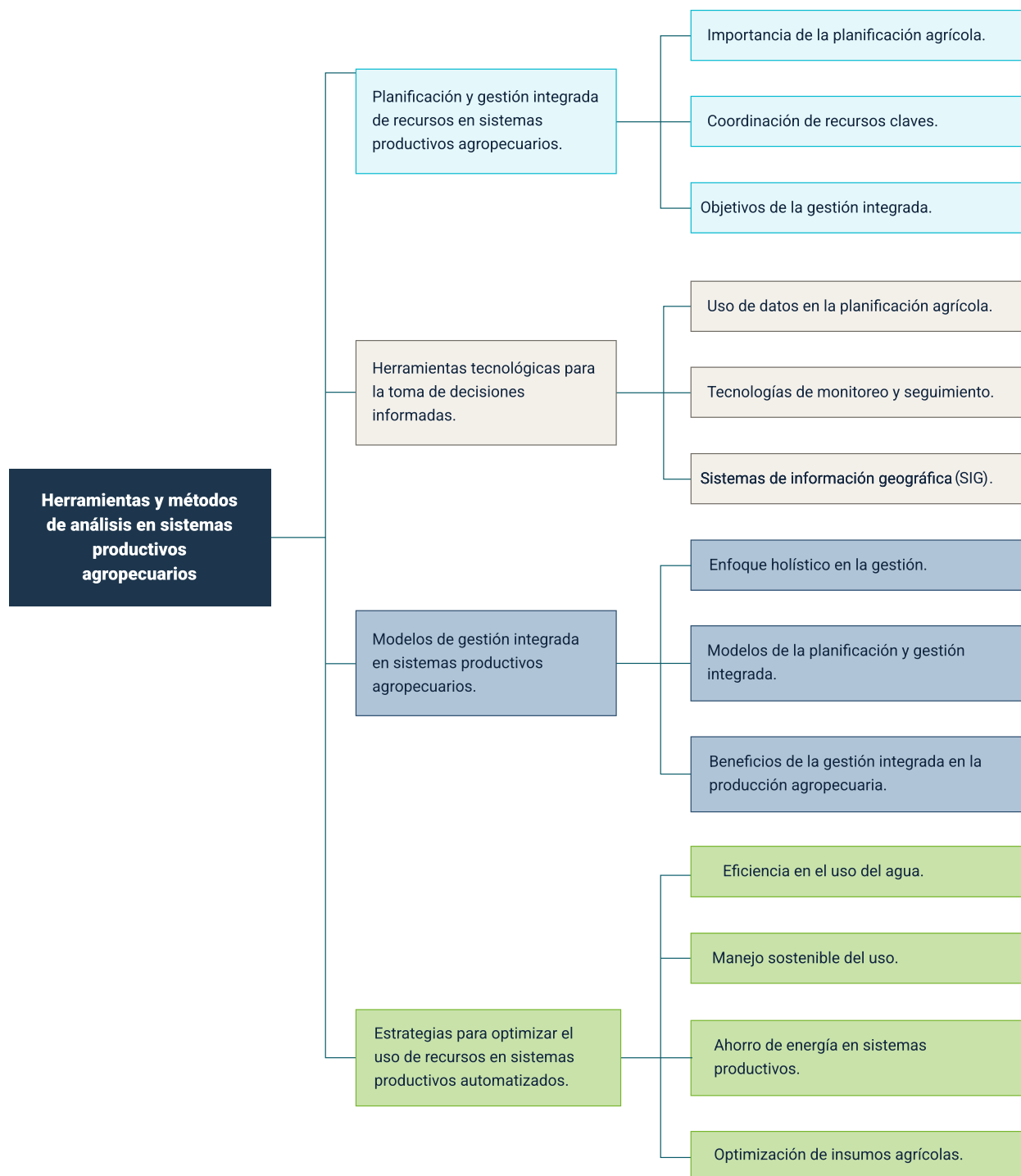
Plataformas de análisis de datos

El análisis de datos recopilados por sensores y otras fuentes es muy importante para la toma de decisiones. Plataformas como SCADA y software de agricultura de precisión integran estos datos, facilitando su interpretación.

Funciones clave

- Identificación de patrones y tendencias.
- Generación de alertas y recomendaciones.
- Simulación de escenarios para evaluar diferentes estrategias de manejo.

Figura 5. Resumen herramientas y métodos de análisis en sistemas productivos y agropecuarios



Fuente: OIT, 2024.

6. Aplicación práctica del monitoreo y automatización

La aplicación práctica del monitoreo y la automatización es el paso clave para transformar el conocimiento teórico en soluciones concretas que optimicen la gestión de los sistemas productivos agropecuarios. Este capítulo se centra en la implementación de las tecnologías y estrategias estudiadas previamente, destacando cómo estas pueden integrarse de manera efectiva en diversos contextos productivos.

A través de estudios de caso y actividades prácticas, se explorará el uso de sensores, plataformas de análisis de datos y sistemas automatizados para monitorear variables clave y mejorar la toma de decisiones. Además, se presentarán herramientas y metodologías que permiten evaluar la efectividad de las soluciones implementadas, garantizando una mejora continua en los sistemas productivos.

6.1. Estudios de caso: implementación exitosa de sistemas automatizados

Los estudios de caso son fundamentales para comprender cómo se aplican las tecnologías de monitoreo y automatización en contextos reales. A través del análisis de experiencias exitosas, los estudiantes pueden entender la relación entre la teoría y la práctica, identificar las ventajas y desafíos de las implementaciones tecnológicas, y aprender de las estrategias utilizadas para superar obstáculos.

Caso 1: monitoreo agroclimático en cultivos de arroz

a) Contexto

En regiones donde la variabilidad climática es alta, los cultivos de arroz enfrentan desafíos relacionados con el suministro de agua y la gestión de enfermedades. La implementación de sensores IoT permite un monitoreo constante de variables clave como la humedad del suelo y la temperatura.

b) Solución

- Sensores de humedad y temperatura instalados en puntos estratégicos de la parcela.
- Plataforma SCADA para el análisis de datos en tiempo real y control automatizado del riego.

c) Resultados

- Reducción del consumo de agua en un 20 % (gracias al riego optimizado).
- Mejora del rendimiento del cultivo en un 15 % (debido a un manejo más eficiente del agua y la prevención de estrés hídrico).

Caso 2: automatización en la producción avícola

a) Contexto

En sistemas avícolas, las condiciones ambientales como la temperatura y la calidad del aire influyen directamente en el bienestar y productividad de las aves. La automatización de estos factores puede prevenir enfermedades y mejorar la conversión alimenticia.

b) Solución

Instalación de sensores ambientales y un sistema automatizado de control de ventilación y calefacción.

- Sensores ambientales para medir la temperatura, humedad y niveles de amoníaco.
- Sistema automatizado de ventilación y calefacción controlado por una plataforma SCADA.

c) Resultados

- Mejora en la conversión alimenticia de las aves.
- Reducción de enfermedades respiratorias en un 30 % (debido a un ambiente más estable y saludable).
- Incremento en la productividad de las aves, con una mejora en la conversión alimenticia del 10 %.

6.2. Monitoreo de variables y análisis de resultados

El monitoreo de variables y el análisis de resultados son pilares fundamentales para la gestión eficiente de los sistemas productivos agropecuarios. En un entorno remoto, es necesario que los aprendices comprendan cómo se recopilan, procesan y analizan los datos, y cómo estos se traducen en decisiones estratégicas. Este apartado aborda los conceptos teóricos detrás del monitoreo y el análisis, destacando la importancia de interpretar datos para optimizar los recursos y mejorar la productividad.

Fundamentos del monitoreo de variables

El monitoreo implica la observación continua o periódica de variables clave mediante tecnologías avanzadas como sensores IoT y plataformas SCADA. Estas herramientas recopilan datos sobre variables agroclimáticas, del suelo y productivas, permitiendo a los productores anticipar problemas y ajustar sus estrategias.

Beneficios del monitoreo de variables:

- **Detección temprana de problemas:** como estrés hídrico o condiciones adversas para el cultivo.
- **Optimización de recursos:** basada en datos precisos de necesidades específicas de riego, fertilización y control de plagas.

- **Mejoras en la sostenibilidad:** al minimizar el desperdicio de insumos y reducir el impacto ambiental.

Interpretación de datos en plataformas SCADA

Las plataformas SCADA recopilan y presentan datos en tiempo real, permitiendo a los usuarios analizar el comportamiento de las variables y realizar ajustes inmediatos. Estas plataformas son esenciales para tomar decisiones basadas en datos y mejorar la eficiencia de los procesos productivos.

Conceptos clave:

- Visualización de datos históricos y en tiempo real.
- Detección de tendencias y anomalías.
- Generación de alertas para condiciones críticas.

Análisis geoespacial con drones y SIG

El uso de drones y SIG proporciona una perspectiva detallada de la variabilidad dentro de una parcela, permitiendo analizar datos espaciales con precisión. Estos datos se utilizan para identificar zonas con bajo rendimiento, estrés hídrico o infestaciones.

Aplicaciones teóricas del análisis geoespacial:

a) Índices de vegetación como NDVI

Indicadores de la salud del cultivo.

b) Mapeo de productividad

Identificación de áreas críticas dentro de una parcela.

c) Planificación de estrategias de manejo específico por sitio (MSS).

6.3. Vigilancia tecnológica y GNSS en sistemas productivos

La vigilancia tecnológica es el proceso de mantenerse actualizado sobre los avances en tecnologías aplicadas a la agricultura. En un entorno agrícola altamente competitivo, adoptar tecnologías emergentes como los sistemas de posicionamiento global (GNSS) es fundamental para mejorar la eficiencia y precisión en las labores productivas.

Este apartado explora la teoría detrás de la vigilancia tecnológica y la aplicación de GNSS, destacando cómo estas herramientas contribuyen a la innovación y mejora continua de los sistemas productivos.

Importancia de la vigilancia tecnológica

La vigilancia tecnológica permite identificar nuevas herramientas y métodos que pueden mejorar los sistemas productivos. Esto incluye tecnologías para el monitoreo, análisis de datos y automatización, así como prácticas sostenibles que optimizan el uso de recursos.

Beneficios teóricos:

a) Identificación de tecnologías emergentes

Drones con mayor capacidad de análisis, nuevos sensores de calidad del agua, etc.

b) Adaptación a cambios tecnológicos

Mejoras en hardware y software agrícola.

c) Fomento de la innovación

La incorporación de nuevas tecnologías mejora la competitividad del sistema productivo.

Teoría y aplicaciones de GNSS en la agricultura

Los sistemas GNSS proporcionan datos de ubicación precisos, lo que es importante para mejorar la eficiencia en tareas como la siembra, la fertilización y la cosecha.

Aplicaciones teóricas del GNSS:

a) Siembra de precisión

Permite distribuir las semillas de manera uniforme, maximizando el uso del espacio disponible.

b) Optimización de rutas para maquinaria

Reduce el consumo de combustible y el tiempo operativo.

c) Monitoreo de movimiento del ganado

En sistemas pecuarios, GNSS puede ser utilizado para rastrear el desplazamiento de los animales y prevenir pérdidas.

Ventajas teóricas de GNSS

- Reducción de traslapes y omisiones en labores agrícolas.
- Mejor gestión del tiempo y los recursos.
- Mayor precisión en la planificación y ejecución de actividades productivas.

Síntesis

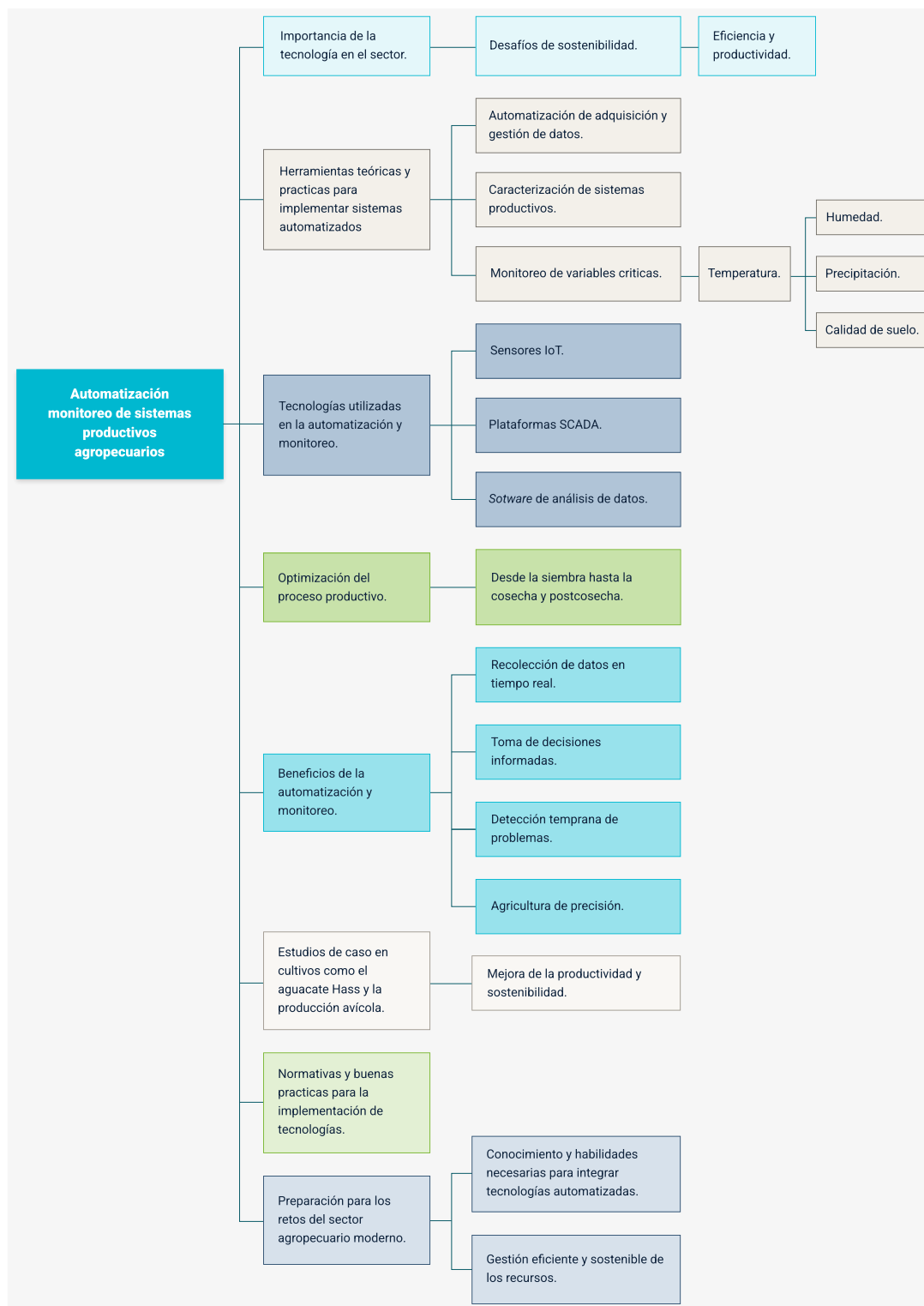
El siguiente diagrama proporciona una representación visual sintetizada de los principales temas abordados en el componente formativo sobre automatización y monitoreo de sistemas productivos agropecuarios. Este mapa conceptual ha sido diseñado para facilitar la comprensión de las interrelaciones entre las diferentes áreas temáticas del componente.

En el núcleo del diagrama se encuentra el concepto principal de automatización y monitoreo, del cual se desprenden temas fundamentales como la importancia de la tecnología en el sector agropecuario, las herramientas teóricas y prácticas para implementar sistemas automatizados, y las tecnologías utilizadas en el monitoreo y control de procesos. Cada uno de estos temas se desarrolla a través de subtemas clave que incluyen la caracterización de sistemas productivos, el monitoreo de variables críticas (como humedad y temperatura), y el uso de tecnologías como sensores IoT y plataformas SCADA.

El mapa también destaca los beneficios prácticos de la automatización, como la optimización del proceso productivo, la toma de decisiones informadas basada en datos en tiempo real, y la detección temprana de problemas. Además, incluye ejemplos de estudios de caso en cultivos específicos y sistemas pecuarios, proporcionando aplicaciones prácticas que demuestran cómo la automatización mejora la productividad y la sostenibilidad.

Finalmente, el diagrama subraya la necesidad de estar preparados para los retos del sector agropecuario moderno, promoviendo la gestión eficiente y sostenible de los

recursos. Este mapa conceptual actúa como una guía visual, ayudando al aprendiz a conectar los conceptos teóricos con su aplicación práctica en el campo.



Material complementario

| Tema | Referencia | Tipo de material | Enlace del recurso |
|--|--|---|---|
| Internet de las cosas (IoT) en agricultura | <i>Smart farming with drones & IoT precision sensors.</i> (2024, noviembre 5). Farmonaut®. | Página Web | https://farmonaut.com/precision-farming/revolutionizing-agriculture-how-iot-and-drones-are-driving-precision-farming-for-sustainable-crop-yields/ |
| Automatización con sistemas SCADA | U.S. Government Accountability Office. (s/f). Precision agriculture: Benefits and challenges for technology adoption and use. Gao.gov. | Página Web | https://www.gao.gov/products/gao-24-105962 |
| Drones en la agricultura | <i>How IoT drives data-driven precision farming.</i> (2024, octubre 3). Farmonaut®. | Página Web | https://farmonaut.com/precision-farming/revolutionizing-agriculture-how-data-driven-precision-farming-and-iot-are-optimizing-crop-yields-and-sustainability/ |
| GNSS en la agricultura | Metternicht, G. (n.d.). <i>Use of remote sensing and GNSS in precision agriculture.</i> [Documento PDF]. Unoosa.org. | Documento Técnico | https://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2006/zambia/presentations/04-01-01.pdf |
| Gestión integrada de fincas | Edu.co. [Documento PDF]. | Documento sobre Herramientas de gestión | https://repositorio.unibag.ue.edu.co/entities/publication/80fffeba-5ef1-4896-b721-e56c29b32bfa |

| Tema | Referencia | Tipo de material | Enlace del recurso |
|--|--|------------------|---|
| Gestión eficiente del agua con AquaCrop-OS | Foster, T., Brozović, N., Butler, A., Neale, C., Raes, D., Steduto, P., Fereres, E., & Hsiao, T. (2017). AquaCrop-OS: An open source version of FAO's crop water productivity model. <i>Agricultural Water Management</i> , 181, 18–22. [Simulador Web]. | Simulador | https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2016.11.015 |
| Simulador CropSyst para manejo de cultivos | <i>CropSyst</i> . (n.d.). [Simulador Web]. Fao.org. | Simulador | https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1236450/ |

Glosario

Agricultura de precisión: sistema de gestión agrícola que utiliza tecnologías como GPS, sensores y datos geoespaciales para optimizar el uso de insumos y maximizar la productividad y sostenibilidad.

AquaCrop: modelo desarrollado por la FAO para simular la productividad del agua en cultivos, optimizando el uso de este recurso en diferentes condiciones climáticas.

Automatización agrícola: implementación de sistemas tecnológicos, como sensores IoT y plataformas SCADA, para monitorear y controlar automáticamente los procesos productivos.

Gestión integrada de recursos: enfoque coordinado para administrar agua, suelo, energía y otros insumos en un sistema productivo, buscando equilibrar la productividad con la sostenibilidad.

GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite): tecnología que proporciona datos de ubicación y tiempo precisos, utilizada en la agricultura para siembra y aplicación de insumos con precisión.

IoT (Internet of Things): red de dispositivos interconectados que recopilan y comparten datos en tiempo real, permitiendo el monitoreo y la gestión de variables clave en la agricultura.

LiteFarm: plataforma de gestión agrícola de código abierto que ayuda a los productores a tomar decisiones informadas sobre la salud de su finca y la sostenibilidad.

Manejo Específico por Sitio (MSS): estrategia agrícola que ajusta las prácticas de manejo a las condiciones particulares de cada zona dentro de una parcela, optimizando recursos como agua y fertilizantes.

NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada): índice que mide la salud de la vegetación usando datos de luz reflejada, indicando áreas con estrés hídrico o deficiencia de nutrientes.

Sensores multiespectrales: dispositivos que capturan datos en diferentes longitudes de onda, utilizados principalmente en drones para evaluar la salud de los cultivos mediante índices de vegetación.

SIG (Sistemas de Información Geográfica): herramientas que permiten recopilar, analizar y representar datos espaciales, utilizados para el mapeo de variabilidad en suelos y cultivos.

Sistema SCADA: plataforma de software que supervisa, controla y adquiere datos en tiempo real, utilizada en sistemas agrícolas para optimizar operaciones como el riego y la climatización.

Sostenibilidad agrícola: prácticas agrícolas que buscan satisfacer las necesidades actuales de producción sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.

Variabilidad espacial: diferencias en las propiedades del suelo, clima y otros factores dentro de una parcela agrícola, que afectan el rendimiento de los cultivos.

Variabilidad temporal: cambios en las condiciones agroclimáticas o del suelo a lo largo del tiempo, como variaciones estacionales en temperatura y precipitación.

Referencias bibliográficas

Alternativascc.org. (n.d.). [Documento PDF]. Recuperado el 17 de junio de 2025, de https://alternativascc.org/wp-content/uploads/2018/05/mip_web-1.pdf

CropSyst. (n.d.). [Simulador Web]. Fao.org. Recuperado el 17 de junio de 2025, de <https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1236450/>

Edu.co. (n.d.). [Documento PDF]. Recuperado el 16 de junio de 2025, de <https://repositorio.unibague.edu.co/entities/publication/80fffeba-5ef1-4896-b721-e56c29b32bfa>

Fao.org. (n.d.). [Documento PDF]. Recuperado el 17 de junio de 2025, de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f3660258-d07f-487e-b3c1-01661c83cb16/content>

Foster, T., Brozović, N., Butler, A., Neale, C., Raes, D., Steduto, P., Fereres, E., & Hsiao, T. (2017). AquaCrop-OS: An open source version of FAO's crop water productivity model. *Agricultural Water Management*, 181, 18–22. [Simulador Web]. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2016.11.015>

Gov.co. (n.d.). [Documento PDF]. Recuperado el 17 de junio de 2025, de https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser_214.pdf

Government Accountability Office. (n.d.). *Precision agriculture: Benefits and challenges for technology adoption and use*. [Página Web]. Gao.gov. Recuperado el 16 de junio de 2025, de <https://www.gao.gov/products/gao-24-105962>

How IoT drives data-driven precision farming. (2024). [Pagina Web]. Farmonaut®. <https://farmonaut.com/precision-farming/revolutionizing-agriculture-how-data-driven-precision-farming-and-iot-are-optimizing-crop-yields-and-sustainability/>

Metternicht, G. (n.d.). *Use of remote sensing and GNSS in precision agriculture.* [Documento PDF]. Unoosa.org. Recuperado el 16 de junio de 2025, de <https://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2006/zambia/presentations/04-01-01.pdf>

Montoya, E. A. Q., Universidad del Quindío, Cra. 15 Cl. 12 norte, 630004, Armenia, Colombia, Colorado, S. F. J., Muñoz, W. Y. C., Golondrino, G. E. C., Universidad del Quindío, Cra. 15 Cl. 12 norte, 630004, Armenia, Colombia, Universidad del Quindío, Cra. 15 Cl. 12 norte, 630004, Armenia, Colombia, & Institución universitaria Colegio Mayor del Cauca, Cra. 7 #2-34, 190003, Popayán, Colombia. (2017). Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 24, 39–56. <https://doi.org/10.17013/risti.24.39-56>

Smart farming with drones & IoT precision sensors. (2024). [Pagina Web]. Farmonaut®. <https://farmonaut.com/precision-farming/revolutionizing-agriculture-how-iot-and-drones-are-driving-precision-farming-for-sustainable-crop-yields/>

Créditos

Elaborado por:



**Organización
Internacional
del Trabajo**