



# Aplicación de Tecnologías en la Agricultura de Precisión mediante Evidencia de Fuentes Científicas

## *Application of Technologies in Precision Agriculture through Evidence from Scientific Sources*

Guamán-Rivera, Santiago Alexander <sup>1\*</sup>.

<sup>1</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, Riobamba;  
<https://orcid.org/0000-0001-8699-0655>, [santiago.guaman@esepoch.edu.ec](mailto:santiago.guaman@esepoch.edu.ec)

\* Autor Correspondencia

 <https://doi.org/10.70881/hnj/v1/n2/14>

**Cita:** Guamán-Rivera, S. A. (2023). Aplicación de Tecnologías en la Agricultura de Precisión mediante Evidencia de Fuentes Científicas. *Horizon Nexus Journal*, 1(2), 1-13. <https://doi.org/10.70881/hnj/v1/n2/14>

**Recibido:** 08/01/2023

**Revisado:** 14/01/2023

**Aceptado:** 30/01/2023

**Publicado:** 30/04/2023



**Copyright:** © 2023 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**.

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

**Resumen:** La investigación analiza el impacto de tecnologías avanzadas en la agricultura de precisión (AP), destacando su relevancia para optimizar el uso de recursos en la producción agrícola. El estudio se enfoca en una revisión exhaustiva de fuentes académicas para identificar beneficios, barreras y oportunidades de la AP en diversas regiones. Utilizando una metodología de búsqueda sistemática en bases de datos científicas, se seleccionaron estudios recientes que investigan el uso de sensores, drones, sistemas de posicionamiento global (GPS) y software para el monitoreo en tiempo real de cultivos. Los resultados demuestran que la AP mejora significativamente la eficiencia en el uso de agua y fertilizantes, reduciendo los impactos ambientales negativos. Sin embargo, factores como los altos costos de implementación, la falta de infraestructura adecuada en zonas rurales y la limitada capacitación técnica dificultan su adopción, especialmente en países en desarrollo. La discusión sugiere que políticas públicas de apoyo, como subsidios y programas de formación, podrían facilitar el acceso a estas tecnologías. En conclusión, la AP presenta un gran potencial para aumentar la sostenibilidad y la productividad agrícola, pero su adopción generalizada depende de un mayor respaldo institucional y la mejora en la accesibilidad tecnológica.

**Palabras clave:** agricultura de precisión; sostenibilidad; tecnologías agrícolas; eficiencia de recursos; adopción tecnológica.

**Abstract:** The research analyzes the impact of advanced technologies in precision agriculture (PA), highlighting their relevance for optimizing the use of resources in agricultural production. The study focuses on a comprehensive review of academic sources to identify benefits, barriers and opportunities of PA in various regions. Using a systematic search methodology in scientific databases, recent studies investigating the use of sensors, drones, global positioning systems (GPS) and software for real-time crop monitoring were selected. The results show that PA significantly improves water and fertilizer use efficiency, reducing negative environmental impacts. However, factors such as high implementation costs, lack of adequate infrastructure in rural areas, and limited technical training hinder its adoption, especially in developing countries. The discussion suggests that supportive public policies, such as subsidies and training programs, could facilitate access to these technologies. In conclusion, PA has great potential to increase agricultural sustainability and productivity, but its widespread adoption depends on greater institutional support and improved technological accessibility.

**Keywords:** precision agriculture; sustainability; agricultural technologies; resource efficiency; technology adoption.

## 1. Introducción

En las últimas décadas, la agricultura ha sido testigo de una transformación significativa impulsada por la incorporación de tecnologías avanzadas, una tendencia que ha dado lugar a lo que conocemos hoy como agricultura de precisión (AP). Este enfoque tecnológico busca optimizar el uso de recursos naturales y mejorar la eficiencia productiva mediante la implementación de herramientas como sensores, drones, sistemas de posicionamiento global (GPS) y software especializado para el monitoreo en tiempo real de cultivos (Caicedo-Aldaz & Herrera-Sánchez, 2022). Sin embargo, la adopción de estas tecnologías aún enfrenta desafíos significativos, lo que genera una problemática que merece un análisis detallado. En este contexto, este artículo tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica exhaustiva que evalúe el impacto del uso de tecnologías en la AP, así como las barreras y oportunidades para su implementación en distintas regiones.

Uno de los principales problemas en la agricultura contemporánea es la creciente necesidad de aumentar la productividad agrícola para satisfacer la demanda mundial de alimentos, mientras se mitigan los efectos adversos sobre el medio ambiente. La agricultura tradicional, basada en técnicas convencionales de cultivo, a menudo es ineficiente en el uso de recursos clave como el agua y los fertilizantes, lo que genera un impacto negativo en los ecosistemas (González-Marcillo et al., 2023). La AP ofrece soluciones prometedoras para estos desafíos, permitiendo a los agricultores ajustar sus operaciones con base en la variabilidad espacial y temporal de los cultivos, lo que podría reducir el uso excesivo de insumos y minimizar el desperdicio (IICA, 2007). No obstante, la implementación de estas tecnologías sigue siendo limitada en muchas partes del mundo, especialmente en países en desarrollo, donde los altos costos de adquisición y mantenimiento de equipos, así como la falta de personal capacitado, actúan como barreras significativas (Caicedo-Aldaz & Herrera-Sánchez, 2022).

Además de los costos financieros, la infraestructura también juega un papel crucial en la adopción de la AP. Las zonas rurales, donde predominan las actividades agrícolas, a menudo carecen de acceso confiable a internet y redes de comunicación, lo que impide el uso eficaz de tecnologías que dependen de la recopilación y análisis de datos en tiempo real (TecScience, 2023). Por ejemplo, el uso de sensores de suelo y sistemas de información geográfica (SIG) para monitorear la salud del suelo y las condiciones meteorológicas requiere una conectividad estable que no siempre está disponible en áreas alejadas. Esto genera una dependencia en soluciones más costosas o en la asistencia de expertos externos, lo que incrementa los costos operativos y complica la adopción de estas tecnologías a largo plazo (González-Marcillo et al., 2023).

A pesar de estas limitaciones, la agricultura de precisión presenta un potencial considerable para mejorar la sostenibilidad del sector agrícola. Al permitir un uso más eficiente de recursos como el agua, los fertilizantes y los pesticidas, la AP puede ayudar a reducir la contaminación ambiental y mitigar los efectos del cambio climático. La capacidad de aplicar insumos de manera precisa, solo donde y cuando sean necesarios, no solo reduce los costos operativos, sino que también minimiza el impacto ambiental negativo asociado con el uso excesivo de productos agroquímicos (IICA, 2007). Este enfoque también facilita una mejor toma de decisiones, al proporcionar datos en tiempo

real sobre el estado de los cultivos y los suelos, lo que permite a los agricultores ajustar sus prácticas de manera proactiva para optimizar el rendimiento de las cosechas.

La justificación para la adopción de tecnologías en la agricultura de precisión radica en su capacidad para generar un cambio positivo tanto en la productividad como en la sostenibilidad. Diversos estudios han demostrado que los agricultores que implementan estas tecnologías logran aumentar significativamente su eficiencia y rentabilidad, especialmente en cultivos de gran escala (González-Marcillo et al., 2023). Sin embargo, para que la AP se convierta en una opción viable para los pequeños y medianos agricultores, es esencial que existan políticas públicas que faciliten el acceso a estas tecnologías. Esto podría incluir la creación de programas de capacitación técnica para agricultores, así como la implementación de subsidios o créditos que permitan la adquisición de equipos y sistemas avanzados (Caicedo-Aldaz & Herrera-Sánchez, 2022).

En cuanto a la viabilidad de la adopción de la AP, un aspecto clave es la necesidad de mejorar la capacitación y el conocimiento técnico entre los agricultores. Muchos agricultores no están familiarizados con el uso de tecnologías avanzadas como drones, sensores de suelo y software de análisis de datos, lo que limita su capacidad para aprovechar al máximo estas herramientas (TecScience, 2023). Programas de capacitación diseñados para cerrar esta brecha de conocimiento son esenciales para garantizar que los agricultores puedan manejar de manera autónoma estas tecnologías y obtener los beneficios asociados a su uso. Además, la colaboración entre instituciones públicas, privadas y académicas es fundamental para desarrollar soluciones que sean accesibles y adecuadas para las necesidades específicas de cada región.

En síntesis, la agricultura de precisión representa una herramienta valiosa para enfrentar los desafíos contemporáneos del sector agrícola, particularmente en lo que respecta a la sostenibilidad y la eficiencia productiva. Sin embargo, su adopción enfrenta barreras importantes, principalmente relacionadas con los costos de implementación y la falta de capacitación técnica. A través de políticas adecuadas y programas de apoyo, es posible que estas tecnologías se extiendan a una mayor cantidad de productores, contribuyendo así a una agricultura más eficiente, rentable y respetuosa con el medio ambiente.

## 2. Materiales y Métodos

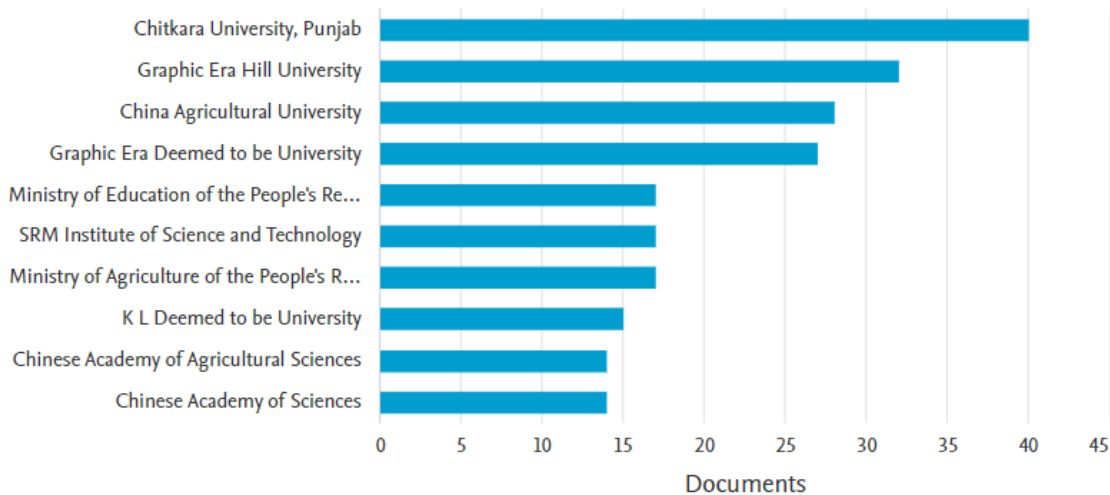
Para desarrollar la metodología, se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de artículos científicos utilizando la base de datos Scopus. El objetivo fue analizar el uso de tecnologías en la agricultura de precisión, específicamente a través de artículos publicados en 2024. Se emplearon las palabras clave "technologies," "precision," y "agriculture" en diferentes combinaciones para obtener resultados relevantes y actuales sobre el tema.

El proceso de búsqueda arrojó un total de 1370 artículos, los cuales fueron filtrados para obtener una visión más clara de las contribuciones significativas en este campo. La selección final de los documentos se basó en criterios de calidad, novedad del contenido y relevancia para el tema de investigación. La búsqueda se centró exclusivamente en publicaciones recientes del año 2024 para asegurar la actualización de la información.

Además, se utilizaron las herramientas analíticas de Scopus, entre las que se incluyen las métricas de "Documents by Affiliation", las cuales proporcionan datos sobre las instituciones con más contribuciones en este campo. Según las analíticas, las instituciones con mayor número de publicaciones fueron la Chitkara University, Graphic Era Hill University, China Agricultural University, entre otras, destacando su liderazgo en la investigación sobre tecnologías aplicadas a la agricultura de precisión.

**Figura 1:**

*Document by affiliation*



*Nota: Scopus (2024).*

Se optó por revisar los documentos más citados y aquellos que presentaban una metodología robusta para el análisis de tecnologías como el uso de drones, sistemas de monitoreo de suelo y aplicaciones de riego automatizado. Esta estrategia permitió obtener un panorama completo sobre las principales tendencias y desarrollos en la agricultura de precisión.

Finalmente, los resultados de la búsqueda se organizaron y analizaron para identificar patrones y áreas de interés común entre las investigaciones seleccionadas. Esto permitió construir una revisión crítica de la literatura que será utilizada en las siguientes secciones del estudio.

### 3. Resultados

#### 3.1. Adopción de Tecnologías en la Agricultura de Precisión

La adopción de tecnologías en la agricultura de precisión ha transformado significativamente la manera en que se gestionan los recursos agrícolas, permitiendo un uso más eficiente del agua, los nutrientes y otros insumos. Sin embargo, su implementación no es homogénea en todas las regiones del mundo, dependiendo de múltiples factores económicos, sociales y técnicos. Las instituciones académicas, como Chitkara University y Graphic Era Hill University, han liderado en la investigación sobre estas tecnologías, contribuyendo al desarrollo de dispositivos como sensores de suelo,

sistemas de riego automatizado y drones para monitoreo, que son esenciales en la agricultura de precisión (De Baerdemaeker, 2013).

La adopción de estas tecnologías presenta disparidades notables a nivel global. En países con infraestructuras tecnológicas avanzadas y políticas de apoyo claras, como en varios miembros de la Unión Europea y América del Norte, la agricultura de precisión ha experimentado una mayor penetración. Por ejemplo, en estudios realizados en la Unión Europea, se ha demostrado que la influencia de actores clave, como gobiernos y organizaciones, ha sido determinante en la adopción de prácticas agrícolas sostenibles (Naspetti et al., 2017). No obstante, en otras regiones, como América Latina y África, los desafíos relacionados con la conectividad y los altos costos de implementación continúan limitando la adopción de estas innovaciones (Arellanes & Lee, 2003; Higgins et al., 2017).

Entre los dispositivos más utilizados en la agricultura de precisión se encuentran los sensores de suelo, que proporcionan datos en tiempo real sobre variables críticas como la humedad y la temperatura del suelo. Estos datos permiten a los agricultores optimizar el riego, reduciendo el consumo de agua y mejorando la eficiencia de las operaciones agrícolas. Asimismo, los drones se utilizan cada vez más para realizar monitoreos detallados de los cultivos, detectando enfermedades y evaluando el rendimiento de manera precisa (De Baerdemaeker, 2013). Estas tecnologías no solo aumentan la productividad, sino que también promueven prácticas más sostenibles y menos perjudiciales para el medio ambiente.

Sin embargo, uno de los principales obstáculos para la adopción de estas tecnologías sigue siendo el alto costo inicial y la falta de infraestructura en áreas rurales, especialmente en países en desarrollo. Investigaciones realizadas en Honduras sugieren que factores como la propiedad de la tierra, el acceso al riego y las características del terreno influyen significativamente en la capacidad de los agricultores para adoptar tecnologías avanzadas (Arellanes & Lee, 2003). Adicionalmente, la falta de capacitación técnica y la carencia de sistemas de soporte a largo plazo dificultan aún más la adopción eficiente y sostenible de la agricultura de precisión en estas áreas (Higgins et al., 2017).

Finalmente, las políticas públicas juegan un papel crucial en la promoción de estas tecnologías. Los subsidios y los programas de financiamiento han demostrado ser herramientas efectivas para facilitar la adopción en regiones donde los recursos financieros son limitados. En países europeos, la implementación de políticas de apoyo ha sido clave para la adopción masiva de tecnologías de precisión y prácticas agrícolas sostenibles, lo que destaca la importancia de crear entornos regulatorios que promuevan la innovación tecnológica en la agricultura (Naspetti et al., 2017; Rosas Leutenegger & Villasana López, 2019).

### **3.2. Impacto de la Agricultura de Precisión en la Sostenibilidad**

La agricultura de precisión ha emergido como un enfoque clave para mejorar la sostenibilidad en la producción agrícola, al ofrecer métodos avanzados que permiten una gestión más eficiente de los recursos naturales, lo que a su vez minimiza el impacto ambiental. Entre los principales beneficios destaca la reducción en el uso de insumos como agua y fertilizantes, lo que no solo aumenta la eficiencia productiva, sino que

también contribuye a la conservación de recursos vitales y la disminución de la contaminación.

En primer lugar, el uso de tecnologías de precisión reduce significativamente el uso de insumos al permitir la aplicación selectiva de agua, fertilizantes y pesticidas. Esto es posible gracias a herramientas como los sensores de suelo, que monitorean en tiempo real la humedad y los nutrientes disponibles, optimizando el uso de recursos y evitando su desperdicio. Según De Baerdemaeker (2013), esta tecnología ha demostrado ser particularmente útil en áreas con escasez de agua, donde el riego de precisión ha permitido mantener la productividad de los cultivos reduciendo el consumo hídrico hasta en un 30%. Esta eficiencia se traduce en beneficios económicos y medioambientales, ya que se reducen los costos operativos y se minimiza el impacto en los recursos naturales.

Por otro lado, la optimización en el uso de agroquímicos es otro de los aspectos clave de la agricultura de precisión. La aplicación de fertilizantes y pesticidas de manera tradicional tiende a ser homogénea, lo que conlleva un uso excesivo en algunas áreas y subóptimo en otras, contribuyendo a la contaminación de los suelos y las aguas subterráneas. Las tecnologías de precisión, como los sistemas de monitoreo y las aplicaciones de insumos a tasas variables, permiten ajustar la cantidad de agroquímicos aplicada según las condiciones específicas del suelo y el clima. Esto no solo aumenta la productividad, sino que también ayuda a reducir la contaminación ambiental, particularmente en lo que respecta a la lixiviación de nitratos, una de las principales causas de la degradación de la calidad del agua (Rojas & Saavedra-Mera, 2022).

Asimismo, la implementación de sistemas de riego de precisión contribuye significativamente a la conservación de los recursos hídricos. Tecnologías como el riego por goteo y los sistemas automatizados ajustan la cantidad de agua suministrada según las necesidades del cultivo y las condiciones del suelo, reduciendo el consumo innecesario de agua. En regiones donde el cambio climático ha exacerbado la escasez de agua, estas tecnologías son esenciales para mantener la producción agrícola sin agotar los recursos disponibles. Según Vera Chang, Barzola Miranda y Álvarez Aspiazu (2024), el riego de precisión ha logrado mejorar la eficiencia en el uso del agua en hasta un 40%, especialmente en cultivos de alto consumo hídrico como el maíz y la caña de azúcar.

Finalmente, los sistemas de monitoreo en tiempo real permiten un control más preciso y proactivo de las plagas y enfermedades. El monitoreo continuo de las condiciones del suelo y los cultivos mediante sensores y drones permite a los agricultores detectar problemas antes de que se conviertan en amenazas graves. Esto reduce la necesidad de aplicar pesticidas de manera generalizada, lo que no solo disminuye el uso de estos productos, sino que también protege los ecosistemas circundantes al evitar su dispersión indiscriminada. De acuerdo con Higgins, Thorburn y Lamb (2017), este enfoque ha sido particularmente exitoso en sistemas agrícolas donde las condiciones climáticas variables pueden exacerbar la proliferación de plagas, mejorando la salud general de los cultivos y reduciendo los costos asociados al tratamiento de enfermedades.

En resumen, la agricultura de precisión es una herramienta clave para aumentar la sostenibilidad en el sector agrícola. Al reducir el uso de insumos y mejorar la eficiencia

en el manejo de recursos como el agua y los agroquímicos, estas tecnologías no solo mejoran la productividad y rentabilidad de las explotaciones, sino que también contribuyen a la preservación del medio ambiente a largo plazo.

### **3.3. Desafíos para la Adopción Generalizada de Tecnologías de Precisión**

La adopción generalizada de tecnologías de precisión en la agricultura enfrenta múltiples barreras, que van desde los altos costos hasta la falta de infraestructura y capacitación técnica adecuada. Estos obstáculos dificultan especialmente el acceso de los pequeños y medianos agricultores, quienes podrían beneficiarse enormemente de estas innovaciones, pero carecen de los recursos necesarios para implementarlas.

Uno de los principales desafíos es el alto costo de adquisición de los equipos. Tecnologías como drones, sensores y sistemas de riego automatizado requieren una inversión inicial significativa, lo que representa una barrera considerable para los agricultores con recursos limitados. A pesar de las mejoras tecnológicas y la reducción progresiva en los costos, los pequeños productores aún tienen dificultades para acceder a estas soluciones debido a la falta de capital. Esta situación es exacerbada en las regiones menos desarrolladas, donde la financiación es limitada y el retorno de inversión es más incierto (GAO, 2023; Karunathilake et al., 2023).

Otro obstáculo importante es la falta de conectividad en áreas rurales, lo que impide el uso eficiente de las tecnologías que dependen de la transmisión de datos en tiempo real. La agricultura de precisión se basa en el acceso constante a redes de comunicación para el monitoreo de cultivos y la gestión de datos, pero muchas áreas rurales carecen de una infraestructura de telecomunicaciones adecuada. Si bien el avance de la tecnología satelital y las redes privadas ofrecen algunas soluciones, la falta de conectividad sigue siendo un desafío crucial para la adopción efectiva de estas tecnologías (Sharp, 2024; GAO, 2023).

Además, existe una brecha considerable en la capacitación técnica necesaria para operar y mantener los sistemas de agricultura de precisión. Muchos agricultores, especialmente los de mayor edad o aquellos que no tienen acceso a formación técnica especializada, enfrentan una curva de aprendizaje empinada cuando se trata de utilizar y mantener tecnologías avanzadas como drones, sensores y software de gestión de cultivos. Esto crea una dependencia de terceros para la operación y el mantenimiento, lo que incrementa los costos y limita el potencial de adopción a largo plazo (Karunathilake et al., 2023).

Finalmente, las políticas gubernamentales no siempre facilitan el acceso a estas tecnologías. Aunque en algunos países se han establecido programas de subsidios y préstamos para la adquisición de tecnología agrícola, estas iniciativas suelen estar más orientadas a los grandes productores. Los pequeños agricultores, que representan una gran parte de la producción agrícola en muchos países, a menudo no cumplen con los criterios para acceder a estos apoyos, lo que perpetúa la desigualdad en la adopción de tecnologías de precisión (Sharp, 2024; GAO, 2023).

Para superar estos desafíos, es esencial que los gobiernos implementen políticas más inclusivas que faciliten el acceso a financiamiento y promuevan la capacitación técnica, al mismo tiempo que se invierte en mejorar la infraestructura de conectividad rural. Esto permitiría que más agricultores, independientemente de su tamaño, puedan aprovechar

los beneficios de la agricultura de precisión, mejorando la sostenibilidad y eficiencia de sus operaciones.

### **3.4. Perspectivas Futuras y Tendencias Tecnológicas**

Las perspectivas futuras en la agricultura de precisión apuntan a una transformación radical en cómo los agricultores manejan sus cultivos y optimizan los recursos disponibles. Una de las tendencias más destacadas es la creciente integración de inteligencia artificial (IA) y análisis de big data para la toma de decisiones más precisas y eficientes. Estas tecnologías permiten a los agricultores recopilar y analizar grandes volúmenes de datos de diferentes fuentes, como sensores de suelo, drones y satélites, lo que les brinda una visión integral de sus campos. Con la capacidad de procesar esta información en tiempo real, la IA puede optimizar el uso de insumos como fertilizantes, agua y pesticidas, lo que no solo mejora la productividad, sino que también reduce los costos operativos y el impacto ambiental (Karunathilake et al., 2023).

El uso de big data en la agricultura de precisión es particularmente relevante porque permite identificar patrones y tendencias en los cultivos que serían difíciles de detectar de otra manera. A través del análisis de datos históricos y en tiempo real, los agricultores pueden prever cambios climáticos, detectar plagas y enfermedades antes de que se conviertan en problemas generalizados y ajustar las prácticas agrícolas para optimizar el rendimiento de los cultivos. Esta capacidad de predecir y responder a los desafíos agrícolas antes de que ocurran es clave para aumentar la resiliencia del sector ante el cambio climático y otros factores externos. Según IBM (2023), las herramientas basadas en IA, como el modelo de predicción meteorológica de ClimateAi, ya están ayudando a los agricultores en regiones vulnerables a optimizar los tiempos de siembra y cosecha, mejorando así la productividad y reduciendo el riesgo de pérdidas.

Otra tendencia importante es el enfoque en la reducción de costos y la mejora de la accesibilidad a las tecnologías de precisión. Hasta hace poco, el alto costo de los equipos y la infraestructura necesaria para implementar estas tecnologías ha sido una barrera significativa, especialmente para los pequeños agricultores. Sin embargo, se están desarrollando soluciones más accesibles y modelos de negocio innovadores, como el "agtech-as-a-service", que permiten a los agricultores pagar por el uso de tecnología avanzada mediante suscripciones, eliminando la necesidad de una gran inversión inicial. Según Sharp (2024), este modelo está facilitando la adopción de tecnologías de precisión entre pequeños y medianos agricultores, especialmente en regiones donde los recursos financieros son limitados.

Además, las alianzas estratégicas entre instituciones académicas y empresas tecnológicas están desempeñando un papel crucial en el avance de la agricultura de precisión. Estas colaboraciones permiten que las innovaciones tecnológicas lleguen al campo de manera más rápida y eficiente, ofreciendo soluciones adaptadas a las necesidades específicas de los agricultores. Por ejemplo, el trabajo conjunto entre IBM y agricultores en Texas ha resultado en herramientas de gestión del agua que utilizan IA para optimizar el riego en regiones afectadas por sequías y otros efectos del cambio climático (IBM, 2023). Este tipo de colaboración no solo acelera la innovación, sino que también garantiza que las tecnologías desarrolladas sean prácticas y útiles en el entorno agrícola real.

En cuanto al futuro de la agricultura vertical y otras tecnologías regenerativas, estas se están consolidando como un complemento ideal para la agricultura de precisión. La agricultura vertical, que permite el cultivo de plantas en entornos controlados y en espacios reducidos, es particularmente relevante en áreas urbanas y en regiones con recursos hídricos limitados. Estas tecnologías están diseñadas para maximizar la eficiencia en el uso de recursos como el agua y la energía, mientras minimizan la necesidad de insumos como pesticidas y fertilizantes. Además, la integración de IA y big data en la agricultura vertical promete aumentar la productividad de estos sistemas, permitiendo ciclos de cultivo más rápidos y mejor controlados. Según McKinsey (2023), la agricultura vertical tiene el potencial de convertirse en un pilar fundamental en la producción sostenible de alimentos en áreas densamente pobladas, complementando las prácticas tradicionales de la agricultura de precisión.

El futuro de la agricultura de precisión también se ve influenciado por el desarrollo de nuevas políticas y marcos regulatorios que apoyen la adopción de estas tecnologías. A medida que las autoridades gubernamentales reconocen la importancia de la digitalización en la agricultura, se están implementando más incentivos y subsidios para facilitar el acceso a tecnologías avanzadas. Políticas orientadas a la sostenibilidad y la eficiencia en el uso de recursos, como el agua y la energía, también están impulsando la investigación en tecnologías que no solo mejoren la productividad, sino que también reduzcan la huella ambiental del sector agrícola (Karunathilake et al., 2023).

Finalmente, el impacto de la IA generativa en la agricultura está comenzando a explorarse con mayor profundidad. Estas tecnologías no solo pueden ayudar en el análisis de grandes conjuntos de datos, sino que también tienen el potencial de revolucionar áreas como el diseño de semillas y la gestión de cultivos. Al utilizar IA generativa, los investigadores pueden analizar datos genéticos de diferentes variedades de cultivos y diseñar soluciones personalizadas para mejorar la resistencia a plagas, la tolerancia a la sequía y el rendimiento general de los cultivos. Esta capacidad de la IA para generar nuevas soluciones a partir de grandes volúmenes de datos promete acelerar el ritmo de la innovación en el sector agrícola (McKinsey, 2023).

En resumen, el futuro de la agricultura de precisión está intrínsecamente ligado al desarrollo y adopción de tecnologías avanzadas como la IA, el big data y la agricultura vertical. Estas herramientas no solo mejorarán la eficiencia y la sostenibilidad de las prácticas agrícolas, sino que también ofrecerán soluciones a algunos de los desafíos más apremiantes del sector, como el cambio climático y la creciente demanda mundial de alimentos.

#### **4. Discusión**

La agricultura de precisión ha emergido como un enfoque esencial para enfrentar los desafíos actuales del sector agrícola, tales como la creciente demanda de alimentos y la sostenibilidad ambiental. A través de la integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA), el big data y el Internet de las cosas (IoT), los agricultores ahora tienen la capacidad de tomar decisiones más informadas y en tiempo real, lo que ha transformado la manera en que gestionan sus cultivos y recursos (Karunathilake et al., 2023). No obstante, a pesar de sus múltiples beneficios, la adopción de estas

tecnologías no ha sido homogénea en todo el mundo, lo que presenta una serie de desafíos tanto económicos como estructurales.

Uno de los aspectos más discutidos es el alto costo de las tecnologías de precisión, lo que sigue siendo una barrera significativa, particularmente para los pequeños agricultores. A pesar de los avances en la accesibilidad a estas herramientas, el costo inicial de adquisición de sensores, drones y sistemas de riego automatizado continúa siendo prohibitivo para muchos productores. Según Sharp (2024), modelos como el "agtech-as-a-service" están comenzando a aliviar este problema, permitiendo que los agricultores paguen por el uso de estas tecnologías sin necesidad de realizar una inversión considerable al inicio. Sin embargo, se requiere una expansión más generalizada de este tipo de modelos para que la agricultura de precisión se convierta en una opción viable para una mayor cantidad de productores.

La falta de infraestructura adecuada también es una preocupación importante en la discusión sobre la adopción generalizada de estas tecnologías. En muchas regiones rurales, la conectividad a internet y la infraestructura de telecomunicaciones son insuficientes, lo que limita la capacidad de los agricultores para utilizar herramientas basadas en el IoT y el análisis de big data (Higgins et al., 2017). La adopción efectiva de la agricultura de precisión requiere un acceso constante a redes de comunicación para monitorear en tiempo real las condiciones del cultivo y el suelo, pero esta necesidad aún no ha sido cubierta en muchas partes del mundo. A pesar de los avances en soluciones de conectividad satelital y redes privadas, como señala Karunathilake et al. (2023), la expansión de la infraestructura digital sigue siendo un prerrequisito crucial para la adopción de estas tecnologías en áreas rurales.

Otro desafío clave es la brecha de conocimiento técnico. La agricultura de precisión exige un alto nivel de competencia técnica para operar y mantener los equipos, lo que no siempre está al alcance de los agricultores, especialmente en regiones donde la educación tecnológica es limitada. Esta falta de capacitación puede llevar a un uso ineficiente de las tecnologías disponibles, y también puede aumentar la dependencia de terceros para la operación de los sistemas, lo que incrementa los costos operativos y disminuye la viabilidad a largo plazo de estas tecnologías (De Baerdemaeker, 2013). En este sentido, la colaboración entre instituciones académicas y empresas tecnológicas es crucial para cerrar esta brecha, al proporcionar formación técnica y facilitar la transferencia de conocimientos directamente a los agricultores (IBM, 2023).

A pesar de estos desafíos, el futuro de la agricultura de precisión es prometedor. La integración de tecnologías avanzadas como la IA y el big data está abriendo nuevas oportunidades para la automatización y optimización de los sistemas agrícolas. Estas herramientas no solo permiten una gestión más eficiente de los recursos, sino que también mejoran la resiliencia del sector agrícola frente al cambio climático y otros factores externos. Según McKinsey (2023), la IA generativa tiene el potencial de revolucionar la investigación en genética de cultivos, acelerando el desarrollo de variedades más resistentes y productivas, lo que podría tener un impacto transformador en la seguridad alimentaria mundial.

Además, el desarrollo de tecnologías regenerativas, como la agricultura vertical, complementa la agricultura de precisión al ofrecer soluciones sostenibles para áreas con limitaciones de espacio y recursos hídricos. Estas tecnologías permiten maximizar

la eficiencia en el uso de recursos mientras se minimiza el impacto ambiental, lo que es especialmente relevante en áreas urbanas y regiones con escasez de agua (Sharp, 2024).

En síntesis, la agricultura de precisión ofrece un camino claro hacia una producción agrícola más eficiente y sostenible, pero su adopción enfrenta varios desafíos que deben abordarse. Los altos costos, la falta de infraestructura y la brecha de conocimientos técnicos son barreras que, aunque importantes, pueden superarse con políticas públicas adecuadas, mayor inversión en infraestructura digital y modelos de negocio más accesibles. A medida que estas tecnologías avanzan y se vuelven más accesibles, es probable que la agricultura de precisión se consolide como una práctica estándar en el sector agrícola global.

## 5. Conclusiones

La agricultura de precisión ha demostrado ser un enfoque transformador para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la producción agrícola. La integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial y el análisis de big data permite una gestión más precisa de los recursos, optimizando el uso de agua, fertilizantes y pesticidas, al mismo tiempo que se mejora la resiliencia frente a desafíos ambientales. Sin embargo, su adopción generalizada enfrenta barreras significativas, como los altos costos iniciales, la falta de infraestructura en áreas rurales y la brecha en la capacitación técnica. A pesar de estos obstáculos, las soluciones innovadoras, como los modelos de negocio basados en servicios tecnológicos y las colaboraciones entre instituciones académicas y el sector privado, están abriendo nuevas oportunidades para ampliar el acceso a estas tecnologías.

El futuro de la agricultura de precisión parece estar estrechamente ligado a la evolución de tecnologías regenerativas y sostenibles, como la agricultura vertical, que complementarán los avances actuales. Estas tendencias permitirán abordar desafíos clave, como la escasez de recursos hídricos y la creciente demanda mundial de alimentos, mientras se minimiza el impacto ambiental. A medida que las políticas públicas apoyen la expansión de la digitalización en el sector agrícola y las tecnologías continúen evolucionando, la agricultura de precisión tiene el potencial de convertirse en una herramienta fundamental para lograr una producción agrícola más eficiente, equitativa y sostenible a nivel global.

## Referencias Bibliográficas

- Arellanes, P., & Lee, D. R. (2003). The determinants of adoption of sustainable agriculture technologies: Evidence from the hillsides of Honduras. *American Journal of Agricultural Economics*, 85(4), 943-957. <https://doi.org/10.1111/1467-8276.00497>
- Armendariz Sandoval, S. (2021). Influencia del diésel en el sector agrícola del Cantón Quinindé: Perspectivas económica. *Journal of Economic and Social Science Research*, 1(3), 1–13. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v1/n3/33>

- Caicedo-Aldaz, J. C., & Herrera-Sánchez, D. J. (2022). El Rol de la Agroecología en el Desarrollo Rural Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 1(2), 1-16. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n2/24>
- Caicedo-Aldaz, J. C., Urgiles-Solorzano, A. S., & Moreira-Santamaria, M. J. (2022). Análisis del impacto económico de la reducción de precios del sector cacaoero, La Concordia 2019-2021. *Journal of Economic and Social Science Research*, 2(1), 1–17. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v2/n1/43>
- Choez-Calderón, C. J., & Montero de la Cueva, J. V. (2022). Gestión tecnológica y mejora de la productividad en la hacienda La Perla. *Journal of Economic and Social Science Research*, 2(2), 29–40. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v2/n2/50>
- De Baerdemaeker, J. (2013). Precision agriculture technology and its applications. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(3), 231-238. <https://doi.org/10.3182/20130327-3-JP-3017.00003>
- GAO. (2023). *Precision Agriculture: Benefits and Challenges for Technology Adoption and Use*. <https://www.gao.gov>
- García-Osorio, N. E. (2022). Evaluación de la rentabilidad del sector agrocaocero de La Concordia ante la disminución de precios en el periodo 2019-2021. *Journal of Economic and Social Science Research*, 2(3), 53–66. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v2/n3/57>
- González-Marcillo, R. L., Guamán-Rivera, S. A., Guerrero-Pincay, A. E., & Ortiz-Naveda, N. R. (2023). Pastos Tropicales de la Amazonia Ecuatoriana Tomo I: Avances científicos sobre sistemas silvopastoriles como estrategia de reconversión de la ganadería. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.46>
- Guamán-Rivera, S. A. (2022). Desarrollo de Políticas Agrarias y su Influencia en los Pequeños Agricultores Ecuatorianos. *Revista Científica Zambos*, 1(3), 15-28. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n3/30>
- Higgins, A. J., Thorburn, P., & Lamb, D. W. (2017). Modelling and decision support in agricultural systems: Applications and current challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 130, 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.11.015>
- IBM. (2023). *AI and the future of agriculture*. <https://www.ibm.com>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2007). *Agricultura de precisión: nuevas herramientas para mejorar la gestión tecnológica en la empresa agropecuaria*. San José, Costa Rica: IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/7642>
- Karunathilake, E. M. B. M., Le, A. T., Heo, S., & Chung, Y. S. (2023). The Path to Smart Farming: Innovations and Opportunities in Precision Agriculture. *Agriculture*, 13(8), 1593. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081593>
- McKinsey. (2023). *How generative AI in agriculture could shape the industry*. <https://www.mckinsey.com>
- Montero-de-la-Cueva, J. V., & Caicedo-Aldaz, J. C. (2022). Efectos económicos de la enfermedad del cogollo en la cadena productiva de la palma aceitera. *Journal of Economic and Social Science Research*, 2(3), 13–25. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v2/n3/54>

- Naspetti, S., Lampkin, N., & Stolze, M. (2017). Influences on the intention to adopt sustainable agricultural practices: Empirical evidence from the European Union. *Ecological Economics*, 139, 84-94. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.04.019>
- Prado Chinga, A. E. (2021). Estrategias Tecnológicas y Modernización en la Administración de la Hacienda "La Perla", La Concordia: desde la perspectiva teórica. *Journal of Economic and Social Science Research*, 1(4), 43–55. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v1/n4/41>
- Prado-Chinga, A. E. (2022). Análisis comparativo del desempeño laboral en empresas de compra y venta de cacao en Quinindé: un enfoque en las PYMES. *Journal of Economic and Social Science Research*, 2(2), 57–69. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v2/n2/52>
- Rojas, F. E., & Saavedra-Mera, K. A. . (2022). Diversificación de Cultivos y su Impacto Económico en las Fincas Ecuatorianas. *Revista Científica Zambos*, 1(1), 51-68. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n1/21>
- Rosas Leutenegger, M., & Villasana López, P. (2019). Adopción de tecnologías en sistemas de producción agroalimentario: Una revisión de literatura. *RIVAR. Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile*. <http://dx.doi.org/10.35588/rivar.v9i26.5575>
- Saavedra-Mera, K. A. (2021). Impacto económico de la pudrición del cogollo (phytophthora palmivora) de palma aceite, cantón La Unión. *Journal of Economic and Social Science Research*, 1(2), 38–49. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v1/n2/30>
- Sharp, N. (2024). Agtech adoption: what are the barriers? *ESCATEC*. <https://www.escatec.com>
- Vera Chang, J. F., Barzola Miranda, S. E., & Álvarez Aspiazu, A. A. (2024). Procesamiento y conservación de frutas y hortalizas. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.84>

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.