



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito
previo para obtener el título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

“Uso de los Sistemas informáticos aplicados en la agricultura de
precisión en cultivos de caña de azúcar”

AUTOR:

Christian Alexander Ortega Moran

TUTORA:

Lcda. Martha Uvidia Vélez, MSc.

Babahoyo - Los Ríos – Ecuador

2022

RESUMEN

La presente investigación tiene un carácter descriptivo y bibliográfico, las fuentes de información fueron publicaciones científicas y documentos digitales con relación directa al tema de investigación: “Uso de los Sistemas informáticos aplicados en la agricultura de precisión en cultivos de caña de azúcar”, el objetivo primordial es identificar las tecnologías utilizadas en este cultivo. La agricultura de precisión es aplicada en todo el proceso del cultivo, desde la siembra hasta la post cosecha, la integración de la agricultura y la tecnología permite identificar qué áreas pueden ser mejoradas mediante la implementación de planificación estratégica. Una vez analizados los datos se llega a la conclusión que la agricultura de precisión, pese a sus múltiples beneficios no está siendo aplicada por los pequeños y medianos productores. En base a esto se recomienda que se incrementen las investigaciones y que se implemente un plan de innovación tecnológica agraria que permita acceder al uso de las TICS implementando el GPS, sensores remotos, programas de SIG, mapeo e índices de producción, el uso del sistema SAGA. El uso del IoT (Internet of Things/Internet de las cosas) facilita el análisis remoto de los datos de un cultivo y optimiza el uso de recursos a través del teletrabajo.

Palabras claves: Agricultura - Precisión – Sistema - Información – Caña de azúcar - GPS

SUMMARY

This research has a descriptive and bibliographic nature, the sources of information were scientific publications and digital documents directly related to the research topic: "Use of computer systems applied in precision agriculture in sugarcane crops", the primary objective is to identify the technologies used in this crop. Technological advances contribute to the development of humanity, within these ICTs (information and communication technologies) have been used in various crops worldwide. Its use is closely related to precision agriculture, because it allows us to monitor the state of the crop, the use of inputs, and the yield per hectare. Sugarcane is one of the crops that takes advantage of these technologies. Once the data has been analyzed, it is concluded that precision agriculture, despite its multiple benefits, is not being applied by small and medium-sized producers. Based on this, it is recommended that research be increased and that an agricultural technological innovation plan be implemented that allows access to the use of ICTs by implementing the use of GPS, remote sensors, GIS programs, mapping and production indices, the use of the SAGA system. The use of IoT ((Internet of Things) facilitates the remote analysis of crop data and optimizes the use of resources through teleworking.

Keywords: Precision - agriculture – information - system – sugar cane - GPS

Contenido

RESUMEN	II
SUMMARY	III
1. Contextualización	1
1.1 Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema	1
1.3. Justificación.....	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos	3
1.5. Líneas de investigación	3
2. DESARROLLO	4
2.1. MARCO CONCEPTUAL	4
2.1.1. Agricultura de precisión	4
2.1.2. Beneficios de la agricultura de precisión	5
2.1.3. Sistemas informáticos y agricultura de precisión	5
Que son tipos, características ventajas.....	5
2.1.4 Tecnologías disponibles para el riego de precisión	7
2.1.5. Riego de precisión	8
Sensores	8
2.1.6. Sensores para el suelo	9
2.1.7. Aplicaciones basadas en tic para la Agricultura de Precisión	9
2.1.8. Big Data y Analítica	10

2.1.9. Internet de las cosas: Internet of Things (IoT)	10
2.1.10. USO DE LA TELEDETECCIÓN EN LA AGRICULTURA DE RIEGO. 13	
2.1.11. DRONES APLICADOS A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN	13
2.1.12. Índices de Vegetación NDVI	14
2.1.13 SAGA.....	14
2.1.14. Monitoreo de rendimiento	14
2.1.15. AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR	15
2.1.16 Aplicaciones de la robótica en la agricultura	15
2.1.17 Tipos de robots en la agricultura	16
2.2. Metodología de la investigación.....	17
2.3 RESULTADOS	18
2.4. DISCUSION DE RESULTADOS.....	19
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	21
3.1. Conclusiones	21
3.2. Recomendaciones	22
Bibliografía	23
Anexos.....	25

INDICE DE GRAFICO

Figura 1 Esquema general del proceso de agricultura de precisión aplicado a un cultivo.....	4
Figura 2 Tecnologías para el riego.....	7
Figura 3 Gestión en la programación del riego	10
Figura 4 Drones en la agricultura	15

1. Contextualización

1.1 Introducción

Los avances tecnológicos han sido aprovechados por el hombre en sus diversas facetas, la agricultura se ha beneficiado de los avances tecnológicos que han evolucionado con el transcurso del tiempo. La investigación permanente ha permitido a los seres humanos modificar las plantas, mejorar la productividad e impulsar la economía. Dentro de este contexto tecnológico encontramos la agricultura de precisión.

La base de la agricultura de precisión es mejorar las técnicas utilizadas, optimizando los recursos disponibles para obtener la mayor productividad sin perder el enfoque del cuidado ambiental. Incorporando el uso de la tecnología, contrastando los resultados de experimentos similares para aplicarlos dentro de un cultivo determinado.

La Agricultura de precisión ha unido a los productores, las empresas privadas, los gobiernos y el uso de TICs para ofrecer soluciones ante el problema de la alimentación mundial. La tecnología a utilizarse va desde áreas como la preparación de suelo y semillas, el riego, técnicas de cultivo, cosecha y ensilaje. Se apoya en el Sistema de Posicionamiento Global, Sistemas de Información Geográfica, el análisis estadístico, la información del clima, entre otras.

En el caso del cultivo de la caña, en nuestro país se identifican 6 grupos azucareros (La Troncal, San Carlos, Valdez, Isabel María, Iaconem y Monterrey) como Los principales productores, adicional existen un aproximado de 3000 pequeños productores.

1.2. Planteamiento del problema

La agricultura es la base de la alimentación de los seres humanos, y cada año se destinan más áreas a cultivos y pastizales, es necesaria implementar la innovación tecnológica en los cultivos con el fin de incrementar su rentabilidad productividad ante el crecimiento poblacional que anual. Cada año las áreas de cultivo son menores y es necesario cubrir la demanda de alimentos.

Actualmente, la agricultura de precisión es la alternativa base para lograr una tecnificación en los cultivos. Esta nos permite incrementar la productividad utilizando la misma área de terreno. Sin embargo, la información al respecto es escasa y de difícil acceso a los pequeños y medianos agricultores. Siendo el cultivo de caña de azúcar uno de los principales productos agrícolas en la región costa, y considerando que el cuidado al medio ambiente se ha vuelto una práctica necesaria donde nace la pregunta: ¿Qué tecnologías se está aplicando en la agricultura de precisión en el cultivo de la caña de azúcar?

1.3. Justificación

El tema del estudio de sistemas informáticos aplicados a la agricultura de precisión es dar a conocer a todos los agricultores los sistemas informáticos en la agricultura en la cual ellos pueden ahorrar tiempo, recursos, sobre todo tener datos precisos de las labores a realizar, con el fin de maximizar la producción y tecnificar el cultivo.

El acceso a las TICS (tecnologías de la información y comunicación) nos permite acceder a información precisa sobre casos similares alrededor del mundo, la agricultura de precisión se enfoca en optimizar y mejorar la productividad en diversos cultivos, procurando proteger el medio ambiente. Los datos que nos aporta la agricultura de precisión permiten a los agricultores tomar decisiones en base al estado del cultivo.

Todos estos procesos tecnológicos representan un esfuerzo para integrar el uso de la tecnología con la agricultura, vigilando todo el ciclo del cultivo, es decir desde la preparación de las semillas y suelos, la siembra, riego, cuidados en la etapa de producción, sistemas de recolección enfocándonos en la optimización del uso de recursos, tanto de tiempo, como insumos. Entre las tecnologías que se integran como un todo tenemos el GPS (sistema de posicionamiento Global) el SIG (Sistemas de información geográfica) el uso de sensores, drones, mapas e internet satelital que permiten tener un control en tiempo real, facilitando la toma de decisiones.

La habilidad de manipular variaciones en la productividad dentro del lote y maximizar los rendimientos han sido siempre los deseos de los productores principalmente de aquellos con limitaciones en los recursos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Identificar los sistemas informáticos aplicados en la agricultura de precisión de cultivos de caña de azúcar

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar si los sistemas de información son una buena opción para los agricultores de caña de azúcar
- Recopilar las técnicas y equipos utilizados en la agricultura de precisión enfocada en el cultivo de caña de azúcar

1.5. Líneas de investigación

En la Facultad de Ciencias Agropecuarias se establece que dominios de líneas de investigación se basa a los Recursos agropecuarios, ambientes, biodiversidad y biotecnología, la línea de investigación desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable permitiendo identificar alternativas que promuevan un desarrollo agrícola con un enfoque en la sostenibilidad del cuidado de los recursos, así como la optimización del uso de las materias primas e insumos. La agricultura sostenible y sustentable es la visión enfocada a un nivel de producción óptimo maximizando la rentabilidad, haciendo un adecuado uso de los recursos agua, suelo, insumos.

2. DESARROLLO

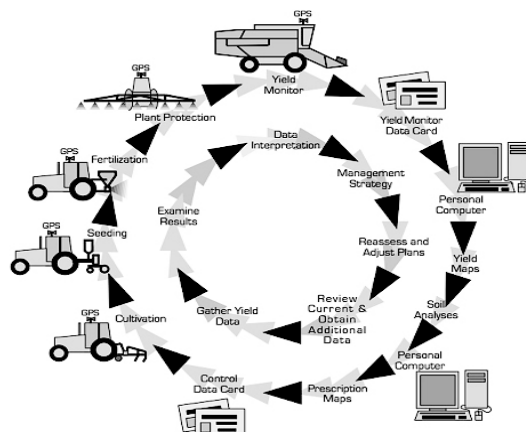
2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Agricultura de precisión

La agricultura de precisión (AP) parte de un concepto novedoso que busca optimizar el manejo de la producción agrícola teniendo en cuenta la variabilidad del agroecosistema. De esta manera se forman estrategias para usar los insumos necesarios en la cantidad requerida, en el sitio adecuado y en el momento oportuno como se le conoce en Europa y USA, su desarrollo se basa en tecnologías electrónicas, de telecomunicación y de informática el equipo agrícola especialmente adaptado para la aplicación diferenciada de insumos según las necesidades del cultivo o del suelo. En países tropicales, dada la heterogeneidad de sus agroecosistemas, el concepto de manejo de la variabilidad adquiere plena vigencia, pero se requieren adaptaciones tecnológicas de apropiadas al medio (Leiva 2003).

En el contexto del cultivo de caña de azúcar la agricultura de precisión nos permite monitorear el estado del cultivo, su crecimiento, plantear estrategias en lo que es uso de insumos, identificar el estado del suelo donde se realiza el cultivo.

Figura 1 Esquema general del proceso de agricultura de precisión aplicado a un cultivo



Fuente (Orozco 2016).

El esquema de la figura 1 nos muestra un esquema básico de como se implementa la agricultura de precisión. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que cada cultivo y suelo indica un desafío diferente por lo que la agricultura de precisión es algo personalizado. Las condiciones climáticas, el tipo de suelo, disponibilidad del agua, el uso de fertilizantes son varios de los factores que influyen.

2.1.2. Beneficios de la agricultura de precisión

La implementación de la agricultura de precisión aporta múltiples beneficios, tanto económicos como al medio ambiente, los cuales los podemos resumir en:

- ✓ Reducción de costo – reducción en el uso de insumos
- ✓ Mayores rendimientos con el mismo nivel de insumo
- ✓ Mejor calidad en la cosecha

2.1.3. Sistemas informáticos y agricultura de precisión

Que son tipos, características ventajas

Los Sistemas de posicionamiento: nos permiten identificar el área de los cultivos, las zonas geográficas en la cual se desarrollan, permiten establecer un control en tiempo real y pueden ser apoyados por el uso de sensores. Facilitan el diseño de rutas de transporte de cosechas. En la actualidad se cuenta además del GPS, otros sistemas como GLONASS, Galileo, entre otros (Orozco y Llano 2016).

El sistema de posicionamiento permite al agricultor de caña diseñar rutas que permitan una zafra adecuada, optimizando el tiempo de trabajo y el estado de la madurez del cultivo. Además, facilita la recolección de datos del estado de la cosecha y el avance diario.

Tecnologías de tasa variable (VRT, Variable Rate Technologies): al implementar estas tecnologías podemos llevar un control preciso del uso de los

insumos, además del impacto que estos tienen en los cultivos. Incorporándole el uso de sensores se pueden identificar las características y datos del suelo y así optimizar los recursos que se utilizan (Orozco y Llano 2016).

Sensores remotos: son equipos electrónicos que se ubican en el cultivo y recopilan datos del suelo, humedad, lluvia; se apoyan en redes de comunicaciones, wifi, bluetooth, redes inalámbricas celulares. Estos datos sirven para recopilar información del estado del cultivo en tiempo real (Orozco and Llano 2016).

Los sensores remotos permiten monitorear el estado del cultivo de caña y facilitan la creación de mapas digitales, optimizando el recurso tiempo, identificando los sectores que puedan presentar falencias sea en crecimiento, productividad o suelos que requieran una mejor fertilización.

Sistemas de recomendación aplicados a cosechas: el análisis estadístico y los programas integrados permiten mediante el análisis computarizado identificar los niveles de productividad, recopilando la información de las cosechas pasadas y así poder tomar acciones correctivas.

Esto si lo enfocamos en el cultivo de la caña de azúcar permite crear planos digitales donde podemos determinar qué áreas requieren por ejemplo correcciones en riego, uso de fertilizantes, tratamiento de suelos entre otras.

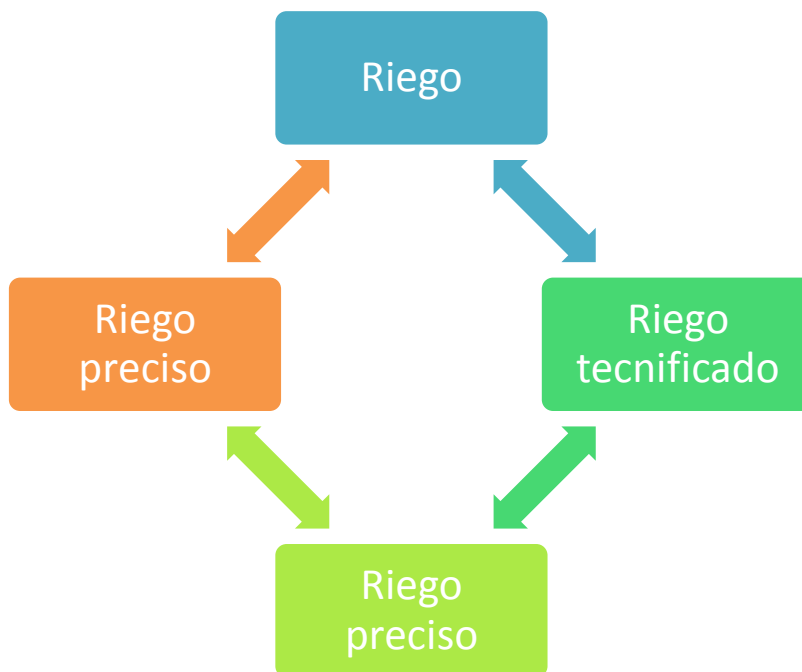
Aeronaves pilotadas remotamente (RPA, Remotely Piloted Aircraft): los drones se han vuelto una herramienta imprescindible para la elaboración de tomas aéreas a bajo costo, antes era necesario el uso de avionetas y/o helicópteros con las limitaciones que esto indicaban, el uso de drones permite hacer tomas detalladas a zonas de difícil acceso y en tiempo real, sus limitaciones son mas por legislaciones en cada país y cada día su uso de extiende (Orozco y Llano 2016).

Sistemas de soporte a decisiones (DSS, Decision Support Systems): este sistema informático permite argumentar la toma de decisiones mediante la recopilación y análisis de los datos de los otros sistemas integrados como el GPS, Drones, sensores, software estadístico, entre otros (Orozco y Llano 2016).

2.1.4 Tecnologías disponibles para el riego de precisión

La jerarquía histórica del riego según la adopción de tecnologías en la aplicación de agua: (Capraro 2019).

Figura 2 Tecnologías para el riego



Fuente: (Capraro 2019).

Cabe indicar que las diferentes técnicas de riego tienen el siguiente proceso que detallo a continuación:

1. Riego (práctica tradicional) Simplemente es la aplicación de agua a los cultivos.

2. Riego Tecnificado (práctica moderna) Busca aumentar la eficiencia en la aplicación del agua mediante el uso de sistemas de riego localizados y presurizados.

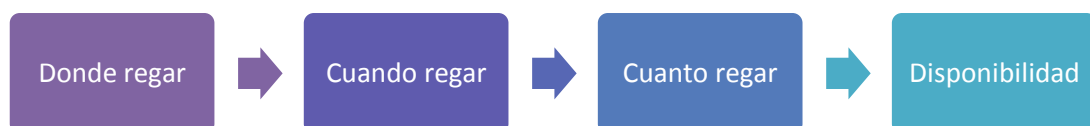
3. Riego Preciso (objetivo actual) Gestión en la programación del riego en cada unidad de riego para satisfacer las necesidades espaciales de la parcela cultivada.

4. Riego Prescripto (Receta) (dirección futura) La aplicación exacta, precisa y espacialmente variable de agua para satisfacer las necesidades de cada planta de manera individual

2.1.5. Riego de precisión

El riego de precisión aplicado al cultivo de caña de azúcar nos permite identificar donde regar, las horas adecuadas, la cantidad de agua ideal y la disponibilidad del recurso agua, esto se optimiza y permite al agricultor utilizar la cantidad necesaria, esto es especialmente útil cuando se depende de pozos y/o existe sequía.

Figura 3 Gestión en la programación del riego



Fuente: (Barreiro 2007).

Sensores

El término sensor hace referencia a cualquier dispositivo que al recibir un impulso o magnitud física convierte a la misma en una señal de voltaje (analógica), esta señal puede ser compartida, procesada en un dispositivo u ordenador. Dichos sensores nos permiten determinar con precisión periódica: la posición de una máquina, la velocidad de desplazamiento, medir la temperatura

de un lugar, la condición de sus mecanismos, la fertilidad del suelo, el nivel de vegetación del cultivo entre otros (Rambauth 2022).

2.1.6. Sensores para el suelo

Existe una variedad de tecnologías que hoy por hoy puede usarse en dinámico para el mapeado de las características del suelo con velocidades que oscilan entre (2-3 km/h) para los sensores mecánicos y 6 km/h para los ópticos y electromagnéticos. En un futuro pueden ser parte de dispositivos de agricultura de precisión capaces de optimizar el laboreo en tiempo real según las condiciones del suelo (Barreiro 2007).

Los sensores eléctricos y electromagnéticos junto con los ópticos son los más inespecíficos, mientras que los mecánicos y electroquímicos se ciñen a la determinación de la densidad aparente del suelo y de la concentración de iones, respectivamente. Resulta por ello conveniente recomendar el empleo conjunto de técnicas específicas e inespecíficas de manera que la información sea más fácilmente interpretable (Barreiro 2007).

2.1.7. Aplicaciones basadas en tic para la Agricultura de Precisión

El uso del término Agricultura de Precisión-AP hace referencia a un conjunto de tecnologías que pueden ser aplicadas en la producción agrícola, en ellas se usan las TIC para la toma eficientemente de decisiones y su acertada ejecución. Las técnicas que integran a la agricultura de Precisión tienen su asidero en las operaciones que involucran la implantación, desarrollo y explotación de cultivos. Desde su aparición, a principios de los años 90 la AP se ha caracterizado por la inclusión de nuevos métodos que responden a problemáticas diferentes; por tanto, este nuevo concepto sigue en evolución constante como es característico de las nuevas tecnologías. Con la aparición de los Sistemas de Navegación Global por Satélite-GNSS la AP dio un nuevo salto en sus alcances y propósitos (Rambauth 2022).

El papel de los Sistemas de Navegación Global por Satélite (GNSS) en la AP es clave. Un receptor GNSS no es más que un dispositivo electrónico que proporciona, entre otros datos, las coordenadas latitud, longitud, altitud del punto donde se encuentra su antena. Esta información puede ser usada por otros dispositivos electrónicos con diferentes propósitos (Rambauth 2022).

2.1.8. Big Data y Analítica

En algunos casos se hace necesario almacenar de manera digital información diversa a gran velocidad en grandes volúmenes, para referirse a ello se usa el término *Big Data*. Al respecto de Big Data y Analítica: “es el proceso de usar software para descubrir tendencias, patrones, correlaciones u otras ideas útiles en esos grandes almacenes de datos”. Desde hace décadas se viene analizando datos, representado en software de inteligencia empresarial y minería de datos. Este tipo de software se hace más robusto conforme pasa el tiempo, pudiendo así: incrementar la cantidad de datos que administra, a la vez que permite ejecutar consultas de manera más ágil, así como algoritmos más estructurados y avanzados (Rambauth 2022).

2.1.9. Internet de las cosas: Internet of Things (IoT)

La expresión de origen anglosajón, *Internet of Things* (IoT), se usa para describir a los objetos físicos (de allí el término cosas) que usan sensores, software integrado; además de otras tecnologías, que les permiten conectarse entre ellos y con otros dispositivos usando las redes y sistemas a través de internet (Rambauth 2022).

La interconexión de estos objetos tiene como finalidad el intercambio de datos. Esta categoría incluye desde objetos del hogar para uso cotidiano hasta herramientas industriales de uso y diseño específico. Actualmente existen alrededor de 10 000 millones de dispositivos de Internet de las Cosas-IoT y se pronostica que para el año 2025 el número de estos se duplicará acercándose a la cifra de 25 000 millones de dispositivos (Rambauth 2022).

La conexión de estos dispositivos de integración IoT con la Internet, hace posible la comunicación fluida entre las personas y las cosas, al punto de que, al combinar esta tecnología con la nube, el Big Data, la Analítica y los dispositivos móviles, estos objetos pueden recopilar datos con casi nula intervención humana, al punto de que se pueden compartir estos datos para grabar, vigilar y controlar a los objetos conectados (Rambauth 2022).

En los cultivos de caña permite un monitoreo de tiempo real mediante el teletrabajo, el integrar las tecnologías permite a los agricultores llevar un control estratégico y facilitan la toma de decisiones.

La siguiente serie de avances de aparición reciente han hecho posible el IoT, lo cual durante mucho tiempo fue solo una idea o visión.

Sensores de bajo costo y de baja potencia. Hoy en día esta tecnología está presente en sensores accesibles y fiables con lo que se posibilita que muchos más fabricantes creen y usen este tipo de tecnología (Rambauth 2022).

Conectividad. Día a día la transmisión de datos usando Internet, así como la conexión de estos dispositivos con la nube, se ha facilitado con el uso de protocolos de red que la hacen eficiente (Rambauth 2022).

Plataformas de computación en la nube. Hoy en días es más fácil acceder a infraestructura de computación mediante la cual se facilita la gestión de estos datos para que estén disponibles en cualquier lugar del mundo 24/7 (Rambauth 2022).

Machine Learning y analítica. Las tecnologías de Machine Learning y de Analítica han permitido la expansión de IoT de manera que los datos producidos

por estas tecnologías las retroalimentan. Ellas permiten acceder a grandes cantidades de información (datos) de manera que se puedan administrar de forma más rápida y sencilla (Rambauth 2022).

Inteligencia Artificial (IA) conversacional. Los asistentes personales como *Alexa*, *Cortana* y *Siri*, entre otros son el resultado de combinar el Procesamiento de las Lenguas Naturales-NLP y los dispositivos de IoT, todo esto fruto de los avances en redes neuronales. Convirtiendo así a los asistentes en dispositivos atractivos, asequibles y viables para el uso doméstico como puntualiza (Rambauth 2022).

Agricultura. La Agricultura Inteligente (Smart Agriculture) apoyada en el uso de IoT busca reducir costes y pérdidas de insumos a la vez que mejora la productividad para beneficiar a productores y agricultores. En este tipo de agricultura basada en IoT se monitorea constantemente y en forma remota los cultivos, con ayuda de sensores se supervisan: condiciones de luz, humedad, temperatura, características del suelo, así como también es posible automatizar sistemas de riego (Rambauth 2022).

Las herramientas analíticas básicas son:

Índices de vegetación para la agricultura:

- **NDVI** – Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada: estima la salud de las plantas en base a la luz del infrarrojo cercano (NIR) reflejada (EOS 2020)
- **ReCI** – Índice de clorofila de borde rojo: detecta la clorofila y, por tanto, la capacidad de fotosíntesis (EOS 2020).
- **NDRE** – Diferencia Normalizada del Borde Rojo: también detecta la clorofila, pero es útil en las etapas media y tardía (EOS 2020).
- **MSAVI** – Índice de Vegetación Ajustado al Suelo Modificado: controla las primeras etapas del desarrollo de las plantas para supervisar las condiciones de los cultivos (EOS 2020).
- **NDMI** – Índice de Humedad de Diferencia Normalizada: describe el nivel de estrés hídrico del cultivo (EOS 2020).

2.1.10. USO DE LA TELEDETECCIÓN EN LA AGRICULTURA DE RIEGO

La teledetección permite obtener datos de la eficacia y eficiencia del riego, se apoya en el internet ya sea por redes inalámbricas o redes celulares de datos. (Balbontín Nevara et al. 2016).

El uso de sensores remotos permite adquirir datos a distancia, algunos sensores son satelitales y permiten monitorear el estado del cultivo a través imágenes (Balbontín Nevara et al. 2016).

Estas imágenes cubren áreas extensas y permiten caracterizar los cultivos y con el uso de software estadísticos podemos ver su evolución a través del tiempo (Balbontín Nevara et al. 2016).

2.1.11. DRONES APLICADOS A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Los drones son una tecnología que ayuda a los múltiples procesos de la agricultura, a captar información importante y a evaluar las condiciones de los terrenos monitoreados, gracias a sus grandes ventajas para sobrevolar los campos y los cultivos. Ahora no es completamente necesario recorrer todo el cultivo personalmente para detectar los problemas que sufre este, ya que con los drones el procedimiento de evaluar los cultivos se puede hacer de forma virtual, aplicando tecnologías de cámaras con alta definición e información georreferenciada para su ubicación exacta. Lo más importante es el poder establecer de forma prematura y eficiente las enfermedades, las plagas, la maleza y los posibles efectos futuros de daños climáticos como las heladas o sequías. La eficiencia, tanto ambiental como económica, ayuda en los procesos de siembra, costos de riego, abono y fumigación(González et al. 2015).



Figura 4 Drones en la agricultura

El uso de drones en agricultura de precisión permite, mediante el uso de sensores, realizar un monitoreo en tiempo real, permitiendo identificar el estado del cultivo, segmentación del área cultivada, todo esto con el fin de facilitar a toma de decisiones.

2.1.12. Índices de Vegetación NDVI

Los cambios del índice de vegetación permiten analizar el estado de salud de la vegetación, esto nos permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial así como la evolución de su estado a lo largo del tiempo, el único limitantes para esto son las condiciones climáticas que puedan presentarse (Helidroid 2014).

2.1.13 SAGA

SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) es un software GIS Open Source y de código abierto empleado para la edición de datos espaciales. Fue desarrollado por un equipo de la Universidad de Göttingen y, en la actualidad, se encuentra en mantenimiento y ampliación por una comunidad de desarrolladores internacional (Alonso 2016).

2.1.14. Monitoreo de rendimiento

Los mapas de rendimiento nos brindan valiosa información de qué sucedió en el lote con la cosecha, nos permiten verificar la calidad de la tarea, las velocidades de trabajo, evaluar potenciales pérdidas, contrastar datos contra acopio, etc. Esta herramienta de control de calidad de labores y control de gestión se la utiliza como herramienta fundamental para estar tranquilos de que las cosas se hicieron bien. Pero como herramienta para evaluar el comportamiento del lote es más que imprescindible. El mejor sensor de lo que pasa en la tierra es la propia planta, y tener miles de plantas por hectárea que nos están contando a través de sus rendimientos qué les sucedió, es una de las más precisas formas de medir la variabilidad (Rattay 2009).

2.1.15. Agricultura de precisión en caña de azúcar

En el escenario del valle geográfico del río Cauca, la agroindustria cañera está entre las más intensivas y productivas del mundo, además sigue los exigentes requerimientos y certificaciones internacionales, el uso de AP es estratégico para la toma de decisiones. La AP inicia con el mapeo de la fertilidad del suelo, aplicación en tasa variada de fertilizantes y mapeo de productividad, luego otras herramientas complementarias como los sistemas de gestión de maquinarias y pilotos automáticos (Guerrero 2013).

La tasa variada ha permitido racionalizar fertilizantes de N y K entre un 6-23%, cifra crítica en la estructura de costos (30%), incrementar productividad entre 4-7% en ton/ha, el mapeo de la productividad ha permitido plantear estrategias para mejorar en zonas de alta productividad y racionalizar la inversión en las de baja productividad. El avance de la ciencia y tecnología en agricultura han permitido analizar y concebir el sistema de cultivo desde varias dimensiones, mediante el uso de la geoestadística, redes neuronales artificiales, sistemas de posicionamiento global GPS, sistemas de información geográfica SIG, teledetección y equipamiento de agricultura de precisión. Este impacta económicamente (generación de valor) y ambientalmente (sostenibilidad), el cultivo (Guerrero 2013).

2.1.16 Aplicaciones de la robótica en la agricultura

El objetivo de la robótica agrícola es ayudar al sector en su eficiencia y en la rentabilidad de los procesos. Es decir, la robótica móvil trabaja en el sector agrícola para mejorar la productividad, la especialización y la sostenibilidad medioambiental (ROBOTNIK 2022).

La escasez de mano de obra, mayor exigencia de los consumidores o altos costos de producción son algunos de los factores que han acelerado la automatización de este sector, con el objetivo de reducir costos y optimizar las cosechas (ROBOTNIK 2022).

2.1.17 Tipos de robots en la agricultura

Estas son algunas de las aplicaciones de la robótica en la agricultura:

- Identificación del estado del cultivo y correspondiente aplicación de productos químicos, fumigación o recolección, según requiera el fruto o planta.
- Manipulación móvil a través de brazos colaborativos (recolección, manipulación de frutos).
- Recopilación y conversión de información útil para el agricultor.
- Aplicación de pesticidas de manera selectiva.
- Selección para evitar el desperdicio de alimentos.

BACCHUS: Plataformas Robóticas Móviles para Inspección Activa y Cosecha en Áreas Agrícolas. El sistema robótico móvil inteligente BACCHUS promete reproducir las operaciones de recolección manual, al tiempo que elimina el trabajo manual al operar de forma autónoma en cuatro niveles diferentes:

- El robot navega autónomamente para inspeccionar los cultivos y recopilar datos del área agrícola a través del sistema de sensores que lleva integrado.
- El robot realiza operaciones de cosecha bimanuales con la delicadeza que requiere el entorno.
- Se emplea fabricación aditiva para ajustar la pinza del robot a la geometría de los diferentes cultivos.
- Presentación de capacidades cognitivas avanzadas y habilidades para la toma de decisiones.
- En este proyecto de I+D se emplea el robot móvil autónomo RB-VOGUI con dos brazos totalmente integrados. La plataforma se utiliza para desarrollar una solución para la recolección de uvas en viñedos.

2.2. Metodología de la investigación

Con el fin de identificar la información relevante en lo que es agricultura de precisión enfocada al cultivo de caña de azúcar se siguió la metodología de Kitchenham para seleccionar la bibliografía. El procedimiento para realizar la búsqueda consta de 5 pasos:

- Definir preguntas de investigación
- Búsqueda de literatura científica
- Selección de material bibliográfico
- Clasificación de material
- Extracción de información relevante al tema a tratar.

Se plantean 3 preguntas que nos sirven de enfoque

Cuáles son las innovaciones tecnológicas en los sistemas de información fundamentados en agricultura de precisión de la última década.

Que características tienen en común en relación a su efectividad en otros cultivos.

Que tecnologías o procedimientos dentro de la agricultura de precisión no han sido aplicadas en el país y podrían ser una opción dentro del diseño de planificación de agricultura de precisión.

Se realizó una investigación bibliográfica en portales como:

Scielo

Google Académico

Revistas científicas

Repositorios digitales

Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión

2.3 RESULTADOS

La presente investigación se realiza con la finalidad de informar a los pequeños y medianos productores el valor de implementar innovaciones tecnológicas en sus cultivos como lo es la agricultura de precisión.

El uso de los mapas de rendimiento facilita la toma de decisiones estratégicas tal como lo indica Rattay, a través del uso podemos controlar el rendimiento de los cultivos e identificar donde se presentan falencias o baja producción. Implementar el uso de sensores en cultivos que presentan baja producción permite al agricultor definir las medidas correctivas, las características del suelo pueden variar de un sector a otro.

El uso de la tecnología se ha vuelto importante para el manejo de los cultivos de diferentes tipos, nos permite identificar con precisión que área está siendo afectada por algún problema, logrando minimizar los costos de producción al optimizar el uso de los recursos.

Los pequeños y medianos agricultores no emplean el uso de estas tecnologías, las grandes corporaciones de manera privada lo han implementado, perdiendo así los pequeños productores competitividad, es necesario la intervención del estado mediante políticas que promuevan el desarrollo agrícola para facilitar el acceso a estas tecnologías.

2.4. DISCUSION DE RESULTADOS

Tecnologías de tasa variable (VRT, Variable Rate Technologies): hacen referencia a uso de fertilizantes, pesticidas, herbicidas, agua y suplementos necesarios. Dependiendo del sector o área específica del terreno cultivado, la necesidad de requerimientos puede ser diferente (Orozco y Llano 2016).

La Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, son herramientas tecnológicas adecuadas para generar información y facilitar su manejo a diferentes escalas espaciales y temporales. De forma complementaria, las tecnologías de la información (vía internet o telefonía móvil) permiten la difusión de la información necesaria para mejorar la eficiencia en el uso del agua hacia y desde el usuario final (Balbontín Nevara et al. 2016).

Agricultura. La Agricultura Inteligente (Smart Agriculture) apoyada en el uso de IoT (Internet de las Cosas) busca reducir costes y pérdidas de insumos a la vez que mejora la productividad para beneficiar a productores y agricultores. En este tipo de agricultura basada en IoT se monitorea constantemente y en forma remota los cultivos, con ayuda de sensores se supervisan: condiciones de luz, humedad, temperatura, características del suelo, así como también es posible automatizar sistemas de riego (Rambauth 2022).

Un Índice de Vegetación puede ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia en la vegetación a distintas longitudes de onda. Es decir, que los cambios del índice de vegetación permiten analizar el estado de salud de la vegetación. El Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI por sus siglas en inglés) permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial así como la evolución de su estado a lo largo del tiempo. Esto está determinado fundamentalmente por las condiciones climáticas (Helidroid 2014).

Los drones ayudan a captar información y evaluar las condiciones de los terrenos monitoreados. Ahora no es necesario recorrer todo el cultivo personalmente para detectar problemas, con el uso de los drones el procedimiento de evaluar los cultivos se puede hacer de forma virtual, aplicando tecnologías de cámaras con alta definición e información georreferenciada para su ubicación exacta. Así se logra establecer de forma prematura y eficiente las enfermedades, las plagas, la maleza y los posibles efectos futuros de daños climáticos como las heladas o sequías (González et al. 2015).

La solución es implementar estudios de campo en diversos lugares de cultivo donde se haya aplicado la agricultura de precisión, esto permitirá recolectar datos, que servirán para demostrar a los demás agricultores los beneficios que este tipo de avances provee.

Incentivar a los pequeños y medianos productores a implementar estas tecnologías y compartir los datos recopilados, que su uso sea desde la etapa de pre siembra, esto permitirá reducir costos de producción al optimizar las cantidades adecuadas de productos agrícolas como abonos y semilla.

Crear líneas de crédito para los pequeños y medianos agricultores que sean destinadas a la implementación de la agricultura de precisión.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

Al terminar el trabajo de investigación se concluye que:

La agricultura de precisión la divulga como una técnica original para aumentar la productividad de las empresas agrícolas. Busca perfeccionar el proceso de cultivo de un producto mediante el uso de GPS, SIG, sensores, drones, etc., sin embargo, presenta desafíos para su implementación, se considera como prometedora para afrontar las crecientes necesidades de la industria agrícola.

La caña de azúcar es uno de los cultivos que brindan trabajo a una gran cantidad de personas, especialmente en la zafra, optimizar el uso de los recursos para promover una buena producción es prioritario para los pequeños y medianos agricultores.

A pesar de los múltiples beneficios que aporta la agricultura de precisión esta no es aplicada por todos los agricultores, en muchos casos la empresa privada si cuenta con los recursos y los pequeños y medianos agricultores pierden competitividad ante las grandes compañías. Hacen falta políticas de estado que garanticen el acceso a la tecnología a los pequeños y medianos agricultores.

3.2. Recomendaciones

Una vez analizadas las conclusiones se recomienda lo siguiente:

- Utilizar sensores de humedad para optimizar el uso de los recursos hídricos.
- Usar sensores de nutrientes para dotar a los cultivos cantidades adecuadas de fertilizantes
- Utilizar medidores de clorofila para conocer el estado de la plantación.
- Uso de drones para fumigación con el que se evita el desperdicio de agroquímicos por deriva.
- Implementar el uso de hidrogel para conservar la humedad del suelo.
- Aplicar fertilizantes de lenta liberación.
- Implementar robótica en la agricultura para mejorar procesos y minimizar el impacto por el uso de agroquímicos.

BIBLIOGRAFÍA

Alonso, D. 2016. NDVI: Qué es y cómo calcularlo con SAGA desde QGIS - MappingGIS (en línea, sitio web). Consultado 8 ago. 2022. Disponible en <https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis/>.

Balbontín Nevara, C; Odi Lara, M; Poblete Toro, R; Garrido Rubio, J; Campos Rodríguez, I; Calera Belmonte, A. 2016. Uso de herramientas de teledetección y SIG para el manejo del riego en los cultivos (en línea). La Serena, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional Intihuasi. p. 1-50. Consultado 8 ago. 2022. Disponible en [https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6542/Bolet%
c3%adn%20I NIA%20N%c2%b0%20335?sequence=1&isAllowed=y](https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6542/Bolet%c3%adn%20I NIA%20N%c2%b0%20335?sequence=1&isAllowed=y).

Barreiro, P. (2007). Sensores para la caracterización del suelo agrícola usados en agricultura de precisión Olives and Extra-Virgin olive-oil: advanced physical spectroscopic techniques for composition and quality. View project Innovation Research for engineering education View project (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/50204842>.

Capraro, F. (2019). TECNOLOGIAS DISPONIBLES PARA EL RIEGO DE PRECISIÓN Irrigation precision View project (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/331649438>.

EOS. 2020. Agricultura De Precisión: De La Teoría A La Práctica (en línea, sitio web). Consultado 6 ago. 2022. Disponible en <https://eos.com/es/blog/agricultura-de-precision/>.

González, A; Amarillo, G; Amarillo, Milton; Sarmiento, F. 2015. Vista de Drones Aplicados a la Agricultura de Precisión (en línea, sitio web). Consultado 8 ago. 2022. Disponible en <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1585/1917>.

Guerrero, CM. 2013. AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR (en línea). Suelos Ecuatoriales 43(2):119-124. Consultado 29 ago. 2022. Disponible

en

http://www.unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos_ecuatoriales/article/view/30.

Helidroid. 2014. Agricultura de Precisión (en línea, sitio web). Consultado 8 ago. 2022. Disponible en <https://www.helidroid.com/agricultura-de-precision.php>.

Leiva, F. (2003). LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN: UNA PRODUCCIÓN MÁS SOSTENIBLE Y COMPETITIVA CON VISIÓN FUTURISTA. s.l., s.e.

Neves, F. 2021. ¿Qué es la agricultura de precisión? (en línea, sitio web). Consultado 4 sep. 2022. Disponible en <https://bloglatam.jacto.com/agricultura-de-precision/>.

Orozco, ÓA. 2016. Sistemas de Información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión (en línea). Revista Ingenierías Universidad de Medellín 15(28):103-124. DOI: <https://doi.org/10.22395/rium.v15n28a6>.

Rambauth, GE. 2022. Agricultura de Precisión: La integración de las TIC en la producción Agrícola. Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications 3(1):34-38. DOI: <https://doi.org/10.17981/CESTA.03.01.2022.04>.

Rattay, PID. 2009. Monitoreo de rendimiento-Aprovechando una valiosa fuente de información (en línea, sitio web). Consultado 8 ago. 2022. Disponible en www.gestiondeprecision.com.ar.

ROBOTNIK. 2022. Aplicaciones de la robótica en la agricultura (en línea, sitio web). Consultado 11 oct. 2022. Disponible en <https://robotnik.eu/es/aplicaciones-de-la-robotica-en-la-agricultura/>.

Tecnidrones. 2019. Drones y Tecnologías de Precisión | Uso de drones en el cultivo de la caña de azúcar (en línea, sitio web). Consultado 4 sep. 2022. Disponible en <https://www.tecnidrones.com/2019/07/uso-de-drones-en-el-cultivo-de-la-cana-de-azucar>.

Uso de drones en el cultivo de la caña de azúcar – Técnicaña. 2022. (en línea, sitio web). Consultado 4 sep. 2022. Disponible en <https://tecnicana.org/uso-de-drones-en-el-cultivo-de-la-cana-de-azucar/>.

ANEXOS

Mapeo de cultivos mediante sistemas de posicionamiento



Fuente: (Neves 2021).

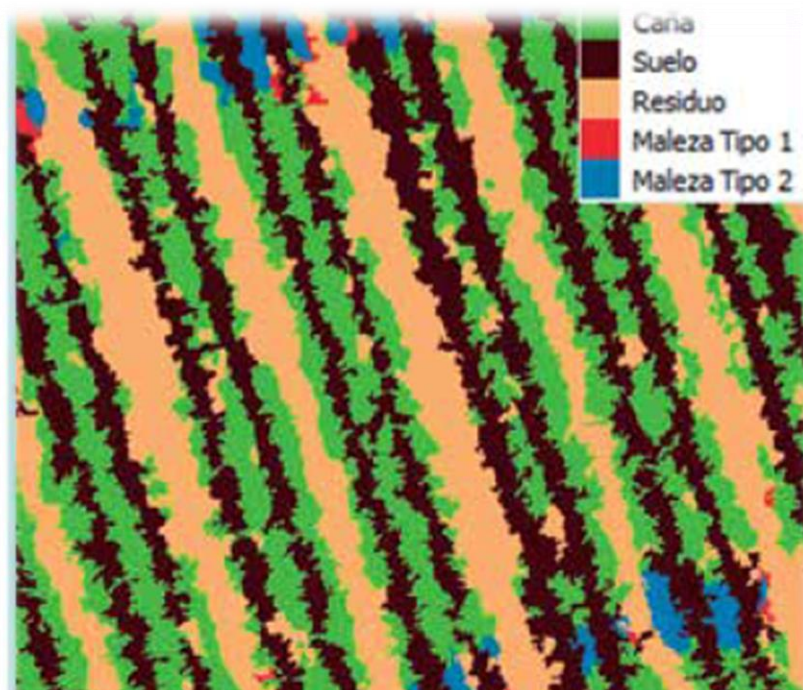
Fumigación con drones



Fuente; (Tecnidrones 2019)

Diferentes usos de drones en el cultivo de caña de azúcar

Cálculo de área con maleza



Área de maleza	
Área total (Ha)	1.987
Área maleza (Ha)	0.063
Porcentaje (%)	3.2

Fuente:(Uso de drones en el cultivo de la caña de azúcar – Tecnicaña s. f.)