

Tipo de artículo: Artículo original

Agricultura de precisión y redes de sensores inalámbricos, análisis de su implementación y ventajas en el Ecuador

Precision agriculture and wireless sensor networks, analysis of their implementation and advantages in Ecuador

Byron Alexander Tobar Cuesta ^{1*} , <https://orcid.org/0000-0002-5368-2792>

María José Moran Solís ² , <https://orcid.org/0000-0003-1499-6147>

¹ Universidad Agraria del Ecuador. btobar@uagraria.edu.ec

² Universidad Agraria del Ecuador. maria.moran.solis@uagraria.edu.ec

* Autor para correspondencia: btobar@uagraria.edu.ec

Resumen

Desde hace varios años en el sector agroindustrial ha emergido con fuerza la agricultura de precisión, como un nuevo paradigma que aprovecha al máximo las condiciones del medio ambiente y de los cultivos, así como de los recursos materiales disponibles, para desarrollar este sector tan sensible. Su auge se ha visto incidido por situaciones existentes a escala mundial como el aumento de hambruna, la disminución de la capacidad laboral, la escasez de recursos y el decremento de los suelos cultivables, a raíz de los cambios climáticos y la contaminación. En este sentido, en la última década, producto de la proliferación de las tecnologías de la información y la comunicación y la Cuarta Revolución Industrial, la agricultura de precisión se ha visto favorecida. El objetivo de la investigación es analizar los conceptos de agricultura de precisión y redes de sensores inalámbricos, así como su implementación y ventajas en el Ecuador. El enfoque es cualitativo y el alcance es exploratorio, donde se emplea el análisis documental como principal técnica de investigación. En el artículo se describen las generalidades de la agricultura de precisión, se detalla el empleo realizado de las redes de sensores inalámbricos y se abordan las principales ventajas de su uso en el Ecuador. Se puede concluir que estas tecnologías emergentes son pertinentes y necesarias en la actualidad en el Ecuador. Su empleo posibilita el mantenimiento del estado ideal de los cultivos, el ahorro de recursos y la entrega al cliente de un producto final con calidad.

Palabras clave: agricultura de precisión; dron; sensor inalámbrico; redes de sensores; tecnologías de la información y la comunicación.

Abstract

For several years in the agro-industrial sector, precision agriculture has emerged with force, as a new paradigm that makes the most of the conditions of the environment and crops, as well as the material resources available, to develop this sensitive sector. Its rise has been influenced by existing situations on a global scale such as the increase in famine, the decrease in labor capacity, the scarcity of resources and the decrease in arable land, as a result of climate change and pollution. In this sense, in the last decade, as a result of the proliferation of information and communication technologies and the Fourth Industrial Revolution, precision agriculture has been favored. The objective of the research is to analyze the concepts of precision agriculture and wireless sensor networks, as well as their implementation and advantages in Ecuador. The approach is qualitative and the scope is exploratory, where documentary analysis is used as the main research technique. The article describes the generalities of precision agriculture, the use made of wireless sensor networks is detailed and the main advantages of their use in Ecuador are addressed. It can be concluded that these emerging technologies are relevant and necessary today in Ecuador. Its use makes it possible to maintain the ideal state of the crops, save resources and deliver a quality final product to the customer.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional**
(CC BY 4.0)

Keywords: *precision farming; drone; wireless sensor; sensor networks; information and communication technologies.*

Recibido: 05/02/2022
Aceptado: 22/05/2022
En línea: 01/06/2022

Introducción

En la actualidad, las investigaciones relacionadas con la agricultura se han constituido como uno de los temas de mayor interés para las naciones, por su implicación para el desarrollo de las sociedades y el mantenimiento de adecuados niveles de salud de la población (De León et al., 2020; Sánchez, 2019). Ello se debe a que las personas han alcanzado una cultura de consumo de productos cultivados y cosechados naturalmente, de modo que no estén alterados químicamente (Barraza et al., 2019). Con el fin de obtener plantaciones eficientemente naturales y productos de excelencia, es primordial llevar a cabo una evaluación frecuente sobre los distintos factores que perjudican a las plantaciones como la humedad, la radiación solar y los gases que rodean a los sembríos, etc. Es por ello que es fundamental saber a qué situación climatológicas y ambientales están expuestas las plantaciones agrícolas (Bautista-Robles et al., 2020; Ibarra, 2022).

En este sentido, la agricultura de precisión es un nuevo paradigma en los estudios e investigaciones agroindustriales de gran connotación, aunque sobre el tema se lleva trabajando desde hace varios años (Alejandrino et al., 2020; Cerón-Muñoz & Barrios, 2019). Sin embargo, el advenimiento de la Cuarta Revolución Industrial y de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), han traído consigo nuevas herramientas para aprovechar al máximo este paradigma. De acuerdo con Hernández (2021) y Sanjeevi et al. (2020), la agricultura de precisión puede ser definida como una técnica que permite gestionar de forma eficientemente los recursos agrícolas, por medio del empleo de tecnologías como las de geolocalización y posicionamiento global, los sensores remotos y los drones (Alejandrino et al., 2020; Kumar et al., 2019; Thakur et al., 2019).

Como resultado de la combinación de la agricultura de precisión, con las tecnologías computacionales, se ha aumentado la rentabilidad del cultivo, así como los rendimientos, cantidades y calidad de los terrenos cultivados y los sembradíos (Ibarra, 2022; Maha et al., 2019). En su implementación, constituyen elementos fundamentales el empleo de computadores, monitores de rendimiento, geoposicionamiento global (GPS), sensores de suelos, así como otras tecnologías y dispositivos que ayuden al control y automatización en la gestión de las áreas de sembrados (Gutiérrez et al., 2018).



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional**
(CC BY 4.0)

Particularmente, en el análisis específico de las redes de sensores inalámbricos, esta es una extraordinaria alternativa a implementar en el sector agropecuario (Nabi et al., 2020; Ramdoo et al., 2019). Ello se debe a que cambia y facilita la producción, así como la conservación de productos agrícolas. Además, permiten la monitorización de los factores fundamentales que determinan los cultivos y su proceso de desarrollo, para alcanzar la calidad requerida.

En los últimos años, la red inalámbrica de sensores ha alcanzado una gran connotación y goza de un elevado atractivo, tanto para el sector académico e investigativo, como para el sector industrial y empresarial (Kumar et al., 2019; Sanjeevi et al., 2020). El avance alcanzado en la ingeniería eléctrica y electrónica, así como en la comunicación inalámbrica, han hecho posible la proliferación con bajos consumos de energía y de costos de las redes de sensores, los cuales empleados para el control y monitoreo en los cultivos, como parte de la agricultura de precisión (Alejandrino et al., 2020; Maha et al., 2019).

Hoy en día estos diminutos sensores tienen diferentes usos, siendo efectivos en el procesamiento de datos, en la medición de parámetros físicos y para establecer una comunicación adecuada con otros equipos, comúnmente por medio de canales de radiofrecuencia (Nabi et al., 2020; Thakur et al., 2019). Los campos de aplicación de las redes de sensores inalámbricos son numerosos, entre los que se destacan la telemática, en el funcionamiento de los edificios inteligentes, para explorar un nuevo hábitat, para detectar y actuar frente a un desastre, para monitorizar la salud de las personas y apoyar las decisiones clínicas en el establecimiento de tratamientos, y en la agricultura de precisión (Barraza et al., 2019; Ibarra, 2022).

Autores como Gutiérrez et al. (2018) resaltan que, en casi la totalidad de las aplicaciones anteriores de las redes de sensores inalámbricos, la principal problemática que se presenta está relacionada con la dificultad de asociar la información física medida con su posición en el espacio. Este aspecto es conocido como la localización en los sistemas automatizados. En este sentido, es necesario que de todos los dispositivos se conozcan sus ubicaciones exactas en todo momento para poder tomar decisiones efectivas a partir de los parámetros físicos arrojados (Gutiérrez et al., 2018). Una red de sensores puede automatizar varios métodos primordiales a través de la utilización de actuadores, entre los que se destacan los de iluminación, irrigación y ventilación. Con la utilización de estas redes se logra que el sistema sea más flexible, todo lo cual tiene una gran utilidad en la disminución del tiempo de mantenimiento, instalación y recopilación de información (Castro et al., 2016; Ramdoo et al., 2019).

En el Ecuador, la agricultura es una de las fuentes más relevantes en el sector económico. Sin embargo, en gran parte de las provincias su gestión se lleva a cabo de manera tradicional. Años atrás esta situación no hubiese sido una problemática de implicaciones mayores. No obstante, a raíz de diversas investigaciones y estudios consultados, se ha identificado que el mantenimiento de una agricultura tradicional conlleva a un gasto mayor de recursos, así como de



ineficiencia en la gestión de los cultivos, donde no se tiene un control continuo de parámetros de la tierra y el medio ambiente, útiles para asegurar la calidad de las producciones finales (Cevallos et al., 2018). Por esta situación es que se hace necesario la adopción de una agricultura de precisión en el país, así como el empleo de nuevas tecnologías como las redes de sensores inalámbricas, que garanticen la calidad de los procesos agrícolas bajo este paradigma. Por todo lo anteriormente abordado, el objetivo que se define en la investigación es analizar los conceptos de agricultura de precisión y redes de sensores inalámbricos, así como su implementación y ventajas en el Ecuador.

Materiales y métodos

El enfoque de la investigación es cualitativo, mientras que el alcance es exploratorio. Se emplea el análisis documental como principal técnica de investigación (Valdés et al., 2018). El artículo tiene como objeto de estudio la descripción de las generalidades de la agricultura de precisión, el análisis del empleo realizado de las redes de sensores inalámbricos y el abordaje de las principales ventajas de su uso en el Ecuador.

Para la elaboración del estudio fueron empleadas diversas fuentes de información como libros especializados sobre las temáticas de agricultura de precisión, sensores inalámbricos, redes de sensores y las TIC. Adicionalmente, se consultaron artículos publicados en revistas científicas de impacto y alto impacto. Su evidencia puede ser visualizada en las figuras 1, 2 y 3, con base en una búsqueda ejecutada en Scopus. En la misma, se efectúa un análisis de tipo bibliométrico por actualidad de la bibliografía consultada (ver figura 1), documentos publicados por área temática o de aplicación (ver figura 2) y documentos por países o territorios (ver figura 3).

Como técnicas y métodos fundamentales de investigación empleados se encuentran el análisis documental, el método de análisis-síntesis y la observación directa. Del mismo modo, en su ejecución fueron utilizados diversos materiales como la computadora, el internet, los lápices y los cuadernos de apunte.

Revisión documental

En total fueron obtenidas 546 fuentes bibliográficas primarias, de las cuales el 100% se comprende en los últimos cinco años, avalando la actualidad de la información consultada, como se precisa en la figura 1. Posteriormente, como se detalla en la figura 2, el 19.1% de la bibliografía consultada aborda como área de conocimiento principal las ciencias computacionales, mientras que el 16.2% de las fuentes bibliográficas se centran en el análisis y aplicación de los conocimientos en las ciencias de la agricultura y biológicas. Finalmente, por encima del 10% se encuentra la aplicación en las ingenierías, con un 16.2% igualmente. Otras temáticas abordadas lo constituyen las ciencias del medioambiente, donde la agricultura de precisión tiene un impacto sustancial. Además, se encuentran investigaciones relacionadas con las ciencias sociales y de la tierra.



Figura 1. Análisis bibliométrico en Scopus por actualidad de las fuentes bibliográficas primarias.

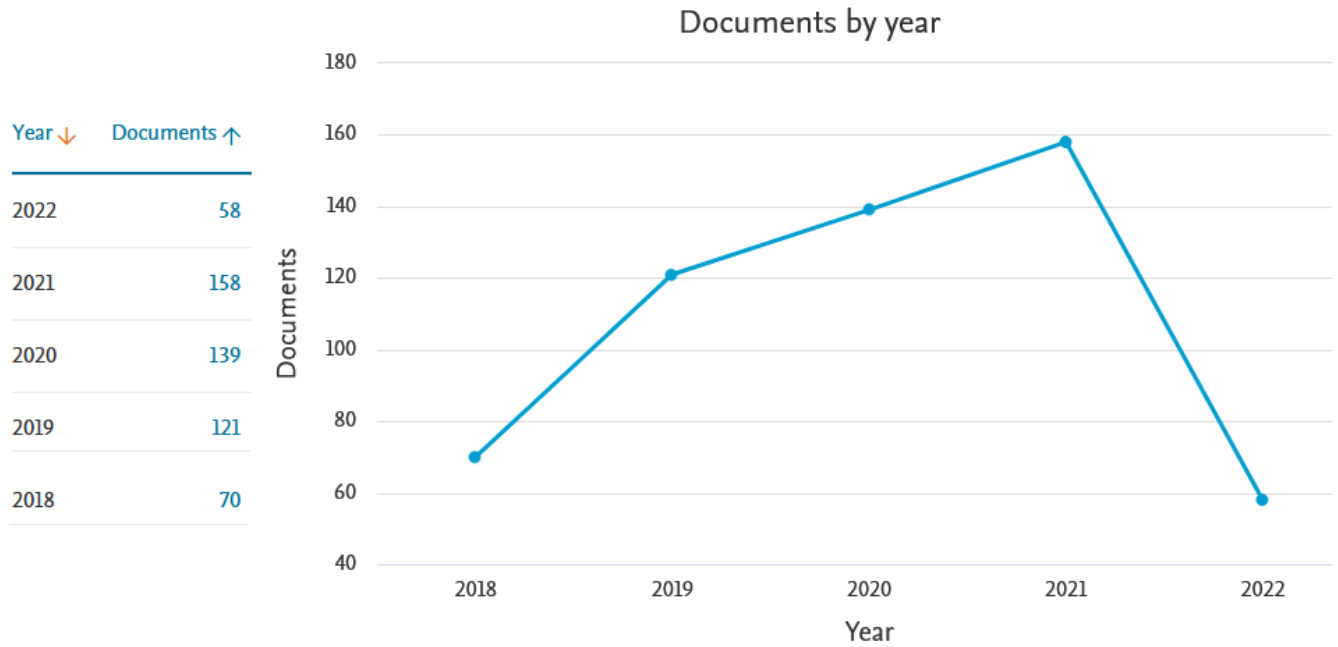
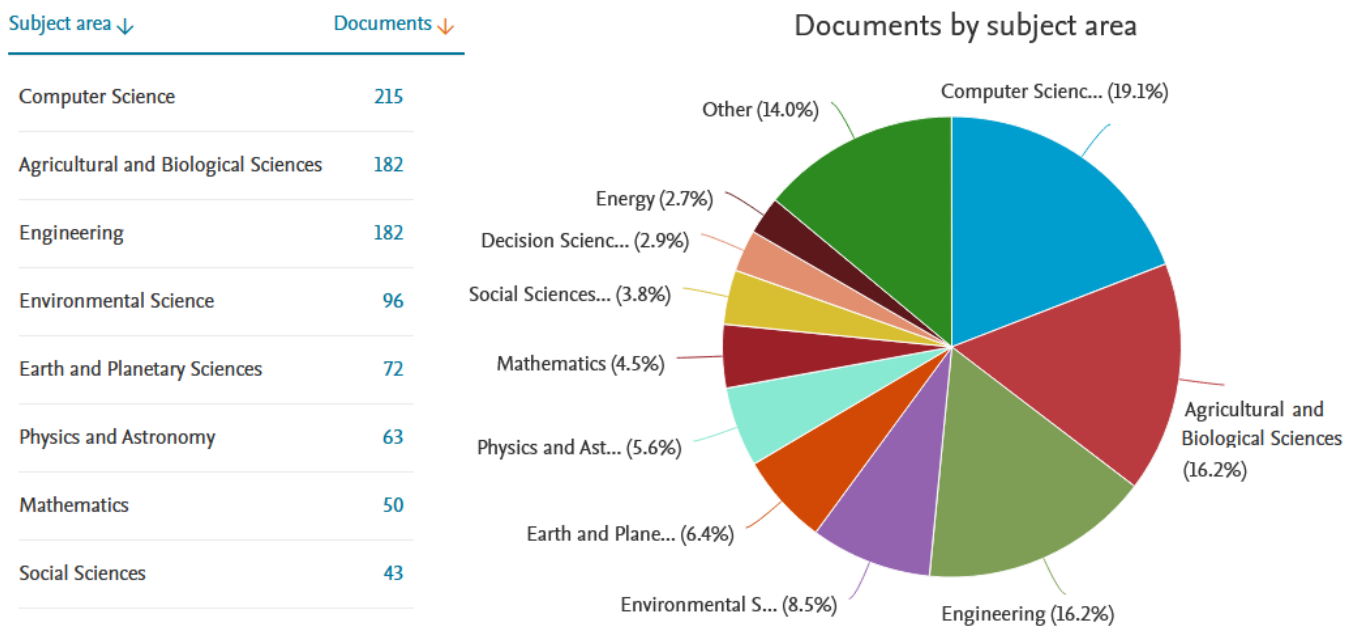
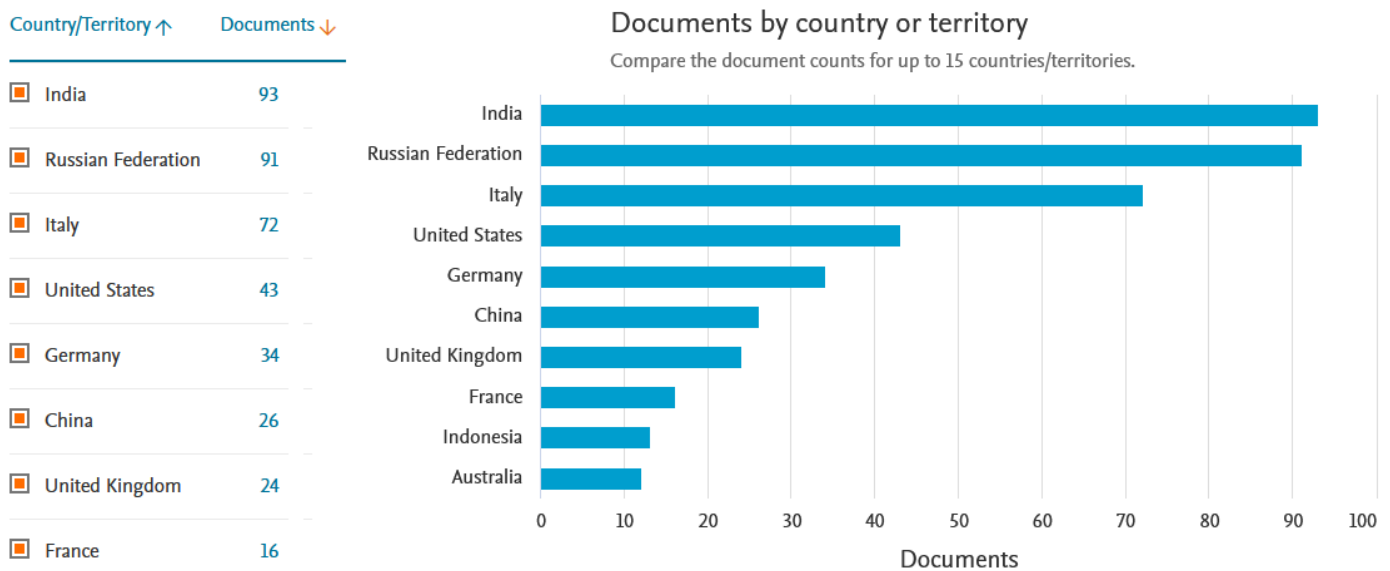


Figura 2. Análisis bibliométrico en Scopus por área de aplicación de las investigaciones.



Por último, en la figura 3 se lleva a cabo el análisis bibliométrico por región geográfica de los manuscritos publicados. En el estudio se constata que la India, la Federación Rusa e Italia son los países que más investigan en el área de conocimiento de la agricultura de precisión por medio de la aplicación de las TIC. Le siguen los Estados Unidos de América (EEUU), Alemania y China, entre otros países.

Figura 3. Análisis bibliométrico en Scopus por región geográfica de los manuscritos publicados.



Marco teórico

La agricultura de precisión tuvo su surgimiento en los EEUU. Se concibió inicialmente como una estrategia anual de realimentación, la cual posibilitaba la obtención de resultados satisfactorios, como resultado de la utilización de insumos, a partir de las características particulares evidenciadas en un terreno en específico. Posteriormente, se comenzó a emplear las TIC para posibilitar un mejoramiento en la gestión de los cultivos y los suelos, así como rapidez en la toma de decisiones, por medio de la gestión y análisis oportuno de los datos generados en este proceso. Luego de esto, al evidenciarse su elevada utilidad y pertinencia, su uso se extendió y generalizó, adaptándose a las características climatológicas de los países, los distintos cultivos y tecnologías, para su continuo mejoramiento (Moposita y Mora, 2018; Rizo-Mustelier et al., 2017).

La agricultura de precisión también se conoce como agricultura específica por sitio (Castellanos & Morales-Pérez, 2016; Hernández, 2021; Lizarazo y Alfonso, 2011). Su surgimiento, adopción acelerada y éxito se fundamentan en la



aplicación de las TIC para posibilitar la monitorización de parámetros agrícolas relacionados con la variabilidad temporal y espacial, lo cual impacta significativamente en un aumento de la productividad, la calidad del producto final y el mantenimiento y cuidado del medio ambiental (Castellanos y Morales-Pérez, 2016; Sarasti & Ramírez, 2016).

La agricultura de precisión utiliza las TIC para obtener un mejoramiento en la gestión del suelo y de los cultivos. Además, utilizan las tecnologías de geoposicionamiento para llevar a cabo el levantamientos topográficos del terreno de un cultivo (Alejandrino et al., 2020; Sánchez, 2019). Debido a ello, es un campo de acción de los sistemas de teledetección, ya que en la agricultura se requiere que se adquiera, procese e interprete un elevado volumen de información con precisión, con el propósito de mejorar las decisiones a gran escala. Por todo lo abordado, y como afirman Campo et al. (2015) y Nabi et al. (2020), la agricultura de precisión también tiene su sustento desde la teledetección, para posibilitar la gestión eficiente de los insumos en el espacio y momento oportuno y adecuado, con lo cual se evita la pérdida de cuantiosos recursos productivos y económicos, como se tiene constancia.

De acuerdo con Sarasti y Ramírez (2016), son muchas las tecnologías que son empleadas hoy en día para gestionar una agricultura de precisión con efectividad. El propósito de las mismas, desde sus diferentes aplicaciones, es gestionar los datos asociados con el ambiente y los cultivos, para posibilitar posteriormente su análisis e interpretación, para tomar decisiones que impacten en la productividad y calidad de los resultados. Las tecnologías utilizadas en este tipo de agricultura emplean la información geográfica para el procesamiento de los datos, donde se destacan: los sistemas de información geográfica (GIS), la tecnología de dosis variable, los drones, los sensores remotos y los sistemas de posicionamiento Global (GPS) (Ramdoo et al., 2019; Rizo-Mustellier et al., 2017; Sanjeevi et al., 2020).

La agricultura de precisión, por medio del empleo de la percepción remota (PR), los SIG y el GPS, han potenciado la competitividad y la productividad a gran escala en el sector agrícola e industrial (Ocampo & Catarina, 2018). La agricultura de precisión permite gestionar eficientemente los recursos agrícolas, evitando pérdidas económicas debido a que facilita el uso racional de insumos agrícolas, lo cual mejora la productividad (Barraza et al., 2019; Maha et al., 2019). Los sensores remotos son sistemas portátiles y/o satelitales que adquieren los datos de los cultivos sin estar en relación directa con estos. Son utilizados en la obtención de la información asociada con el agua suministrada en el riego, en la administración de las materias orgánicas para potenciar los resultados, para gestionar la existencia de plaga y en la monitorización de otros parámetros como la existencia de inundación o sequías. Para que estos sensores trabajen con eficiencia, se deben calibrar y tener muy buena resolución (Ocampo y Catarina, 2018).



Los sensores remotos permiten obtener información de los cultivos sin la necesidad de tener contacto físico con el mismo. Se emplean para recopilar datos de temperatura, humedad, espectros electromagnéticos, lo cual ayuda al agricultor a adoptar la mejor decisión antes de ejecutar un riego, aplicar fertilizantes o fumigar las plantas (Kumar et al., 2019). El funcionamiento de este tipo de sensores se basa en el empleo del espectro electromagnético, debido a que se miden las energías que son reflejadas o emitidas por cada elemento que forma parte de la superficie terrestre como lo es el suelo, las aguas, las vegetaciones y las rocas, aunque también se tiene en cuenta los elementos de origen antrópico, sin entrar en contacto con ellos.

Resultados y discusión

La agricultura de precisión tiene cuatro etapas principales que son: la obtención de la información de los cultivos y del entorno, el registro de los datos, la toma de decisiones y la actuación en el campo. Su utilidad consiste en la utilización eficiente de los recursos disponibles, logrando con ello un impacto considerable en la productividad de los cultivos. Cada una de las etapas señaladas se observan en la figura 4:

Figura 4. Ciclo de la Agricultura de Precisión. Fuente: Grupo de Investigación en AgróTICa y Agricultura de Precisión (2014).



Cada una de las etapas se abordan a continuación (Grupo de Investigación en AgróTICa y Agricultura de Precisión, 2014; QAMPO, 2019):

- **Obtención de la información de los cultivos y del entorno:** El ciclo comienza en esta etapa, donde el volumen de los datos es proporcional con los sensores y equipos utilizados, así como con las tecnologías disponibles que permiten que se gestionen los datos. Comúnmente, en esta etapa el volumen de los datos es muy grande. Los sensores que más se utilizan son: el de probabilidad de enfermedades y plagas, el de tipos de suelos, los medidores de pH, los sensores de geolocalización, de conductividad eléctrica y el de humedad de los suelos.
- **Registro de los datos:** luego de su registro, los datos tienen que procesarse para posibilitar que se interpreten y comprendan correctamente. En este sentido, se emplean *software* y aplicaciones de estadística y matemática, las cuales permiten la generación de gráficas y la clasificación de los datos.
- **Toma de decisiones:** Luego de procesados los datos se toman las decisiones para mejorar la productividad y calidad. Estas decisiones pueden estar relacionadas con la aplicación continua de determinados productos o su eliminación, así como con las cantidades de aplicación y su frecuencia, entre otras decisiones. A día de hoy se requiere profundizar en la investigación de esta etapa para tomar mejores decisiones y más oportunas.
- **Actuación en el campo:** Por último, se debe proceder a realizar las acciones requeridas o aplicar los recursos necesarios para lograr la productividad esperada del proceso. Para ello, también se emplea tecnología que regula la cantidad de agua que se utiliza en el riego, o la cantidad de fertilizante utilizado, tal es el caso de la tecnologías de actuación variable, que posibilitan que cada equipo autorregule su funcionamiento para ajustar la dosis de aplicación de los productos, prescritos en la etapa anterior de toma de decisiones.

Beneficios de la agricultura de precisión

Los beneficios que este tipo de agricultura le entrega a un agricultor, corresponden a información oportuna y de calidad para la toma de decisiones adecuadas. Las mismas se evidencian en un incremento de la productividad e ingresos (Bautista-Robles et al., 2020; Promus, 2017).

Posibilita que el agricultor pueda hacer la elección de las tecnologías que más le convenga a su interés y a su capacidad de financiamiento. En huertos pequeños de extensión menor o igual a una hectárea, se recomienda el uso de solo una tecnología, ello se debe a que es un costo de inversión menor. El empleo de más de una tecnología es recomendado para áreas de extensión mayor a una hectárea. Además, la utilización de tecnología con mayor grado de integración se recomienda para las plantaciones que tienen una escala mucho mayor, diversidad de cultivos y complejidad de los mismos, así como de gran valor final de sus producciones (Ocampo & Catarina, 2018).



Además, presenta otros beneficios tales como:

- Contribuye con la reducción de los costos y con la obtención de rendimientos mayores, lo que mejora el margen de rentabilidad.
- Posibilita la mejora del medio ambiente y un impacto negativo menor sobre él, al hacer un empleo eficiente de los recursos naturales y materiales a disposición en el mejoramiento de la productividad de los cultivos.
- Favorece el ahorro de recursos esenciales como la electricidad, los fertilizantes y el agua.
- Por medio del empleo de las tecnologías se posibilita la identificación de los tipos de plaga que son más probables que afecten la productividad, para obrar al respecto.
- Posibilita identificar si se necesitan fertilizantes y cuáles son las técnicas de cultivo más convenientes.
- Permite la identificación de los tipos de riego que son necesarios en determinada zona.

En la agricultura de precisión, se constata como otra de las ventajas que el agrónomo puede estar sentado desde su casa o desde su oficina en la ciudad y monitorear grandes extensiones de tierra sin tener que estar presente, conociendo las condiciones y el estado de temperatura y humedad en toda la finca, como se visualiza en la figura 5. Además, logra incrementar la rentabilidad de las explotaciones, reduce el impacto ambiental, debido a que minimiza el aporte de elementos contaminantes al entorno, evita el desperdicio de recursos y ayuda a ser más precisos en la toma de decisiones (Cevallos et al., 2018; Hernández, 2011; Sanjeevi et al., 2020).

Figura 5. Implementación de una red de sensores inalámbricos. Fuente: Castro et al. (2016).



La agricultura de precisión en el Ecuador

En Ecuador, con relación al empleo de las tecnologías en la agricultura, tiene un gran auge. Un ejemplo de ello es su aplicación en la industria florícola. Sus avances en materia tecnológica se han visto reflejados y evidenciados en la gestión de las plagas, en los controles de la humedad y en el empleo del invernadero (Moposita y Mora, 2018). De igual manera, en los riegos se han adoptado novedosos sistemas tecnológicos procedentes de Israel, destacándose los riegos por goteo, la capacidad instalada para automatizar y controlar las válvulas, así como la gestión de la frecuencia, el tiempo y el volumen de los controles. Adicionalmente, se han constatado mejoras sustanciales en las tecnologías dirigidas a mejorar los parámetros de calefacción, las cuales se auxilian de los datos reportados por las estaciones meteorológicas, las cuales cooperan con el control de la temperatura. A ello se suma el empleo de sensores para medir de manera constante la humedad y la temperatura de los suelos y el ambiente, para mejorar la calidad y productividad (Narváez, 2008).

En Ecuador ha sido muy baja la utilización de este tipo de agricultura en actividades bananeras, florícolas y azucareras, pero se abren grandes perspectivas para su paulatina adopción. Se trata de ejecutar las labores agrícolas, como fertilización, control de malezas, plagas y enfermedades, manejo de agua, recolección y otras, de acuerdo a las particulares condiciones de los lotes que conforman una superficie productiva, integrando además datos meteorológicos y de conservación ambiental, en procura de alcanzar los más altos rendimientos, a los más bajos costos, ya que los insumos serán los estrictamente requeridos por las plantas, en cada segmento de suelo.

La agricultura de precisión en el Ecuador es empleada en las florícolas, bananeras y empresas azucareras, la emplean para realizar riegos automatizados, control de plagas, control de humedad y ventilación. Del mismo modo, se usan drones para verificar plagas y hacer levantamientos topográficos. Además, las redes de sensores inalámbricos se están usando para monitorear la humedad relativa, la temperatura, la humedad del suelo, la luz y la lluvia en la agricultura de precisión. Además, posibilitan reducir el empleo de pesticidas y el consumo de agua. En los cultivos, ayudan a controlar la temperatura y la humedad de cada planta para mantener el estado ideal de la misma y entregar un buen producto para el consumo humano.

Conclusiones

En el estudio se concluye que la agricultura de precisión posibilita la gestión con eficiencia de los recursos agrícolas, por lo que ayuda a mejorar la utilización de los cultivos y de los suelos. Este paradigma utiliza diversas tecnologías novedosas como las de geolocalización. Se pueden destacar las tecnologías GPS y SIG, los sensores remotos y los



drones, los cuales permiten realizar levantamientos topográficos, fertilizaciones, fumigaciones y riego de cultivos. Es por ello que su utilización favorece el uso racional de los insumos agrícolas, permitiendo una mayor productividad y evitando pérdidas económicas. En el Ecuador, la agricultura de precisión es empleada en las florícolas, bananeras y empresas azucareras, las cuales la utilizan para realizar riegos automatizados, control de plagas, control de humedad y ventilación. Se considera que su utilización es pertinente y muy importante para el sector agrícola, de acuerdo con los hallazgos obtenidos.

En el Ecuador, las redes de sensores inalámbricos empleados para mejorar la agricultura de precisión, son usadas para monitorear la humedad relativa, la temperatura, la humedad del suelo, la luz y la lluvia. Además, posibilitan la reducción del gasto agua y de la utilización de pesticidas, tan perjudiciales para la salud humana, de los cultivos y de los suelos. Por último, en los cultivos ayudan a controlar la temperatura y la humedad de cada planta, para mantener el estado ideal de la misma y entregar un buen producto para el consumo humano. Por todo ello, como parte de la presente investigación, la agricultura de precisión se considera una tecnología novedosa a emplear, la cual requiere una investigación más profunda.

Las redes de sensores inalámbricos presentan las siguientes ventajas: confiabilidad, flexibilidad, autoorganización, instalación, movilidad, tamaño diminuto y cobertura extendida. De la misma manera, presenta varias desventajas como: rangos de transmisión, la mayor parte del tiempo fuera de línea, interfaces para tareas reducidas con energías muy bajas, así como recursos de energía casi imposibles para poder implementar fuentes de energía de gran tamaño. Del mismo modo, sus costos siguen siendo elevados y son propensos a facilidad de fallos.

Para futuras investigaciones se recomienda el uso de la agricultura de precisión en el Ecuador, a ser empleada por los agricultores. Su adopción ayuda a optimizar los recursos agrícolas mejorando la productividad de cada uno de los cultivos en los cuales se aplique este tipo de tecnología. Adicionalmente, se considera que se deben aplicar redes de sensores inalámbricos en la monitorización de las variables atmosféricas, lo cual va a evitar el desperdicio del agua y de otros insumos agrícolas, lo que permitirá usar las cantidades necesarias para cada planta. Por último, por medio de la realización de un análisis documental se debería presentar las bondades e inconvenientes de la adopción de las redes de sensores inalámbricos para que estas puedan ser empleadas por los agricultores y automatizar la producción en los cultivos.

Conflictos de intereses

Los autores de la investigación no presentan conflictos de intereses.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional**
(CC BY 4.0)

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Byron Alexander Tobar Cuesta, María José Moran Solís..
2. Curación de datos: Byron Alexander Tobar Cuesta, María José Moran Solís.
3. Análisis formal: Byron Alexander Tobar Cuesta, María José Moran Solís.
4. Adquisición de fondos: Byron Alexander Tobar Cuesta, María José Moran Solís.
5. Investigación: Byron Alexander Tobar Cuesta, María José Moran Solís.
6. Metodología: Byron Alexander Tobar Cuesta, María José Moran Solís.
7. Administración del proyecto: Byron Alexander Tobar Cuesta, María José Moran Solís.
8. Recursos: Byron Alexander Tobar Cuesta, María José Moran Solís.
9. Software: Byron Alexander Tobar Cuesta, María José Moran Solís.
10. Supervisión: Byron Alexander Tobar Cuesta, María José Moran Solís.
11. Validación: Byron Alexander Tobar Cuesta, María José Moran Solís.
12. Visualización: Byron Alexander Tobar Cuesta, María José Moran Solís.
13. Redacción – borrador original: Byron Alexander Tobar Cuesta, María José Moran Solís.
14. Redacción – revisión y edición: Byron Alexander Tobar Cuesta, María José Moran Solís.

Referencias

- Alejandrino, J., Concepcion, R., Almero, V. J., Palconit, M. G., Bandala, A., & Dadios, E. (2020, December). A hybrid data acquisition model using artificial intelligence and IoT messaging protocol for precision farming. *In 2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HNICEM51456.2020.9400152>
- Arcos, L. V. C., Muñoz, J. C. C., & Espino, A. L. (2015). Remote sensing for agricultural crops based on a low cost quadcopter. *Sistemas y Telemática*, 13(34), 49-63. <https://doi.org/10.18046/syt.v13i34.2092>
- Barraza, J. A., Espinoza, E. J., Espinos, A. G., & Serracin, J. (2019). Agricultura de precisión con drones para control de enfermedades en la planta de arroz. *Revista de Iniciación Científica*, 5, 41-47. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v5.0.2368>
- Bautista-Robles, V., Ken Rodríguez, C. A., & Keita, H. (2020). El papel de la agricultura en la seguridad alimentaria de las comunidades rurales de Quintana Roo: un ciclo autosostenido. *Estudios sociales*.



Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional, 30(56).
<https://doi.org/10.24836/es.v30i56.987>

- Castellanos, R. M., & Morales-Pérez, M. (2016). Análisis crítico sobre la conceptualización de la agricultura de precisión. *Ciencia en su PC*, (2), 23-33. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/1813/181349391004/html/>
- Castro, N. D., Chamorro, L. E., & Viteri, C. A. (2016). Una red de sensores inalámbricos para la automatización y control del riego localizado. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 106-116. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.57>
- Cevallos, H. A. V., Collaguazo, L. A. V., & Collaguazo, J. D. R. V. (2018). Uso de índices espectrales en la agricultura de precisión: caso de estudio campus de la Facultad Técnica de Machala. *Alternativas*, 19(1), 71-79. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7028331>
- Cerón-Muñoz, M., & Barrios, D. (2019). Agricultura de precisión: una contribución a la gestión de los agronegocios desde la modelación. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 32, 7-13. Disponible en <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/340326>
- De León, E. E. S., Muñoz, V. H. P., & López, A. V. (2020). La agricultura y la educación agrícola superior mexicanas en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial. *Industria 4.0 en la agricultura y la ingeniería automotriz*, 9. Disponible en <https://www.ipn.mx/assets/files/innovacion/docs/Innovacion-Educativa-82/Innovacion-Educativa-No-82.pdf#page=11>
- Grupo de Investigación en AgróTICa y Agricultura de Precisión. (2014). *El ciclo de la Agricultura de Precisión*. Agricultura de Precisión. Disponible en <http://www.grap.udl.cat/es/presentacion/ap.html>
- Gutiérrez, S. K., Santana, L. H., Morales, R. O., Díaz, O. A., & Mora, I. D. (2018). Análisis de imágenes multispectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados en agricultura de precisión. *Revista Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 39(2), 79-91. Disponible en <https://rielac.cujae.edu.cu/index.php/riecac/article/view/669>
- Hernández, R. R. (2021). La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(1), 67-74. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/5862/586269368010/586269368010.pdf>
- Ibarra, G. E. R. (2022). Agricultura de Precisión: La integración de las TIC en la producción agrícola. *Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, 3(1), 34-38. <https://doi.org/10.17981/cesta.03.01.2022.04>
- Kumar, S., Kumar, N., & Saini, R. K. (2019, November). Energy-Saving Sensors for Precision Agriculture in Wireless Sensor Network: A Review. *In 2019 Women Institute of Technology Conference on*



- Electrical and Computer Engineering (WITCON ECE)* (pp. 65-70). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/WITCONECE48374.2019.9092890>
- Lizarazo, I. A., & Alfonso, O. A. (2011). Aplicaciones de la agricultura de precisión en palma de aceite “Elaeis Guineensis” e híbrido O x G. *Revista de Ingeniería*, (33), 124-130.
<https://doi.org/10.16924/revinge.33.12>
- Maha, M. M., Bhuiyan, S., & Masduzzaman, M. (2019, January). Smart board for precision farming using wireless sensor network. In *2019 International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)* (pp. 445-450). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ICREST.2019.8644215>
- Moposita, R., y Mora, H. (2018). *Cómo surge la agricultura de precisión. Aumento de la calidad de la caña de azúcar mediante la aplicación del riego y la fertilización de precisión* [Tesis de Licenciatura, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador]. Disponible en <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/3902>
- Nabi, F., Jamwal, S., & Padmanbh, K. (2020). Wireless sensor network in precision farming for forecasting and monitoring of apple disease: a survey. *International Journal of Information Technology*, 1-12.
<https://doi.org/10.1007/s41870-020-00418-8>
- Narváez, G. (2008). *Desarrollo de la agricultura de precisión en el Ecuador y su compatibilidad con la infraestructura existente en nuestro país. Automatización de un sistema de riego dedicado a la producción florícola basado en las tecnologías de agricultura de precisión y en telemetría utilizando la plataforma de comunicaciones de telefonía móvil GPRS*, 32-33. Quito, Ecuador: EPN. Disponible en <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1308>
- Ocampo, M., & Catarina, C. S. (2018, April). Agricultura de Precisión. In *Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión (INCYTU)* (p. 15). Disponible en https://www.foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU_18-015.pdf
- Promus. (2017). *Monitoreo de suelo agrícola Región de Coquimbo*. Coquimbo: PROMMRA.
- QAMPO. (2019). *Las 4 etapas principales de la agricultura de precisión*. La agricultura de precisión: <https://qampo.es/la-agricultura-de-precision/>
- Ramdoo, V. D., Khedo, K. K., & Bhoyroo, V. (2019). A flexible and reliable wireless sensor network architecture for precision agriculture in a tomato greenhouse. In *Information systems design and intelligent applications* (pp. 119-129). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3338-5_12
- Rizo-Mustelier, M., Vuelta-Lorenzo, D. R., & Lorenzo-García, A. M. (2017). Agricultura, desarrollo sostenible, medioambiente, saber campesino y universidad. *Ciencia en su PC*, (2), 106-120. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/1813/181351615008/html/>



- Sánchez, H. Á. (2019). Agricultura urbana y periurbana: reconfiguraciones territoriales y potencialidades en torno a los sistemas alimentarios urbanos. *Investigaciones geográficas*, (98).
<https://doi.org/10.14350/rig.59785>
- Sanjeevi, P., Prasanna, S., Siva Kumar, B., Gunasekaran, G., Alagiri, I., & Vijay Anand, R. (2020). Precision agriculture and farming using Internet of Things based on wireless sensor network. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 31(12), e3978.
<https://doi.org/10.1002/ett.3978>
- Sarasti, O. A. O., & Ramírez, G. L. (2016). Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 15(28), 103-124. Disponible en <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/3553>
- Thakur, D., Kumar, Y., Kumar, A., & Singh, P. K. (2019). Applicability of wireless sensor networks in precision agriculture: A review. *Wireless Personal Communications*, 107(1), 471-512.
<https://doi.org/10.1007/s11277-019-06285-2>
- Valdés, M. M., Pérez, J. F. R., Mejía, W. E. P., & Ortega, J. G. C. (2018). Estrategia para la evaluación de escenarios de despliegue del Sistema de Información Hospitalaria XAVIA HIS en instituciones de salud. Convención Internacional de Salud, Cuba Salud, La Habana, Cuba. Disponible en <http://convencionsalud2018.sld.cu/index.php/convencionsalud/2018/paper/viewPDFInterstitial/1832/1007>

