

ESTADO DEL ARTE: APLICACIONES DE LA AGRICULTURA 4.0

STATE OF THE ART: APPLICATIONS OF AGRICULTURE 4.0

Camila Andrea Ramírez Borray¹, Carlos Eduardo Riveros Rey², Juan Carlos Tapias Duarte³ Paola Andrea Valencia Achuri⁴

¹ Estudiante Ingeniería Agronómica – Fusagasugá (Universidad de Cundinamarca)

² Estudiante Ingeniería Agronómica – Fusagasugá (Universidad de Cundinamarca)

³ Docente Programa Ingeniería Agronómica – Fusagasugá (Universidad de Cundinamarca)

⁴ Docente Programa Tecnología en Cartografía (Universidad de Cundinamarca)

RESUMEN

La agricultura de precisión en los últimos años ha evolucionado con la incorporación de últimas tecnologías, lo que se ha traducido en beneficios e incremento en las producciones agropecuarias. El presente estudio de carácter cualitativo abordó el tema de la agricultura de precisión contemplando una ventana de tiempo inferior a 5 años, teniendo en cuenta estudios centrados en las tecnologías que se han implementado y/o son tendencia en el sector agrario; encontrando que las principales tecnologías utilizadas por la agricultura de precisión son: sensores, equipos de recolección de datos y finalmente la tecnología para el intercambio de información. Históricamente la tecnología para recolección de datos y transmisión, ha generado una articulación entre el productor, los proveedores, los intermediarios y el consumidor final lo que permite hacer seguimiento a materias primas que permitan la consecución de productos de calidad e inocuidad, transporte seguro de los alimentos y entrega de productos idóneos al consumidor, a través de GPS, así mismo, otras tecnologías utilizadas para la aplicación de tasa variable que permite el control del sistema productivo y monitoreo de los rendimientos en tiempo real haciendo uso de los sensores remotos y tecnologías inalámbricas, estos desarrollos unido con los drones permiten hacer monitoreo en tiempo real con vuelos no tripulados que además de reducir riesgos y costos, son eficaces y precisos para generar información que permita alimentar bases de datos para la toma de decisiones en campo.

Palabras Claves: Agricultura, Innovación, Precisión, Sostenibilidad, Tecnología

ABSTRAC

Precision agriculture in recent years has evolved with the incorporation of the latest technologies, which has translated into benefits and an increase in agricultural production. This qualitative study addressed the issue of precision agriculture contemplating a time window of less than 5 years, taking into account studies focused on the technologies that have been implemented and/or are a trend in the agricultural sector; finding that the main technologies used by precision agriculture are: sensors, data collection equipment and finally the technology for the exchange of information. Historically, the technology for data collection and transmission has generated an articulation between the producer, the suppliers, the intermediaries and the final consumer, which allows the monitoring of raw materials that allow the achievement of quality and innocuous products, safe transport of

food and delivery of suitable products to the consumer, through gps, as well as other technologies used for the application of variable rate that allows the control of the productive system and monitoring of yields in real time using remote sensors and wireless technologies these developments, together with drones, allow real-time monitoring with unmanned flights that, in addition to reducing risks and costs, are effective and precise in generating information that allows feeding databases for decision-making in the field.

Keywords: *Agriculture, Innovation, Precision, Sustainability, Technology*

Introducción

La agricultura de precisión es un arte representado en un conjunto de procedimientos que están encaminados a proteger los recursos ambientales mediante el uso adecuado de agroquímicos como: fertilizantes, insecticidas, fungicidas, coadyuvantes etc., todo esto en función de lograr una alta producción en menos espacio, tiempo, costos y minimizando el daño al medio ambiente (Montovani, Best, Bongiovanni, & Roel, 2006).

De acuerdo con Berger (2019) “La agricultura de precisión involucra un conjunto de estrategias de manejo orientadas hacia un uso más eficiente de los recursos y por tanto contribuye a una intensificación sostenible” (Berger, Restaino, Otaño, & Sawchik, 2019).

Según Ocampo (2018) la agricultura de precisión es “un sistema empleado para analizar y controlar la variación espaciotemporal del terreno y el cultivo. La variación espacial comprende las diferencias en fertilidad de distintas secciones del terreno y las que se dan en el crecimiento de las plantas cultivadas” (Santillán & Rentería Rodríguez, 2018)

La agricultura de precisión desde sus inicios se ha dividido en dos líneas la agronómica y la ingeniería agrícola, donde la agronómica en la década de los 70 y 80 en Estados Unidos se realizó una investigación de campo para entender la variabilidad de los cultivos incluyendo el suelo, por otra parte, la línea de ingeniería agrícola se refiere a las maquinas equipadas con sensores para realizar mapeos mediante el sistema de

posicionamiento global (Global Position System, GPS) con la ayuda de algunos sensores.

Los beneficios de la agricultura de precisión son muchos donde destacamos los más importantes como es identificar las propiedades y características del suelo, reducción de costos y usos de insumos, mayores rendimientos con el mismo nivel de insumos, mayor calidad en las cosechas, resolver problemas como: estrés hídrico, problemas fitosanitarios y de fertilidad en tiempo real y de esta manera mejorar la productividad (Ríos Hernández, 2021).

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, las tecnologías y elementos que se utilizan en la agricultura de precisión son diversos entre los que se destacan los sistemas de posicionamiento global, los sensores, sistemas de información geográfica, drones, sensores y maquinaria auto controlada, entre otros, por lo tanto el propósito del presente trabajo es determinar como la tecnología aporta a la agricultura a través del aprovechamiento de equipos de captura de datos y herramientas que facilitan la toma de decisiones.

Materiales y Métodos

Esta investigación, de tipo cualitativo de carácter analítico, basada en teoría fundamentada tiene como objetivo de realizar una revisión bibliográfica sobre la agricultura 4.0 o agricultura de precisión, lo cual permitirá un primer acercamiento al problema que se pretende abordar en cuanto el aporte de dichas tecnologías a la

agricultura de precisión y la eficiencia productiva.

La presente investigación, se desarrolló en 2 etapas:

1. Identificación de referentes bibliográficos en bases de datos y consulta de referentes en investigación sobre la agricultura 4.0;

2. Identificación y selección de artículos científicos, libros, Work Papers, Manuales técnicos, entre otros, y análisis de las publicaciones tomadas como referentes investigativos.

Etapa 1: Se estableció el tema a investigar, y se realizaron consultas en: Google Académico, ProQuest Central y ProQuest SciTech Collection, bases de datos científicas especializadas al servicio de la Universidad de Cundinamarca donde es posible establecer las palabras claves, relacionadas con los temas de agricultura 4.0, relacionadas con agricultura de precisión y tecnologías aplicadas.

Etapa 2: En esta etapa se estableció el universo investigado y se recopiló la información en una matriz bibliográfica utilizando Microsoft Excel, donde para el caso se relacionaron artículos científicos, working paper, libros, autores, títulos de los documentos, palabras claves, resúmenes, definiciones y conceptos, métodos, técnicas y herramientas, fecha de publicación, URL, DOI, versión y número.

Una vez obtenidos los documentos se organizaron por subtemas teniendo en cuenta el tipo de tecnología y sus aplicaciones en el campo de la producción agrícola, posteriormente se desarrolló la articulación y la descripción de la información consultada, teniendo en cuenta su relación con el aporte al sector agrario en Colombia y en otras partes del mundo, así como, la factibilidad de implementarlo de las tecnologías en el corto y mediano plazo.

Finalmente se construye el documento en editor de texto Microsoft Word y el editor de citas Mendeley para desarrollar las

referencias de acuerdo a las normas APA V.7.

Resultados

Como se ha mencionado anteriormente la agricultura de precisión tuvo sus inicios en la década de los 70 en EEUU por medio de investigaciones en la línea agronómica e ingeniería agrícola, donde la implementación del sistema de posicionamiento global a final de los 80 y comienzo de los 90, fue de gran importancia para los productores agrícolas, pues esto conllevó al desarrollo de tecnología aplicada para realizar aplicaciones localizadas y mejorar las prácticas agrícolas (Arcia Porrúa, 2020), a esta agrupación de actividades y sistemas aplicados se les llama agricultura de precisión como una nueva forma de producir mediante información de los cultivos utilizando la tecnología.

En las dos últimas décadas la tecnología aplicada en la agricultura ha evolucionado aceleradamente, primero inicio la revolución verde, pasando a la revolución biotecnológica y en la actualidad la agricultura 4.0, que ha cambiado la forma de producir alimentos. Los agricultores pequeños, la agricultura familiar, las empresas exportadoras que producen alimentos se han visto obligadas a acoger estas nuevas tecnologías, así como también la inteligencia artificial, la utilización de drones todo esto para mejorar su productividad y poder competir en el mercado (Trujillo et all., 2021).

A continuación, se presenta en detalle en que consistió la evolución de la agricultura hasta la actualmente denominada agricultura 4.0, esta evolución tuvo sus inicios en 1950, cuando más de un tercio de la población se dedicaba a la agricultura, pero tenía un gran inconveniente, necesitaba mucha mano de obra y su productividad era muy baja a esto se le

podía llamar agricultura 1.0; en el año 1950 hubo un giro muy importante para la agricultura todo esto gracias a la revolución verde que llegó con avances tecnológicos entre los más destacados el mejoramiento genético, el uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos, equipos y maquinaria especializada, lo que conllevó a que la producción aumentara exponencialmente a esto se le llamo agricultura 2.0. La agricultura de precisión apareció en 1990 cuando surgieron los sistemas de posicionamiento global (GPS), en conjunto con equipos especializados como las cosechadoras con monitores y desarrollo de software para aplicaciones agrícolas y esto sería llamado la agricultura 3.0. En el año 2010 se inició la reconocida agricultura 4.0 que llegó más evolucionada con tecnología nueva como sensores en la maquinaria agrícola, los drones, procesamiento de imágenes satelitales, aplicaciones para los celulares (Melgar, 2018).

BENEFICIOS DE LA AGRICULTURA 4.0

La agricultura de precisión es la interacción de las tecnologías para mejorar la variabilidad asociada a la producción agrícola, optimizando todos los recursos para extraer del suelo la mayor capacidad de producción con la obtención de alimentos de calidad, desarrollos para el control fitosanitario, monitoreo de costos más bajos y con índices de calidad superior en los productos, ellos están cada vez más presentes en el campo, como consecuencia de:

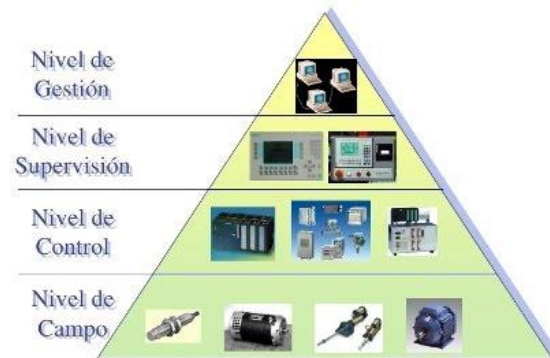
- Optimización de la cantidad de agroquímicos aplicados en los suelos y cultivos.
- Consecuente reducción de los costos de producción.
- Perfeccionar la planeación de uso y aprovechamiento de áreas para el desarrollo de sistemas productivos.
- Mejora de la calidad de las cosechas.
- Gestión optimizada de las explotaciones.

- Menor impacto medioambiental.
- Reducción de combustible en los tractores (García & Flego, 2008).

TECNOLOGIAS DE LA AGRICULTURA 4.0

En la imagen 1 se puede observar la pirámide que representa la estructura de la arquitectura de la automatización y a continuación se describirán las tecnologías que existen en la agricultura de precisión, las cuales se encuentran enfocadas en reunir, analizar, interpretar, distribuir y utilizar información geográfica.

Imagen 1. Pirámide de la automatización



Fuente: Velasquez, J., 2012

Dichas tecnologías y elementos se describen a continuación:

1. **Sistemas de posicionamiento:** es un sistema de navegación compuesto por una flota de satélites puestos en órbita por los estados unidos y sus estaciones en tierra firme, funcionan continuamente en todas partes del mundo. El GPS surgió por la necesidad de las fuerzas armadas de tener un sistema de navegación precisa, este está compuesto por una red de 24 satélites denominados NAVSTAR situados en una órbita a unos 20.200 km, de la tierra y los receptores GPS, este nos proporciona datos en tiempo real de ubicación, gestión, control e implementación de rutas óptimas.

- Dentro de estos sistemas se destacan GPS, GLONASS, GALILEO (Villegas, 2020).
2. Tecnologías de tasa variable (VRT): hacen referencia a la aplicación de fertilizantes, pesticidas, herbicidas, agua y suplementos necesarios para el cultivo dependiendo del lugar o área donde se encuentre ya que la necesidad de requerimientos puede ser diferente (Coppiano Marín, Herrera Vargas, & Rodríguez Sánchez, 2022).
 3. Monitoreo de Rendimiento: es un equipo diseñado para el registro de información, resultados de una cosecha obtenidos en distintos sectores en tiempo real por medio de un software el cual calcula el rendimiento del cultivo, lo que nos permite poder interpretar los resultados de cosecha, facilitando así un análisis óptimo para una buena toma de decisiones sobre el cultivo. Los datos utilizados para el cálculo del rendimiento son: flujo de grano, humedad del grano, velocidad de avance de las cosechas, ancho de corte del cabezal y señal GPS para obtener la georreferenciación de datos y elaborar el mapa de rendimiento (González Cárdenas, Figueroa Millán, Amezcua Valdovinos, & Reyes Benavides, 2022) (García & Flego, 2008).
 4. Sensores remotos: son los encargados de capturar datos del cultivo, suelo, humedad, precipitaciones, entre otros, con ayuda de tecnologías inalámbricas como Wi-Fi®, Bluetooth® y redes celulares (Veneros, y otros, 2020).
 5. Sistemas de recomendación aplicados a cosechas: este consiste en realizar predicciones basados en datos de entrada. Específicamente para el tópico agrícola, dichos sistemas presentan mapas de rendimiento y mapas de productividad de los cultivos basados en información de cosechas pasadas, lo que facilita la gestión de los cultivos (Berrio Meneses, Alzate Velásquez, Ramón Valencia, & Ramón Valencia, 2018).
 6. Aeronaves pilotadas remotamente: también conocidos como drones, que nos ofrecen soluciones novedosas y económicas en la obtención de imágenes en zonas de difícil acceso. Aunque pueden llegar a requerirse permisos y licencias gubernamentales que varían de país a país para su utilización, su uso se ha incrementado en los últimos años por la reducción en su precio y una mejor adquisición de estos (Montilla León, Montilla Camara, Pérez Morales, Frassato, & Seijas Fossi, 2021).
 7. Sistemas de soporte a decisiones (Decision Support System, DSS): hacen referencia a un conjunto de sistemas de información que complementan los anteriores componentes, este nivel de la pirámide se encarga de los procesos complejos tomando como insumos las variables, los paquetes de datos, el desarrollo de software para la toma de decisiones y el ajuste de los equipos para entender escenarios probables y generar operaciones ajustadas. Los DSS reciben información de sistemas de posicionamiento, sensores remotos y drones, lo que permite un procesamiento y despliegue de información para el personal relacionado con el cultivo (Orozco & Llano, 2016; Magdalena et al., 2010).
- A continuación, se presentan las diferentes tecnologías de manera detallada, la descripción general de su funcionamiento y resultados obtenidos en diferentes experimentos y estudios en el área agronómica.

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

Según lo define la GPS.GOV del gobierno de los Estados Unidos, el GPS es un sistema de radionavegación, basado en

las lecturas de localización, navegación y cronometría gratuita e ininterrumpida que es entregada a ciudadanos de todo el mundo. El sistema se compone de tres elementos: satélites en órbita alrededor de la tierra, estaciones de seguimiento y control terrestre y los receptores GPS de propiedad del usuario, como resultado de esta interacción se generan coordenadas tridimensionales representadas por latitud, longitud y altitud con las cuales se determina además de la ubicación en tiempo real, la hora local precisa.

Actualmente esta tecnología está al alcance de todos, con ella el usuario puede establecer con exactitud su ubicación para trasladarse caminando, conduciendo, volando o navegando y por esta razón hay una gran diversidad de equipos instalados en los sistemas de transporte del mundo. Con base en lo anterior hoy es una herramienta con multiplicidad de desarrollos y aplicaciones para el beneficio de los agricultores (Oficina de Coordinación Nacional de Posicionamiento, Navegación, y Cronometría por Satélite., 2022).

De otro lado Arshad y otros autores presentaron resultados de su trabajo titulado "Implementation of a LoRaWAN based smart agriculture decision support system for optimum crop yield." en donde afirman que la mayoría de la población de los países en desarrollo está asociada con la agricultura y por esa misma razón se debería buscar la articulación de la tecnología con el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible mejorando su competitividad teniendo en cuenta los avances de las tendencias agrícolas. Las próximas generaciones requerirán preparar y mejorar las condiciones del suelo, sistemas de riego que propendan por el cuidado del recurso agua, métodos remotos de identificación de nutrientes en los cultivos, aplicaciones controladas de fertilizantes y otras prácticas de manejo de los cultivos.

Arshad y otros también proponen un Sistema inteligente de soporte de decisiones (DSS) que recoge datos con base en parámetros específicos seleccionados para alimentar el monitoreo en tiempo real con el objetivo de optimizar el rendimiento de la producción por hectárea y disminuir el desperdicio por filtración de agua en la agroindustria.

El modelo propuesto comprende tres unidades básicas: un módulo con sensores integrados, un sistema de riego con controladores y un módulo para preparación y aplicación controlada del fertilizante. Las tres unidades están integradas a un servidor o sitio donde se alojan los datos con los cuales se crean capas de información como soporte para la toma de decisiones y DSS basado en redes con las cuales se alimenta una tecnología asistida para un rendimiento sostenible y óptimo. El módulo de sensores inteligentes contiene lectores de: temperatura y humedad, presencia de elementos mayores (NPK), humedad del suelo, conductividad del suelo y pH con esta información se alimenta una base de datos remota y las estadísticas suben, a través de Internet o de comunicación satelital, a un espacio en la nube gracias a una Unidad de Largo Alcance o LoRa por sus siglas en inglés, utilizando el protocolo de comunicación SPI o Serial Peripheral Interface.

También desarrollaron una aplicación para Android y con ella realizan el monitoreo de datos en tiempo real haciendo uso del GPS para acceder a la información del nodo (acceso remoto). Además, con el DSS observan la información generada por los sensores, pueden hacer análisis a los comportamientos del sistema, monitorean el comportamiento del clima y pueden crear alarmas para el control del consumo de fertilizantes. Los resultados validan la innovación en el diseño, teniendo en cuenta la adopción del riego inteligente como un control y para la toma de decisiones basada en datos de campo precisos y en tiempo real (Arshad, y otros, 2022).

El aumento de la población mundial requiere atender desafíos como el cambio climático y la producción de alimento de manera eficiente y rápida, los costos mínimos, la generación de ingresos máximos, la reducción de la contaminación y el uso eficaz de áreas de producción, agua y energía son factores que deben tenerse en cuenta en este proceso. Con base en lo anterior se observó el desarrollo de los unmanned aerial vehicle (UAV) o vehículo aéreo no tripulado, Aslan et al., 2022, proponen el uso de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la agricultura y en su trabajo titulado "A comprehensive survey of the recent studies with UAV for precision agriculture in open fields and greenhouses." buscan cumplir con el seguimiento y control a los criterios mencionados como un aporte a la agricultura de precisión. En el entendido que los UAV obtienen datos en tiempo real se observa su potencial para identificar y generar soluciones a los problemas que enfrentan los sistemas agrícolas.

Actualmente se trabaja en conseguir mejores desempeños en elementos y equipos como la batería, duración de carga, autonomía de vuelo, etc., los UAV se utilizarán en el futuro cercano de la agricultura gracias a su capacidad para recoger información y la diversidad de sus aplicaciones como: fumigación, monitoreo, estimación de rendimiento, detección de malezas, etc. Los últimos artículos publicados en revistas con alto factor de impacto relacionados con los UAV agrícolas se refieren a sus aplicaciones en agricultura de precisión desarrollada en campo abierto y aprovechando el GPS, lo que asegura mayor control, confiabilidad para el pilotaje del vehículo tanto para vuelos manuales como automatizados. Por ahora, no se reportan muchas aplicaciones desarrolladas para vuelo de UAV en invernaderos. Este documento proporciona una revisión del uso de los vehículos para tareas agrícolas y presenta la importancia de la localización y

el mapeo simultáneos (SLAM) como una solución de trabajo en invernaderos (Aslan, Durdu, Sabanci, Ropelewska, & Gültekin, 2022).

Continuando con la descripción en el trabajo titulado "Sistema de trazabilidad de la cadena de suministro agroalimentario para cooperativas de frutas y hortalizas basado en la tecnología blockchain" elaborado por Borrero, J. D., 2019 se identifica el Blockchain como una tecnología disruptiva para la industria agroalimentaria, gracias a que permite resolver problemas relacionados con la trazabilidad del sistema productivo desde la adquisición de las materias primas hasta la entrega al consumidor final. El problema radica en la dificultad para conseguir el control y seguimiento de las partes implicadas en la cadena de suministro de productos agroalimentarios, debido a su número y a que están físicamente dispersas, lo que es un reto para el manejo de datos e información, esto hace que el proceso de producción no se vea transparente y la confianza en el producto decae. Con el ánimo de conseguir competitividad y confianza en la economía globalizada actual, se proponen sistemas de producción asociativa, en donde las cooperativas son una respuesta y deben focalizarse en ofrecer mayor transparencia.

El autor propuso un sistema de trazabilidad para una cooperativa agrícola aplicando la tecnología blockchain, como estrategia para resolver el déficit de confianza en la cadena de suministro de los productos agroalimentarios. La aplicación de técnicas de blockchain incluyen el uso del GPS para generar la trazabilidad del producto agrícola, esto amplía la aplicación de la tecnología y genera confianza entre los diferentes agentes de la cadena. La articulación de diferentes tecnologías y procedimientos permite explorar posibles aplicaciones del blockchain para alimentos frescos a partir del desarrollo de una prueba de concepto (proof of concept, PoC por sus

siglas en inglés) haciendo más eficaz la trazabilidad agroalimentaria, y el desarrollo de la tecnología de los contratos inteligentes. Los hallazgos de la investigación contribuyen a una mejor comprensión de la articulación de diferentes tipos de tecnología en la cadena de alimentos frescos, e identifica una oportunidad para la mejora de la reputación y competitividad en una economía altamente globalizada (Borrero, 2019).

Se han realizado otros desarrollos tecnológicos en el estado de Chihuahua en México, el cual es particularmente árido, no cuenta con muchas fuentes de agua superficial lo que hace que se utilicen fuentes de agua subterránea para el riego, este volumen aumenta año a año y se aún se desconocen las consecuencias en el ecosistema. En el 2019 Santos et al. realizaron un estudio titulado “Análisis del uso del agua del acuífero Cuauhtémoc, Chihuahua, México.” el cual se ha explotado por varias décadas para el riego de los sistemas productivos agrícolas de la región, actualmente registra uso de volúmenes de agua mayores a su capacidad de recarga, lo que se traduce en sobreexplotación del recurso. La estimación de estos volúmenes de agua se hizo a partir de la ubicación de los pozos usados para el riego, haciendo uso de GPS para determinar y evaluar las superficies cultivadas. Durante el 2012 se localizaron 1317 unidades de riego las cuales fueron abastecidas por 1818 licencias de uso de agua, cubriendo un área de 55555 hectáreas regadas, el 92% del agua utilizada es subterránea (Santos Hernández, y otros, 2019).

En el trabajo titulado “Roles of selective agriculture practices in sustainable agricultural performance: A systematic review.” desarrollado por Ali, B., & Dahlhaus, P. (2022) analizan la responsabilidad de alimentar a la población mundial contrastando la información con los valores económicos, ambientales y sociales

de la Tierra y observan como desafío, reconocido tanto en los Objetivos de Desarrollo Sostenible como lo acordado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la necesidad de implementar prácticas eficientes y responsables con la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Afirman que la necesidad de mantener el rendimiento agrícola global requiere la revisión periódica de los modelos, actitudes y prácticas agrícolas actuales, el documento identifica las prácticas de agricultura de conservación de precisión, PCA, agricultura digital, DA y agricultura resiliente, RA, por sus siglas en inglés, como importantes para enfrentar los desafíos de una población en constante crecimiento. Concluyen que estas adaptaciones son positivas para el mejoramiento del rendimiento agrícola, según los autores la adopción de PCA, DA y RA mejoraría la sostenibilidad del sistema agrícola. También recomiendan una investigación más profunda desde las ciencias sociales para comprender las dinámicas de valor que permitirían la adopción de estas innovaciones y la identificación de las barreras que impiden su implementación (Ali & Dahlhaus, 2022).

Otra aplicación de los GPS fue identificada en el trabajo desarrollado por Perez et al., 2019 quienes presentaron una aplicación móvil para el monitoreo de cultivos: Caso de estudio campaña contra el pulgón amarillo del sorgo. Platearon el uso de PulAm, una aplicación para el sistema operativo móvil Android, “esta aplicación se diseñó como una herramienta de apoyo en el proceso de monitoreo de plagas de diferentes cultivos”. El trabajo se realizó en el estado de Nayarit, México y tomó como caso de estudio cultivos de sorgo (Perez Mena, Fernández Cepeda, Rivera Caicedo, & Avila George, 2019).

Sin duda las aplicaciones que se vienen implementado son tan diversas como la evaluación de la biomasa aérea acumulada

identificando familias botánicas en un bosque piemontano sometido a diferentes grados de intervención en la zona alta de la microcuenca del río Puyo (García Quintana, Arteaga Crespo , Torres Navarrete , Bravo Medina , & Robles Morillo, 2021) o la identificación de las TIC que se han implementado como aplicación del comercio electrónico en diferentes cadenas alimentarias como estrategia para reducir el desperdicio de frutas y verduras (Muñiz Lopez, Uresti Marín, & Castañón Rodríguez, 2021). La implementación de tecnologías abiertas de Internet de las Cosas (IoT) para la obtención, monitoreo y análisis de variables climáticas como propuesta para el desarrollo de aplicaciones en agricultura de precisión, se basa en el uso de la arquitectura Lambda para unificar sistemas de procesamiento de datos por lotes, analizando diferentes capas de información como: capa de captura de datos, capa de almacenamiento, capa de procesamiento, capa de consulta, esta arquitectura pretende servir de referencia para la implementación de servicios basados en IoT en el área de la agricultura (Montoya E, Colorado S, Muñoz, Campo, & Golondrino G, 2017).

Las aplicaciones del GPS son tan diversas como interesantes teniendo en cuenta la posibilidad de articular diferentes tecnologías que propendan por conseguir un sector agrícola competitivo gracias a la optimización de los procesos productivos y el aseguramiento de la trazabilidad en la cadena productiva para brindar mayor calidad en el producto y seguridad al consumidor final.

SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)

De acuerdo con el Ministerio de Educación Nacional “Un Sistema de Información Geográfico (SIG) permite relacionar cualquier tipo de dato con una localización geográfica.”. Significa que a partir de un mapa se puede generar datos

con ubicación específica, en coordenadas, de la distribución de recursos, obras civiles, centros poblados y/o rurales, de municipios, departamentos, regiones o todo un país. En otras palabras, es la articulación de los recursos hardware, software y datos geográficos, que se pueden mostrar en una representación gráfica. “Los SIG están diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar la información de todas las formas posibles de manera lógica y coordinada” (MinEducación, 2022).

A continuación, se presentarán algunos casos de aplicación de SIG en diversos trabajos publicados y otras disciplinas relacionadas con sistemas de producción agrícola. El sector agropecuario colombiano se ha visto influenciado por los reportes sobre cambio climático, su incidencia negativa como contaminante del recurso agua y su afectación por limitación al acceso del recurso hídrico. Las dinámicas nacionales e internacionales actuales pueden exigir aumentar la productividad agropecuaria lo que requiere el ajuste de los procesos que hagan al sector más competitivo, mediante un uso adecuado de las nuevas tecnologías. Lo anterior pudo lograrse a través de la implementación de sistemas VAC y se presentaron en un artículo de ingeniería ambiental para el aprovechamiento sostenible de aguas lluvias aplicado a la finca Nanche en Pandi, Cundinamarca, con el propósito de contribuir a la gestión integral del recurso hídrico, se partió de un modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés), se procesaron diferentes variables climatológicas, topográficas, hidrológicas y agroecológicas, a través de herramientas informáticas y un sistema de información geográfica (SIG) (Bautista Arcila, Apolinar, & Forero, 2022).

Este artículo indagó sobre experiencias de victimización durante la implementación de programas de restitución de tierras, para

ello, analizó la experiencia de la comunidad de la vereda Nueva Esperanza en el Caribe colombiano, con el análisis de entrevistas semiestructuradas, información espacial y revisión documental basada en las sentencias, fallos y literatura gris, documentó los hallazgos con diseños geográficos asociando grupos reclamantes de tierras. Con esa información pudo identificar obstáculos burocráticos, impedimentos, vacíos normativos y otras variables que han hecho lento el proceso de restitución de tierras (Lugo Vivas, Narváez Jaimés, & Castiblanco Duran, 2022).

Entre otras aplicaciones se encontró la validación de una metodología de diseño para una red inalámbrica de telecomunicaciones cuyo objetivo fue ampliar la conectividad rural en zonas andinas de Colombia en el marco del posconflicto. La metodología presentada permitió el diseño de dos tipologías de red de acuerdo con información geográfica de la zona urbano - rural del municipio de Marulanda, localizado en la región de Caldas, Colombia. Así, se compararon ventajas y desventajas de las topologías de red y se presentó una proyección de los componentes tecnológicos para la implementación de la red. Los resultados de la investigación diseñaron la hoja de ruta y la evaluación comparativa de los escenarios de expansión de la red de acceso colombiana de banda ancha en escenarios de postconflicto (Cortés Cortés, Montaña Argote, Osorio, & Guerrero González, 2022).

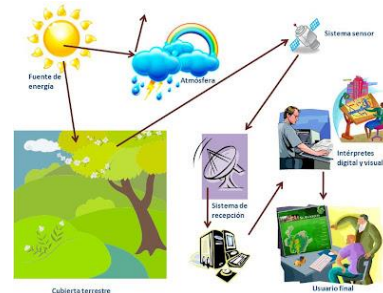
Realizar comparaciones de especies, productividad, cualidades de los sistemas productivos, rendimientos de producción, clima y cultura son otras de las aplicaciones del SIG como por ejemplo el trabajo realizado en los municipios de Oporapa, Saladoblanco, Elías y Tarqui, de la zona sur del Huila el proyecto tuvo como objetivo evaluar características de calidad física y sensorial de (39) treinta y nueve muestras

de granos de cacao seco recolectadas en fincas productoras, y posteriormente se realizó un análisis estadístico que permitió establecer correlaciones y diferencias significativas entre los municipios evaluados (Mucia Artunduaga, Gasca Torres, & Castañeda, 2022).

PERCEPCION REMOTA

La percepción remota es una disciplina basada en la ciencia y tecnología que adquiere información sin tener contacto con el objeto, esta tecnología permite desarrollar, capturar, procesar y analizar imágenes junto con otros datos (Rojas Sánchez, 2020). En la imagen 2 se puede apreciar una representación de la composición o arquitectura de la percepción remota y a continuación se explica la forma como trabajan en conjunto los siete elementos: 1. fuentes de energía o iluminación, 2. radiación y la atmosfera, 3. interacción con la meta, 4. registro de la energía en el sensor, 5. transmisión, recepción y procedimiento, 6. interpretación y análisis, 7. aplicación.

Imagen 2: Representación gráfica de los 7 componentes.



Fuente: Sánchez, 2022

La regla número uno para una adecuada percepción remota es tener una fuente de energía que ilumine proporcionando energía electromagnética para nuestro objetivo de interés. Mediante la radiación y la atmosfera la energía se desplaza hacia el objetivo de interés que puede ser un sensor, una vez la energía viaja hacia el objetivo a través de la

atmósfera esta interactúa con el objeto y la radiación, luego se realiza el registro de la energía en el sensor que recoge y graba la radiación electromagnética, después la energía grabada por el sensor se transmite en forma electrónica, el procesamiento de la imagen es interpretado visual y electrónicamente de la información extraída sobre el objetivo con el que fue iluminado, la aplicación es el elemento final de la percepción remota que es logrado cuando aplicamos la información para resolver algún problema en especial (Rojas Sánchez, 2020).

La percepción remota tiene diversas aplicaciones como: la percepción remota con un vehículo aéreo no tripulado para la identificación de plagas, el procesamiento de imágenes que son adquiridas con un vehículo aéreo no tripulado brinda una mejor resolución ya que son captadas a una altitud que se escoge dependiendo lo que necesitemos, establecemos el día del vuelo conociendo las condiciones climáticas adecuadas de acuerdo a las necesidades del estudio (Gallardo Torres & Avalos Condori, 2019).

TECNOLOGIAS DE DOSIS VARIABLE

La tecnología de dosis variable es el ajuste de las aplicaciones de productos agrícolas como fertilizantes, plaguicidas y otros agroquímicos esenciales para los cultivos, estableciéndose en la información que ha sido obtenida en un mapa eléctrico del terreno. La dosis variable en un cultivo o lote puede ser desarrollada de dos maneras: En forma manual, a través del conocimiento agronómico, este se puede realizar mediante un controlador eléctrico en la cabina del tractor. En forma automática, este es guiado por un posicionado DGPS que ubica espacialmente el móvil en tiempo real, este posicionado informa a un navegador que posee la precisión a través de un software con las variaciones de dosis

espacial del lote (Melchiori R, Albarenque, & Kemerer, 2013).

La variabilidad que existe entre un lote se puede resumir en tres clases: naturales, tales como tipo de suelos y topografía aleatorias, como las precipitaciones y el manejo de la aplicación de fertilizantes y la densidad de siembra.

La variabilidad natural incluye:

- Variabilidad de suelos: que puede variar dependiendo de la capacidad de retención de agua, materias orgánicas y otras características físicas y químicas del terreno.
- Variabilidad biológica: esta incluye la variabilidad en la población de microbios de suelo, malezas, insectos, ocurrencia de enfermedades, crecimiento del cultivo y rendimiento, lo que permite a los productores darse cuenta del resultado de la variabilidad biológica ocurrida durante el ciclo del cultivo.
- Variabilidad en los procesos dinámicos del suelo: esta se puede evidenciar mirando la dinámica del nitrógeno en el suelo, que representa el balance existente entre un número de procesos como la mineralización, inmovilización, absorción por los cultivos y percolación (Montes Solis, 2020).

ANALISIS DE DATOS GEOREFERENCIADOS (GEOESTADISTICA, ECONOMETRIA ESPACIAL, ANALISIS MULTIFACTORIAL)

Para la organización de los datos capturados mediante sensores especializados se utilizan los mapas de variabilidad; estos mapas son manejados, visualizados y analizados por medio de software de procesamiento cartográfico y geo estadístico denominados SIG, los cuales almacenan la información en bases

de datos espaciales, permitiendo el análisis y generación de nueva información como mapas de aplicación (Gómez Rivera, Velásquez Clavijo, & Jiménez López, 2022).

La tecnología de los SIG está basada en componentes de hardware y software que permite el análisis de información geográfica, permitiendo visualizar los datos obtenidos en un mapa. Se utilizan para evaluaciones ambientales, recursos naturales, evaluación de redes de servicios y transportes, entre otros. Para el caso de la agricultura, los SIG brindan la posibilidad de obtener un mapa digital del campo y al mismo tiempo la interacción con el mismo. Un ingeniero agrónomo podría determinar los puntos exactos para la realización de las extracciones de muestras de suelo para un posterior análisis (Uva & Campanella, 2022).

Dentro de las tecnologías de percepción remota de la agricultura de precisión existe la obtención de imágenes del terreno, el suelo y cobertura en las áreas cultivadas, la captura de estas imágenes se realiza simultáneamente en varios rangos del espectro electromagnético llamados bandas, y la necesidad de su adquisición radica en las propiedades espectrales del suelo y de las plantas en sus diferentes etapas de desarrollo, las cuales van ligadas estrechamente a factores como actividad fotosintética, cantidad de agua, clorofila, biomasa, entre otros (Gómez Rivera, Velásquez Clavijo, & Jiménez López, 2022).

Discusión

En Colombia el uso y aplicación de la tecnología para Agricultura de Precisión inició insípidamente hace 15 años aproximadamente y se implementó en cultivos de Arroz, Banano, Café, Maíz, Palma de aceite, entre otros, estas primeras pruebas se desarrollaron gracias a la determinación cooperativa de instituciones gubernamentales como ICA y Agrosavia, de igual manera entidades privadas que se

interesaron por importar la tecnología y buscar su comercialización en el país. Sus primeras aplicaciones se dieron en el desarrollo de sistemas de riego y fertirriego apoyados en el uso de sondas de lectura in situ y recolección de información en sistemas de almacenamiento de datos (tarjetas de memoria) que eran extraídas de los equipos de lectura para ser leídas en un computador y así analizar la información para generar decisiones y / o recomendaciones al área de cultivo. Posteriormente se hace uso del internet para enviar los datos en tiempo real a un servidor que aloja la información y permite su consulta de forma inmediata, lo que hace que la toma de decisiones sea cada vez más eficaz. Otra aplicación fue la programación de trabajo con piloto automático de equipos agrícolas, como la combinada para realizar trabajos de cosecha.

El uso de los GPS se implementa desde hace aproximadamente 5 o 6 años para la determinación de áreas de producción, como en el caso del municipio de Une en donde la tecnología propuso el desarrollo de una metodología para calcular las áreas y a partir de estos datos la determinación y cálculo de materiales e insumos requeridos para el desarrollo del cultivo, con el pasar del tiempo y la mejora en los desarrollos de la tecnología para la agricultura de precisión llegaron recientemente los drones que han hecho más eficaz el cálculo de áreas y también permitieron la aplicación de fotogrametría con la que se ha querido evaluar otros aspectos propios del proceso productivo como por ejemplo desarrollo vegetativo, determinación de capacidad hídrica, horas luz, entre los más aplicados. Recientemente se ha hecho uso de los Drones para procesos de fumigación, pero aún no se ha logrado estandarizar el sistema de vuelo y la corta altura del Dron sobre el cultivo mientras se realiza la labor de fumigación ha provocado volcamiento de las plantas debido a la presión que ejercen las corrientes de aire generadas por el

equipo de vuelo sobre el cultivo. Otras aplicaciones que se han empezado a hacer en los cultivos localizados en este municipio se relacionan con análisis multiespectral para determinar contenido de clorofila vs. fotosíntesis, exposición del suelo, espejos de agua, pH y conductividad del suelo.

Conclusiones

El uso de tractores en los sistemas de producción agrícola de nuestro país presenta dificultades debido a la geografía y topografía de algunas zonas con alta pendiente y/o dificultad para el tránsito seguro de este tipo de maquinaria.

La implementación de la agricultura 4.0 requiere del uso de una red de internet y/o comunicación satelital, pero desafortunadamente esta tecnología no se encuentra totalmente desarrollada en el territorio nacional y su cobertura aún no cumple con los requisitos óptimos de prestación del servicio sobre todo en las áreas rurales de Colombia. Según el DANE en las zonas rurales solo el 23,8% de las familias cuentan con servicio de internet, lo cual sigue siendo muy bajo en términos de cobertura para la implementación de agricultura 4.0.

Los costos de implementación de la agricultura de precisión actualmente son relativamente altos lo cual ha dificultado su masificación y uso.

Contar con agricultura de precisión deberá conseguir productos inocuos debido a que las aplicaciones van a ser localizadas y van a generarse menos aplicaciones por ciclo productivo de los cultivos, esto significa menor impacto ambiental, mayor productividad y sustentabilidad en términos de costos de operación.

La implementación de la agricultura de precisión brinda al agricultor una visión más clara del estado y disponibilidad de los recursos para así generar planes de manejo

más adecuados, que permitan optimizar la producción y la rentabilidad del sistema.

En términos de salud de los operarios el uso de tecnologías para aplicaciones de agroquímicos es una alternativa de alto valor gracias a que evita que los trabajadores se vean expuestos al contacto directo con estas sustancias durante los procesos de fumigación y fertilización, los cuales se reconocen como generadores riesgos laborales.

Agradecimientos

Agradecimiento a los docentes del diplomado, a nuestra docente asesora Paola Andrea Valencia Achuri, al profesor Juan Carlos Tapias Duarte por su orientación y enseñanzas para la construcción de documentos escritos, a los asesores que contribuyeron con la opción de grado, a los directivos por permitir esta opción de grado en tiempos de pos pandemia.

Referencias

- Ali, B., & Dahlhaus, P. (2022). Citation: Ali, B.; Dahlhaus, P. Roles of Selective Agriculture Practices in Sustainable Agricultural Performance: A Systematic Review. Roles of Selective Agriculture Practices in Sustainable Agricultural Performance: A Systematic Review. <https://doi.org/10.3390/su14063185> mi co, M. D. ', Mancinelli, R., Arshad, J., Aziz, M., Al-Huqail, A. A., Husnain Uz Zaman, M., Husnain, M., Rehman, A. U., & Shafiq, M. (2022). Implementation of a LoRaWAN Based Smart Agriculture Decision Support System for Optimum Crop Yield. <https://doi.org/10.3390/su14020827>

- Andrés, E., Montoya, Q., Fernando, S., Colorado, J., Yesid, W., Muñoz, C., Elías, G., & Golondrino, C. (n.d.). Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT Proposal of an Architecture for Precision Agriculture Supported in IoT. <https://doi.org/10.17013/risti.24.39-56>
- Aslan, M. F., Durdu, A., Sabanci, K., Ropelewska, E., & Gültekin, S. S. (2022). A Comprehensive Survey of the Recent Studies with UAV for Precision Agriculture in Open Fields and Greenhouses. <https://doi.org/10.3390/app12031047>
- Berger, A., Restaino, E., Otaño, C., & Sawchik, J. (2019). Agricultura de precisión: ¿qué es y cuánto se usa en Uruguay? *Revista INIA* (59), 41–45.
- Borrero, J. D. (n.d.). Sistema de trazabilidad de la cadena de suministro agroalimentario para cooperativas de frutas y hortalizas basado en la tecnología Blockchain. <https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.95.13123>
- CienciaUAT 178. (n.d.). <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v16i1.1528>
- Cortés Cortés, C. L., Montañó Argote, M. A., Osorio, A. M., & Guerrero González, N. (2022). Diseño y análisis sistémico de una red backhaul autogestionable en topologías estrella y anillo para conectividad rural en Caldas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 32(1), 43–57. <https://doi.org/10.18359/RCIN.5531>
- Forestal, C. (2021). Biomasa aérea de familias botánicas en un bosque siempreverde piemontano sometido a grados de intervención. 24(1), 45–59. <https://doi.org/10.14483/2256201X.15939>
- Hernández, R. R. (2021). La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(1). Más allá de la Esperanza: Violencia, revictimización y restitución de tierras en Nueva Esperanza (Cesar-Colombia) - ProQuest. (n.d.). Retrieved July 22, 2022, from <https://www.proquest.com/docview/2618171556/CE98928C611F424BPQ/4?accountid=152438>
- Melgar, M. (2018). Agricultura Digital o Agricultura 4.0. *Sugar Journal (USA)*, 81(5), 33–37.
- Murcia-Artunduaga, K., Gasca-Torres, L., & Castañeda, M. del R. (2022). Evaluación físico-sensorial de granos de cacao (*Theobroma cacao* L.), región sur del Huila (Colombia). *Informador Técnico*, 86(2). <https://doi.org/10.23850/22565035.4358>
- Ocampo, M., & Santa Catarina, C. (2018). Agricultura de Precisión. Oficina de Información Científica y Tecnológica Para El Congreso de La Union (INCyTU), 15.
- para el Desarrollo Tecnológico, P. C. (2006). Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. IICA.
- Perez-Mena, A., Fernández-Zepeda, A., Rivera-Caicedo, J. P., & Avila-George, H. (n.d.). Una aplicación móvil para el monitoreo de cultivos: caso de estudio campaña contra el pulgón amarillo del sorgo. <https://doi.org/10.17013/risti.31.118-133>

Porrúa, J. A. (2020). De la agricultura precisa a la agricultura de precisión. *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(3), 62–71.

Propuesta de un sistema VAC para el aprovechamiento sostenible de agua lluvia en la finca Nanche, en el municipio de Pandi, Cundinamarca - ProQuest. (n.d.). Retrieved July 22, 2022, from <https://www.proquest.com/docview/2688581351/abstract/CE98928C611F424BPQ/1?accountid=152438>

Rojas Sanchez, G. (2020). Generación de cartografía de ocupación y uso de suelo mediante el uso de técnicas de Percepción Remota en la región centro del Estado de Guerrero. Universidad Autónoma de Guerrero (México).

Santos-Hernández, A. L., Palacios-Velez, E., Matus-Gardea, J. A., Galvis-Spíndola, A., Vásquez-Soto, D., Ascencio-Hernández, R., & Agustín Peña-Díaz, S. (n.d.). Análisis del uso del agua del acuífero Cuauhtémoc, Chihuahua, México Water use analysis in the Cuauhtemoc Aquifer, Chihuahua, Mexico Enrique Mejía-Saenz 3. <https://doi.org/10.24850/jtyca-2019-03-07>

Torres, J. E. G., Condori, G. E. A., & Miranda, T. L. C. (2019). Identificación de plagas en el cultivo de olivo utilizando percepción remota con un vehículo aéreo no tripulado en el valle La Yarada Los Palos. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 1(1), 81–95.

Trujillo, P.-A. R., Valderrama, N. L. M., Chávez, M. del P. B., Valqui, P. C., & Trigoso, J.-A. C. (2021). Evolución y tendencias investigativas de tecnologías aplicadas en los

agronegocios: una revisión sistemática de la literatura. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, E39, 189–199.

Bibliografía

Ali, B., & Dahlhaus, P. (2022). Roles of selective agriculture practices in sustainable agricultural performance: A Systemic review. *Sustainability*. doi:<https://doi.org/10.3390/su14063185>

Arcia Porrúa, J. (2020). De la agricultura precisa a la agricultura de precisión. *Ingeniería Agrícola*, 10(3).

Arshad, J., Aziz, M., Al-Hugail, A., Muhammad Hussnain, U., Husnain, M., Rehman, A., & Shafiq, M. (2022). Implementation of a LoRaWAN based smart agriculture decision support system for optimum crop yield. *Sustainability*. doi:<https://doi.org/10.3390/su14020827>

Aslan, M., Durdu, A., Sabanci, K., Ropelewska, E., & Gültekin, S. (2022). A comprehensive survey of the recent studies with UAV for precision agriculture in open fields and greenhouses. *Applied Sciences*. doi:<https://doi.org/10.3390/app12031047>

Bautista Arcila, P. A., Apolinar, S., & Forero, G. (2022). Propuesta de un sistema VAC para el aprovechamiento sostenible de agua lluvia en la finca Nanche, en el municipio de Pandi, Cundinamarca. *Inventum*, 13-31. doi:<https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.17.32.2022.13-31>

Berger, A., Restaino, E., Otaño, C., & Sawchik, J. (2019). Agricultura de precisión: ¿Qué es cuánto se usa en Uruguay? *INIA*, 41-45.

Berrio Meneses, V., Alzate Velásquez, D. F., Ramón Valencia, J. A., & Ramón

- Valencia, J. L. (2018). Sistema de optimización de las técnicas de planificación en agricultura de precisión por medio de drones. *Espacios*, 18-33.
- Borrero, J. D. (2019). Sistema de trazabilidad de la cadena de suministro agroalimentario para cooperativas de frutas y hortalizas basado en la tecnología blockchain. *CIRIEC*. doi:<https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.95.13123>
- Coppiano Marín, A. D., Herrera Vargas, C. J., & Rodríguez Sánchez, E. Á. (2022). Desarrollo de aplicativo WEB basado en máquinas de vectores de soporte (SVM) de aprendizaje supervisado para la predicción en la recomendación de cultivos mediante datos ambientales para fincas agroecológicas el cantón la Maná, provincia del Cotopaxi. *La Maná: Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná*.
- Cortés Cortés, C. L., Montañó Argote, M. A., Osorio, A. M., & Guerrero González, N. (2022). Diseño y análisis sistémico de una red backhaul autogestionable en topologías estrella y anillo para conectividad rural en Caldas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 32(1). doi:<https://doi.org/10.18359/rcin.5531>
- Gallardo Torres, J. E., & Avalos Condori, G. E. (2019). Identificación de Plagas en el Cultivo de Olivo Utilizando Percepción Remota con un Vehículo Aéreo no Tripulado en el Valle La Yarada Los Palos. *Universidad Privada de Tacna*.
- García Quintana, Y., Arteaga Crespo, Y., Torres Navarrete, B., Bravo Medina, C., & Robles Morillo, M. (2021). Biomasa aérea de familias botánicas en un bosque siempreverde piemontano sometido a grados de intervención. *Colombia Forestal*, 45-59. doi:<https://login.ucundinamarca.basesdatossezproxy.com/login?url=https://www-proquest-com.ucundinamarca.basesdatossezproxy.com/scholarly-journals/biomasa-aérea-de-familias-botánicas-en-un-bosque/docview/2546832667/se-2>
- García, E., & Flego, F. (2008). Agricultura de Precisión. *Tecnología Agropecuaria*, 99-116.
- Gardner, J. R., Rachlin, R., Sweeny, H. W. A., & Richards, A. (April de 1986). *Handbook of Strategic Planning. R&D Management*, 19(2), 201. doi: 10.1111/j.1467-9310.1989.tb00639.x
- Gómez Rivera, A. F., Velásquez Clavijo, F., & Jiménez López, A. F. (2022). Agricultura de precisión y sensores multiespectrales aerotransportados. Obtenido de *DOCPLAYER*: <https://docplayer.es/73679873-Agricultura-de-precision-y-sensores-multiespectrales-aerotransportados.html>
- González Cárdenas, J. O., Figueroa Millán, P. E., Amezcua Valdovinos, I., & Reyes Benavides, J. (2022). Diseño arquitectural de una plataforma IOT para a monitorización ambiental aplicada en viveros de plantas ornamentales. *Cuadernos de desarrollo aplicados a las TIC*, 223-249.
- Lugo Vivas, D. A., Narváez Jaimes, G., & Castiblanco Duran, C. A. (2022). Más allá de la Esperanza: Violencia, revictimización y restitución de tierras en Nueva Esperanza (Cesar-Colombia). *Sociedad y Economía*(45), 1-23. doi:<https://login.ucundinamarca.basesdatossezproxy.com/login>
- Magdalena, C., Castillo Herrán, B., Di Prizio, A., Homer Bannister, I., & Villalba, J. (2010). *Tecnología de*

- aplicación de agroquímicos. Alto Valle: CYTED.
- Melchiori R, J. M., Albarenque, S. M., & Kemerer, A. C. (2013). Uso, adopción y limitaciones de la agricultura de precisión en Argentina. Obtenido de https://inta.gov.ar/sites/default/files/scrip-tmp-inta_uso_adopcin_y_limitaciones_de_la_agricultura_de_.pdf
- Melgar, M. (2018). Agricultura digital o Agricultura 4.0. CENGICANA: Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra 2017 – 2018., 12-18.
- Montes Solis, A. (2020). Utilización de la topografía en la agricultura de precisión. Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Montilla León, G., Montilla Camara, R., Pérez Morales, E., Frassato, L., & Seijas Fossi, C. (2021). Precision agriculture for rice crops with an emphasis in low health index areas. Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 9373-9381.
- Montovani, E. C., Best, S., Bongiovanni, R., & Roel, A. (2006). Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Montevideo: PROCISUR / IICA.
- Montoya E, A. Q., Colorado S, F. J., Muñoz, W., Campo, Y., & Golondrino G, E. C. (2017). Propuesta de una arquitectura para agricultura de precisión soportada en IoT. Revista Ibérica De Sistemas e Tecnologías De Informacao, 39-56. doi:<https://doi-org.ucundinamarca.basesdedatosezproxy.com/10.17013/risti.24.39-56>
- Mucia Artunduaga, K., Gasca Torres, L., & Castañeda, M. D. (2022). Evaluación físico-sensorial de granos de cacao (*Theobroma cacao* L.), región sur del Huila (Colombia). Informador Técnico, 194-204. doi:<http://doi.org/10.23850/22565035.4358>
- Muñiz Lopez, H. S., Uresti Marín, R. M., & Castañón Rodríguez, J. F. (2021). Uso de las tecnologías de la información y la comunicación como estrategia para reducir el desperdicio de frutas y verduras. CienciaUAT, 178-195. doi:<https://doi-org.ucundinamarca.basesdedatosezproxy.com/10.29059/cienciauat.v16i1.1528>
- Office of Government Commerce (OGC). (2009). Managing Successful Projects with PRINCE2. Norwich: ENGLAND: The Stationery Office.
- Oficina de Coordinación Nacional de Posicionamiento, Navegación, y Cronometría por Satélite. (2022). Sistema de Posicionamiento Global. Obtenido de [https://www.gps.gov/spanish.php#:~:text=El%20Sistema%20de%20Posicionamiento%20Global%20\(GPS\)%20es%20un%20sistema%20de,civil es%20en%20todo%20el%20mundo](https://www.gps.gov/spanish.php#:~:text=El%20Sistema%20de%20Posicionamiento%20Global%20(GPS)%20es%20un%20sistema%20de,civil es%20en%20todo%20el%20mundo)
- Perez Mena, A., Fernández Cepeda, J. A., Rivera Caicedo, J., & Avila George, H. (2019). Una aplicación móvil para el monitoreo de cultivos: Caso de estudio campaña contra el pulgón amarillo del sorgo. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías De Informacao, 118-133. doi:<https://doi.org.ucundinamarca.basesdedatosezproxy.com/10.17013/risti.31.118-133>
- Ríos Hernández, R. (2021). La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. Ingeniería Agrícola, 11(1), 67-7. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/361969085_La_Agricultura_de_Precision_Una_necesidad_actual_Precision_Agriculture_A_Current_Necessity/link/62cee660e2a5013989046f87/download
- Rojas Sánchez, G. (2020). Generación de cartografía de ocupación y uso de

- suelo mediante el uso de técnicas de Percepción Remota en la región centro del Estado de Guerrero. Chilpacingo: Facultad de Ingeniería - Universidad Autónoma de Guerrero.
- Santillán, O., & Rentería Rodríguez, M. E. (Abril de 2018). Agricultura de Precisión. INCyTU(015). Obtenido de https://www.foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_18-015.pdf
- Santos Hernández, A. L., Palacios Velez, E., Mejía Saenz, E., Matus Gardea, J., Galvis Espíndola, A., Vásquez Soto, D., & Peña Díaz, S. A. (2019). Análisis del uso de agua del acuífero cuauhtémoc, Chihuahua, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 156-189. doi:<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-03-07>
- Trujillo Rituay, P. A., Valderrama Murga, N. L., Chávez Bustos, M. D., Valqui Chauca, P., & Trigoso Campos, J. A. (2021). Evolución y tendencias investigativas de tecnologías aplicadas en los agronegocios: una revisión sistemática de la literatura. *Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, 189-199.
- Uva, M. A., & Campanella, O. (2022). AP-SIG: un SIG con funciones específicas para Agricultura de Precisión. Facultad de Ciencias Exactas Físico Químicas y Naturales. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/301040323.pdf>
- Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., & López Morales, F. (2020). Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *IDESIA (Chile)*, 99-107.
- Villegas, F. (2020). Relatividad y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). *Investigación de Física*, 44-47.