

Innovación en agricultura de precisión: panorama de patentes

*Gabriela Valarezo Álvarez*¹
*Gisselle Soto Minchalo*²
*Francisco Álvarez Arévalo*³

¹CEDIA, Unidad de Vigilancia Tecnológica, Cuenca, Ecuador,
<https://orcid.org/0009-0005-9629-203X>
gabriela.valarezo@cedia.org.ec

²CEDIA, Unidad de Vigilancia Tecnológica, Cuenca, Ecuador,
<https://orcid.org/0000-0001-8210-4089>
gisselle.soto@cedia.org.ec

³CEDIA, Unidad de Vigilancia Tecnológica, Cuenca, Ecuador,
<https://orcid.org/0009-0000-1526-8307>
*francisco.alvarez@cedia.org.ec

DOI: 10.61854/rccedia.v1n1.004

Enviado: 5 de marzo de 2026

Aprobado: 06 de abril de 2026

Publicado: martes 14 de julio de 2026



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Resumen

El objetivo de este estudio fue caracterizar, mediante patentometría, la dinámica tecnológica asociada a la agricultura de precisión a partir de solicitudes internacionales, identificando tendencias temporales, jurisdicciones de protección, solicitantes líderes y áreas técnicas dominantes. Se realizó un estudio observacional de corte transversal (2025) siguiendo las directrices de la OMPI para informes de panorama de patentes. Se consultó Espacenet y se aplicó una estrategia amplia basada en códigos IPC/CPC y filtros textuales en el título o el resumen, con restricción a solicitudes PCT y una ventana entre 2005 y 2025. La depuración redujo 39 996 registros iniciales a 1 497 documentos PCT y a 1 367 documentos posteriores a 2005, lo que sugiere que gran parte del estado de la técnica circula por rutas nacionales y que el subconjunto PCT concentra invenciones con aspiración global. La serie temporal mostró aceleración desde 2013 y un punto de inflexión en 2017; el crecimiento tendencial se respaldó con un CAGR de 7,29 % (de 2014 a 2024), aunque los modelos de pronóstico reflejaron sensibilidad a los últimos años por el desfase de publicación. La protección se concentró en Estados Unidos, China y la vía europea, con un liderazgo fragmentado, una convivencia de universidades y empresas y con un núcleo tecnológico centrado en gestión y soporte a decisiones, sensado remoto e inteligencia artificial y ejecución en el campo. Se concluye que el ámbito se mantiene en expansión y ofrece oportunidades de diferenciación por integración, interoperabilidad y validación operativa.

Palabras clave:

*gestión del conocimiento, interoperabilidad,
internet de las cosas, propiedad intelectual,
teledetección.*

Introducción

A lo largo de la historia, la agricultura ha sido un eje central en el desarrollo humano. La agricultura tradicional, basada en prácticas manuales, la domesticación de plantas y animales, se conoce como agricultura 1.0. Con la revolución industrial, se incorporó maquinaria a los campos y, con la revolución verde, aumentó el uso de fertilizantes químicos, pesticidas y semillas mejoradas, alcanzando la agricultura 2.0. A mediados de la década de 1990, comenzó una fuerte introducción de las primeras tecnologías de la información con el uso de sensores básicos y monitoreo satelital; además, se dieron importantes avances en biotecnología agrícola, alcanzando la agricultura 3.0 (Herrera & García-Bertrand, 2018; Viola & Mendes, 2022).

En la actualidad, continúa la incorporación entre el sector tecnológico y el análisis de datos, pero de una forma mucho más amplia, con tecnología de vanguardia y sistemas avanzados. Esto ha dado lugar a la agricultura 4.0 o de precisión, caracterizada por la integración de robótica, inteligencia artificial, internet de las cosas y automatización con el fin de obtener una producción más eficiente y sostenible (Santos Valle & Kienzle, 2020). En paralelo, estos avances presentan ciertos desafíos sin precedentes para la agricultura.

Actualmente, la agricultura enfrenta una crisis global que se ve impulsada por varios factores interrelacionados, incluyendo el crecimiento de la población, el agotamiento de los recursos naturales y los efectos del cambio climático. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se estima que la población mundial podría alcanzar los 9 700 millones de personas para el año 2050 y 10 800 millones para 2080.

Este aumento demográfico ejercerá una presión considerable sobre los sistemas de producción agrícola (FAO, 2018).

Ante este panorama desafiante, la agricultura de precisión se presenta como una innovación transformadora en la gestión de los recursos agrícolas. La agricultura de precisión o agricultura 4.0 involucra un análisis exhaustivo de datos y la aplicación de herramientas tecnológicas avanzadas, cuyo objetivo es maximizar la productividad agrícola, reducir el impacto ambiental y fomentar la sostenibilidad (Getahun y otros, 2024). Su implementación ha demostrado beneficios concretos en múltiples frentes. La agricultura de precisión no solo optimiza la eficiencia de los sistemas agrícolas, sino que también aborda desafíos globales críticos, tales como la seguridad alimentaria, la conservación de los recursos naturales y la resiliencia ante el cambio climático.

Al integrar tecnologías como sensores, drones y sistemas de información geográfica, los datos generados permiten a los agricultores tomar decisiones informadas que mejoran tanto el rendimiento de los cultivos como la salud del ecosistema. Así, la agricultura de precisión se posiciona como una solución vital para garantizar un futuro agrícola sostenible y responsable (Sanyaolu & Sadowski, 2024). Más allá de las tecnologías específicas que integra, lo relevante para este trabajo es que la masificación de estas soluciones ha generado un corpus creciente de invenciones protegibles, lo que abre la posibilidad de estudiar la dinámica del campo desde la evidencia patentaria.

En este contexto de digitalización acelerada, a medida que se masifican sensores, plataformas de datos y sistemas automatizados, se genera un volumen creciente de soluciones técnicas, mode-

los de negocio y actores que compiten, colaboran o se especializan en nichos concretos. Esto crea una necesidad metodológica clara: enfoques que permitan observar la evolución del campo con evidencia, identificar hacia dónde se mueve la innovación y distinguir qué desarrollos están más cerca de convertirse en aplicaciones productivas a gran escala.

Para abordar esa necesidad, se utilizan distintos indicadores que ayudan a aproximarse al progreso tecnológico y a su dinámica de adopción. Entre estos, el análisis de patentes ocupa un lugar relevante porque captura, de forma estructurada, información técnica y jurídica sobre invenciones, permite reconocer titulares de derechos, territorios donde se busca protección y trayectorias temporales de actividad innovadora (Moscatelli y otros, 2024). Además, debido a que patentar suele implicar costos, tiempo y un esfuerzo deliberado por proteger una ventaja, los registros de patentes pueden funcionar como señales tempranas de expectativas de explotación económica, especialmente cuando se observan patrones sostenidos de crecimiento en determinados subcampos o familias tecnológicas (Moscatelli y otros, 2024; Trippe, 2015).

Más allá de servir como termómetro de actividad inventiva, las patentes permiten construir lecturas estratégicas. Por un lado, facilitan comparaciones entre países, regiones o sectores en términos de intensidad de innovación, prioridades tecnológicas y orientación del desarrollo. Por otro, ayudan a mapear el ecosistema de actores, empresas, universidades, centros de investigación y agencias públicas, que están impulsando soluciones, así como a detectar posibles redes de colaboración o concentración de capacidades. En política pública o de planificación institucional,

estas evidencias pueden apoyar la definición de agendas tecnológicas, prioridades de inversión en investigación y desarrollo y enfoques de transferencia tecnológica más realistas (Trippe, 2015).

Concretamente, un análisis patentométrico en agricultura de precisión puede contribuir a, al menos, cuatro objetivos analíticos. Primero, caracterizar la evolución temporal del campo y sus subdominios, por ejemplo, monitoreo remoto, diagnóstico agronómico, dosificación variable, riego inteligente, gestión de datos, plataformas de apoyo a decisiones, maquinaria autónoma y sistemas de trazabilidad. Segundo, comparar dinámicas de protección por jurisdicción para inferir dónde se está intentando capturar valor y qué mercados se consideran prioritarios. Tercero, identificar actores líderes y su naturaleza institucional para entender la orientación del desarrollo, más cercana a investigación, a comercialización o a despliegue aplicado. Cuarto, aproximarse a la dimensión traslacional de la innovación, es decir, qué tan conectadas están las invenciones con implementaciones operativas, escalamiento y uso en condiciones reales de producción (World Intellectual Property Organization (WIPO), 2026).

A partir de lo anterior, el presente estudio se propone recuperar y depurar el panorama de patentes relacionado con agricultura de precisión y utilizar ese corpus para identificar madurez tecnológica, distribución geográfica, principales actores y dinámicas tecnológicas del campo. Con ello, se busca aportar una base empírica que complemente la discusión conceptual sobre agricultura 4.0 y que sirva como insumo para la toma de decisiones en investigación, desarrollo y transferencia tecnológica en el ámbito agrícola.

Métodos

Con el objetivo de garantizar el rigor técnico, la transparencia y la reproducibilidad de los resultados, el diseño metodológico (estudio observacional de corte transversal 2025) de este estudio se fundamenta estrictamente en las directrices internacionales establecidas por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI).

Específicamente, se ha adoptado el marco de trabajo descrito en el manual *Guidelines for Preparing Patent Landscape Reports* (Trippe, 2015). Este estándar plantea una estructura coherente que abarca desde la definición del alcance y las estrategias de búsqueda en bases de datos especializadas hasta la normalización de datos y la generación de indicadores analíticos que permiten una toma de decisiones informada. La aplicación de esta guía internacional permite mitigar sesgos en la recuperación de información y asegura que el procesamiento de las familias de patentes cumpla con los criterios de calidad exigidos en el ámbito científico y profesional de la propiedad intelectual industrial.

Alcance

Para la recuperación de documentos, se ha establecido a la OMPI mediante Tratado de Cooperación en Materia de Patentes (PCT) como el criterio de filtrado inclusivo y eje central de la búsqueda. El sistema PCT, administrado por la OMPI, permite solicitar protección de una invención en múltiples países mediante una única solicitud internacional. Esta tiene el mismo efecto que presentar solicitudes nacionales en los estados miembros. El PCT simplifica, centraliza y hace más eficiente en cuanto al costo el proceso, además de facilitar el examen por las oficinas

nacionales y la divulgación técnica de las invenciones (OMPI, 2026).

La selección de patentes tramitadas directamente ante esta oficina internacional responde a tres fundamentos metodológicos. Primero, las patentes OMPI están sujetas a estándares de solicitud de alta exigencia técnica. Segundo, su naturaleza internacional facilita la comparación estadística al basarse en condiciones de presentación estandarizadas, mitigando los sesgos derivados de las legislaciones particulares de oficinas nacionales. Finalmente, la solicitud en oficinas internacionales sugiere una invención con un potencial económico y alcance global significativamente mayor en comparación con solicitudes puramente locales (Trippe, 2015).

Escala temporal

El análisis abarca un periodo de 20 años cumplidos, comprendido entre 2005 y 2025. Esta ventana de observación permite identificar la evolución histórica y las tendencias emergentes en el campo de estudio. Es fundamental señalar que el volumen de patentes analizadas para el cierre del periodo (de 2024 a 2025) no refleja necesariamente la totalidad de las patentes solicitadas en esos años. Debido a la estructura institucional del procesamiento de propiedad intelectual, existe un desfase estándar de aproximadamente 18 meses entre la fecha de prioridad de la solicitud y su publicación oficial.

Por lo tanto, mientras que los datos hasta 2023 ofrecen una cobertura completa de la actividad de innovación, las cifras correspondientes a los últimos 18 meses del estudio representan una muestra parcial compuesta únicamente por

aquellas invenciones que ya han superado el periodo de confidencialidad y han sido liberadas al dominio público.

Base de datos

La ejecución de las consultas se realizó a través de la base de datos abierta Espacenet, de la Oficina Europea de Patentes. Esta plataforma fue seleccionada por ser considerada una de las herramientas de acceso público más robustas y con mayor cobertura a nivel mundial (OMPI, 2022). Su capacidad de integración de datos permite acceder a una vasta colección de documentos técnicos de diversas jurisdicciones, asegurando que la vigilancia tecnológica cuente con el espectro de información más amplio disponible en el estado de la técnica.

Estrategia de búsqueda

Se aplicó una estrategia de búsqueda deliberadamente amplia con el objetivo de capturar, con alta sensibilidad, la mayor parte del panorama tecnológico asociado a la agricultura de precisión. La consulta se estructuró combinando dos criterios complementarios. Primero, se utilizó un conjunto de códigos de clasificación IPC/CPC asociados a etapas, componentes e implicaciones de la agricultura de precisión (Tabla 1). Incluyendo, entre otros, actividades agrícolas y manejo de cultivos, fertilización y control fitosanitario, biotecnología aplicada, sensorización y medición, automatización y control, tecnologías de información y comunicaciones e indicadores vinculados a sostenibilidad.

Tabla 1
Códigos de clasificación IPC/CPC utilizados

Segmentación	Código	Área tecnológica
Agricultura	A01B	Labranza y trabajo del suelo en agricultura o silvicultura y accesorios de maquinaria agrícola.
Agricultura	A01C	Plantación, siembra y fertilización.
Agricultura	A01D	Cosecha, segado, recolección, manejo de cultivos en cosecha.
Agricultura	A01F	Procesamiento y manejo postcosecha, por ejemplo: trilla, empacado, almacenamiento de productos agrícolas, equipos asociados.
Agricultura	A01G	Horticultura, cultivo de vegetales, flores, arroz, frutales, viñas, silvicultura, riego.
Agricultura	A01H	Nuevas plantas, obtención de plantas, reproducción vegetal, cultivo de tejidos.
Agricultura	A01K	Ganadería y cría, avicultura, apicultura, piscicultura, pesca, nuevas razas o manejo animal.
Agricultura	A01M	Control físico de plagas (no químico).
Agricultura	A01N	Biocidas, repelentes/atrayentes de plagas, reguladores de crecimiento vegetal, pesticidas, herbicidas, etc.
Agricultura	A01P	Actividad biocida, repelente.
Fertilizantes	C05	Fertilizantes, su composición, fabricación y uso.
Bioteología	C12N	Microorganismos o enzimas, ingeniería genética, composiciones biotecnológicas, biología molecular aplicada.
Sensores y control	G01	Medición y ensayos, sensores e instrumentación.

Sensores y control	G05	Sistemas de control o regulación automática.
Sensores y control	G06	Computación o cálculo, procesamiento de datos, algoritmos (desde software hasta IA aplicada).
Sensores y control	G07	Dispositivos y métodos de “checking”, registro, conteo, control administrativo o validación.
TIC	G16Y	Internet of Things, IoT.
TIC	G16Z	Informática para dominios de aplicación específicos, incluye agricultura.
Comunicaciones	H04B	Transmisión, sistemas de comunicación eléctrica según el medio o trayectoria de propagación, abarca distintos tipos de transmisión.
Comunicaciones	H04L	Transmisión de información digital, protocolos, comunicaciones de datos, telegráficas digitales, etc.
Sostenibilidad	Y02A	Tecnologías para adaptación al cambio climático.
Sostenibilidad	Y02D	TIC cuyo propósito es reducir su propio consumo energético.
Sostenibilidad	Y02P	Mitigación de cambio climático en procesos de producción o procesamiento de bienes; incluye agroindustria, agricultura, pesca y similares.

Segundo, para asegurar la pertinencia temática de los resultados, se incorporó un filtro textual que exigió la presencia de términos relacionados con agricultura y con enfoques de precisión en el título o resumen, utilizando palabras clave

en inglés y truncamientos para cubrir variaciones morfológicas. De esta manera, se equilibró la amplitud de cobertura con un control mínimo de relevancia, reduciendo la inclusión de documentos ajenos al dominio de agricultura de precisión.

Tabla 2*Palabras clave utilizadas por bloque temático*

Bloque	Temática	Palabras clave
Enfoque tecnológico	Precisión	preci?ion; sustainab*; smart; remote*
Aplicación	Agricultura	agricult*; farm*; crop*; soil*

Análisis de datos

Para la evaluación prospectiva y la proyección de tecnologías, se aplicaron los siguientes métodos de pronóstico: a) CAGR (Compound Annual Growth Rate): tasa compuesta de crecimiento anual que permite calcular el ritmo de crecimiento constante de una variable durante un período determinado; b) ARIMA (Autoregressive

Integrated Moving Average): modelo estadístico que combina componentes autorregresivos, de promedio móvil e integración; c) ETS (Error, Trend, Seasonality): modelo de pronóstico que descompone una serie temporal en sus componentes de error, tendencia y estacionalidad (Chatfield, 2001).

Resultados y discusión

Documentos recuperados

La Figura 1 muestra el proceso de depuración con la estrategia definida anteriormente, mediante filtros sucesivos, diseñado para reducir

ruido, acotar el alcance y conservar únicamente registros comparables y pertinentes para el análisis posterior.

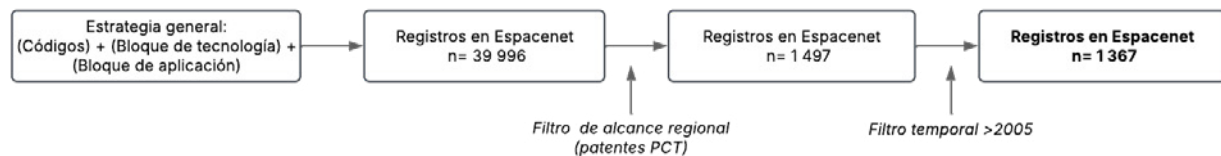


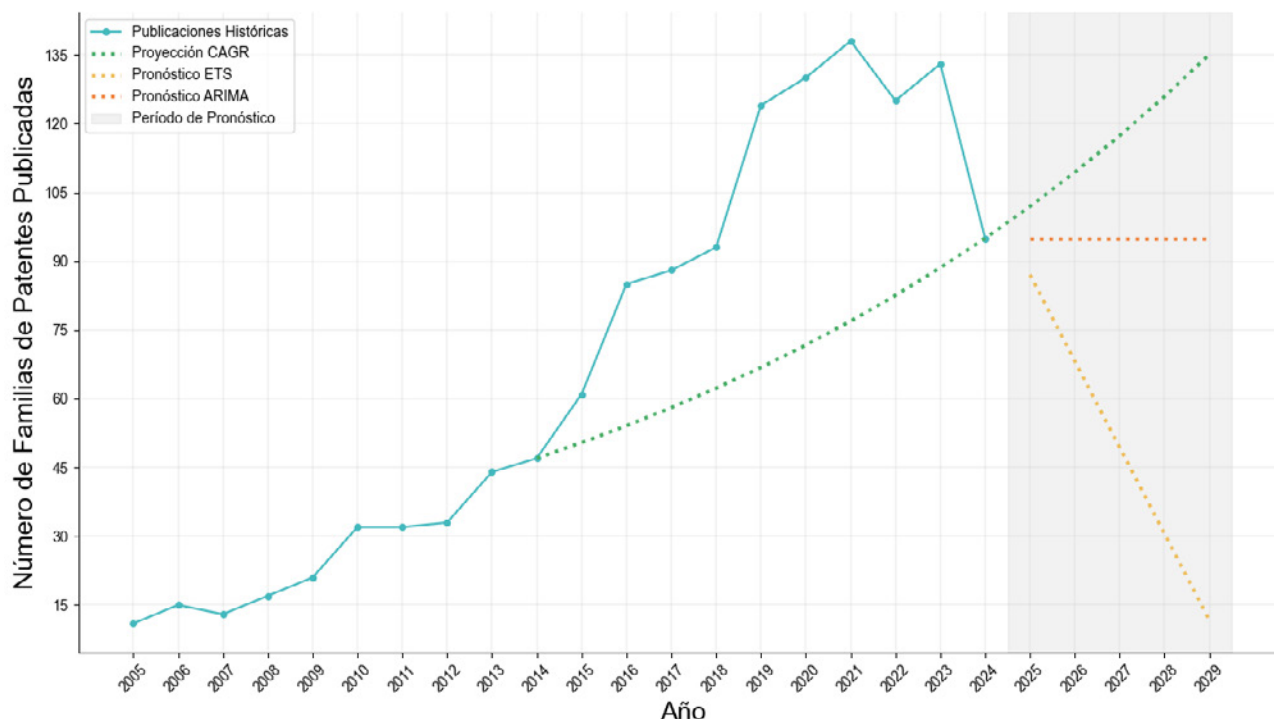
Figura 1

Resultados obtenidos de Espacenet

La figura evidencia, en una primera consulta amplia, la combinación de códigos y términos que arrojó 39 996 registros al aplicar el filtro de alcance regional. Al restringir a patentes PCT, el universo se reduce a 1 497 documentos, es decir, aproximadamente el 3,74 % del total inicial. Esta caída sugiere que una parte importante del estado de la técnica se concentra en rutas nacionales, mientras que la fracción retenida tiende a representar invenciones con vocación de mercado global. Finalmente, el filtro temporal posterior a 2005 reduce el conjunto a 1 367 documentos, manteniendo cerca del 91,3 % del subconjunto PCT. Esto indica una estabilidad relativa de la actividad reciente dentro del canal PCT, alineada con ciclos actuales de innovación y con condiciones regulatorias contemporáneas.

Evolución tecnológica

La evolución y el pronóstico tecnológico analizan la trayectoria temporal del campo a partir de la actividad patentaria, entendida como un indicador observable de invención aplicada, intensidad de I+D y consolidación industrial. Se examinan patrones de crecimiento, cambios de fase y señales de estabilización o aceleración y se incorporan líneas de tendencia y modelos de pronóstico para estimar la dinámica futura. Este enfoque permite sustentar, con evidencia cuantitativa, el nivel de madurez y el margen de expansión del área tecnológica (Trippe, 2015).



*El CAGR indica la tasa de crecimiento promedio asumiendo un crecimiento acumulado.

** El modelo ARIMA proyecta valores futuros considerando patrones históricos y tendencias.

*** El modelo ETS descompone la serie para prever tendencias y nivel, adaptándose a cambios.

**** La Tasa de Crecimiento Anual Compuesta (CAGR) es de 7.29% para el período 2014-2024.

Figura 2

Evolución y pronósticos tecnológicos de agricultura de precisión

La Figura 2 sugiere un campo que pasó de una fase de exploración, con soluciones puntuales, hacia una etapa de aceleración impulsada por la convergencia de avances tecnológicos. Las fluctuaciones interanuales, lejos de indicar inestabilidad estructural por sí mismas, suelen asociarse a ciclos de inversión, cambios de enfoque tecnológico y, sobre todo, a rezagos de publicación y a la maduración de familias de patentes, por lo que los descensos recientes deben leerse con cautela antes de interpretarlos como declive.

Históricamente, la evolución tecnológica en la agricultura se ha desarrollado de manera

gradual. Desde la domesticación de plantas y animales hace aproximadamente 10 000 años hasta la mecanización del siglo XIX y la revolución verde del siglo XX, el sector ha experimentado saltos tecnológicos cruciales, aunque espaciados en el tiempo. Sin embargo, la agricultura de precisión representa una disrupción reciente de carácter exponencial. A partir de la incorporación de tecnologías digitales, sensores remotos, inteligencia artificial y sistemas automatizados, se ha desencadenado un nuevo ciclo de innovación intensiva, como lo evidencia el notable incremento en la actividad patentaria

desde la última década (Klerkx y otros, 2019).

La trayectoria histórica registrada en la gráfica muestra una transición desde una base modesta de publicaciones de patentes hacia una expansión significativa a partir de 2013, con un punto de inflexión visible en 2017. Esta trayectoria ascendente se alinea con la reducción de costos y el aumento del uso de tecnologías como sensores remotos, sistemas de información geográfica, vehículos aéreos no tripulados y modelos de análisis espacial. Este crecimiento está asociado con su amplio rango de aplicaciones en agricultura de precisión, desde el mapeo de suelos, riego o fumigación y predicción de rendimientos hasta el monitoreo en tiempo real de variables climáticas.

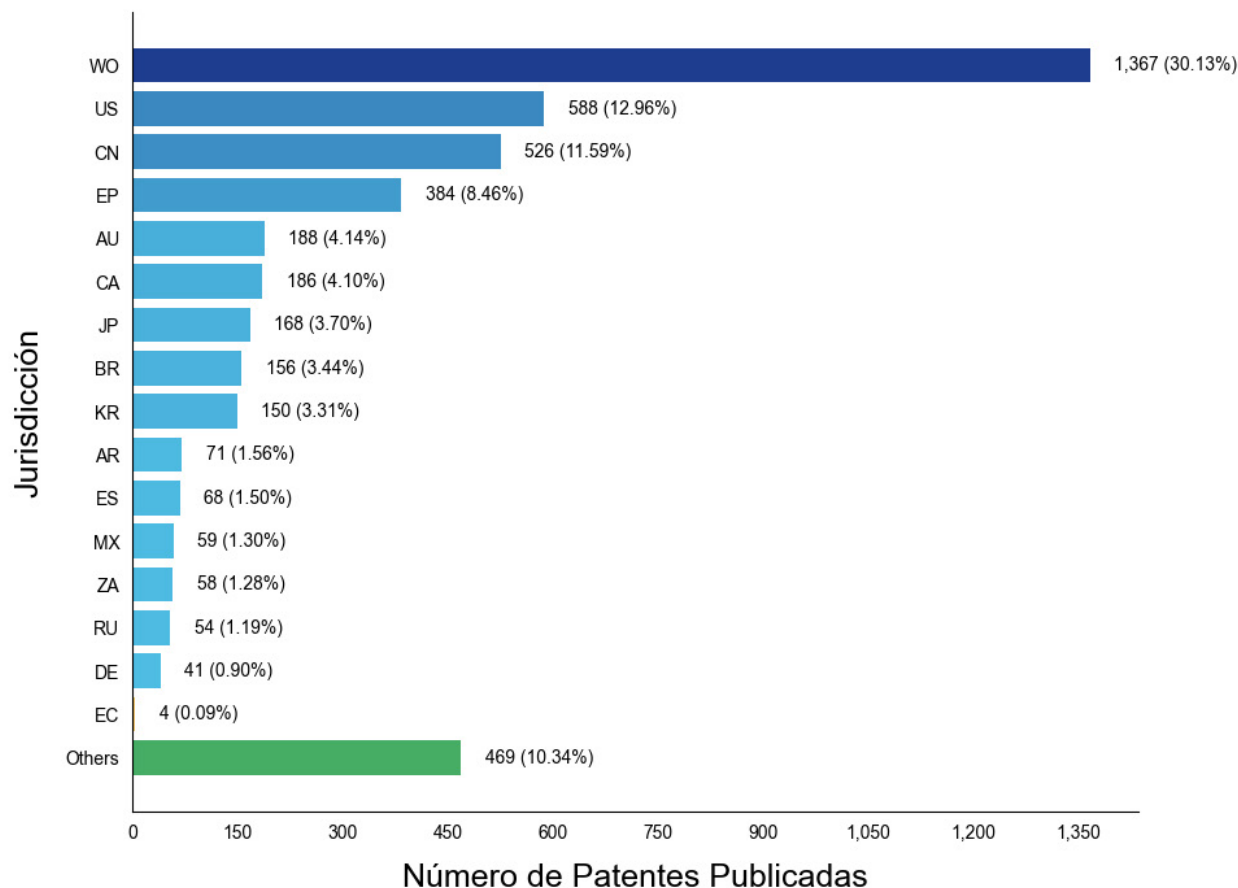
Las fluctuaciones interanuales recientes generan un pronóstico incierto entre estabilidad y descenso. Esta tendencia podría explicarse por las mayores exigencias regulatorias asociadas al desarrollo de productos basados en nanopartículas y organismos biológicos, así como por la necesidad de validaciones más extensas antes de alcanzar el mercado (Kah y otros, 2018; Krieger, 2015). Además, la madurez tecnológica alcanzada en este campo, con al menos 35 años de evolución, ha permitido su escalabilidad comercial, facilitando la generación de innovaciones protegibles a través de patentes (Mulla, 2013).

En términos de pronóstico, la línea CAGR (7,29 % de 2014 a 2024) respalda un crecimiento tendencial del campo, coherente con la

expansión de tecnologías habilitadoras y con el empuje regulatorio y de política pública hacia la digitalización e innovación en la agricultura (Banco Mundial, 2025). La divergencia entre modelos (ETS sugiere estabilización y ARIMA un descenso más fuerte) apunta a la sensibilidad del pronóstico en los últimos años, lo que es típico cuando el sistema entra en una fase de madurez con competencia alta.

Distribución jurisdiccional de protección

El análisis de la distribución geográfica de la producción tecnológica se realiza desde la perspectiva de las jurisdicciones de protección intelectual, más que de los países en sí mismos (Trippe, 2015). Aunque la segmentación del estudio se limita a familias tramitadas vía PCT, esta gráfica se orienta a comprender en qué jurisdicciones se nacionalizan las invenciones, es decir, dónde las personas solicitantes deciden convertir la solicitud internacional en derechos exigibles. Este enfoque resulta fundamental, dado que la elección de una jurisdicción determina el alcance legal y estratégico de la protección de una invención. Identificar en qué territorios se concentran las solicitudes de patentes permite reconocer no solo los mercados más dinámicos, sino también los espacios en los que se anticipa un mayor nivel de competencia o demanda futura.



* Ecuador # Rango 46 (Número de Patentes Publicadas en Ecuador: 4)

** "WO" indica que la publicación de la patente es internacional bajo el Tratado de Cooperación en Materia de Patentes (PCT), administrado por la OMPI.

*** "EP" indica que la publicación de la patente corresponde a la Oficina Europea de Patentes (EPO), gestionada por el Convenio sobre la Patente Europea, cubriendo protección en sus estados miembros.

Figura 3

Distribución por jurisdicciones en agricultura de precisión

La distribución por jurisdicción muestra dónde las invenciones en agricultura de precisión tienden a nacionalizarse tras la vía PCT, lo que suele reflejar tanto capacidad de I+D como expectativas de mercado y de apropiación comercial. Los liderazgos de Estados Unidos (US) y China (CN) sugieren que la frontera tecnológica se disputa en ecosistemas con alto dinamismo industrial, amplia base de adopción de tecnolo-

gías digitales y cadenas de valor agroindustriales capaces de escalamiento industrial. El peso de la EP (Oficina Europea de Patentes) refuerza que Europa se mantiene como un espacio relevante de protección, asociado a mercados exigentes y a marcos regulatorios y de estandarización que pueden elevar barreras de entrada y condicionar requisitos de interoperabilidad, trazabilidad y desempeño (Comisión Europea, 2025).

En Estados Unidos, el portafolio recuperado sugiere que la frontera tecnológica de la agricultura de precisión se está consolidando alrededor de tres ejes que se reflejan también en los CPC más frecuentes del conjunto. Primero, la toma de decisiones agronómicas basada en modelos y datos se observa en soluciones de soporte a riego que integran clima, cultivo y variables del suelo para generar recomendaciones operativas (Mewes, 2018). Segundo, la delimitación inteligente del campo y la prescripción aparece en enfoques que combinan teledetección e inteligencia artificial con inventarios edafológicos a gran escala (J. G. White y otros, 2023), en análisis multianual de rendimiento para mapas de prescripción y aplicaciones a tasa variable (Hunt, 2017). Tercero, hay una trayectoria clara hacia la automatización y la sensorización cercana, desde teledetección robótica con sistemas multispectrales para monitoreo en campo (Kumar y otros, 2019) hasta implementos modulares instrumentados para labores y captura de datos (Antle y otros, 2024).

En China, el panorama de patentes muestra una concentración fuerte en infraestructura digital para *smart agriculture*, con énfasis en conectividad, plataformas y control, además de teledetección y algoritmos, alineada con la combinación de códigos G06Q50 y bloques de visión e IA como G06V10, G06T7, G06T2207 y G06N3. Un ejemplo representativo es el control de maquinaria agrícola mediante terminales, posicionamiento satelital y arquitectura de mensajería para integrar los datos con interfaces ministeriales o plataformas de gestión (Pan y otros, 2021). También aparecen métodos de gestión que integran variables agronómicas con información meteorológica y, de forma interesante, variables económicas como precios, para apoyar decisiones como el momento de cosecha (Du, 2018). Complementariamente, se observan diseños orientados a redes de sensores y transmisión robusta en campo, como arquitec-

turas con *gateway* LoRa para monitoreo remoto y control de operaciones (Cai y otros, 2024).

La presencia de familias que han ingresado a la Oficina Europea de Patentes sugiere una estrategia de protección orientada a mercados de alto valor y competencia regulada. En conjunto, los códigos dominantes en esta jurisdicción reflejan un campo donde la frontera tecnológica se mueve por la convergencia entre software de gestión y decisión en agricultura; sensado, analítica y diagnóstico; mecanización y operación de labores, y adaptación y sostenibilidad (Y02A40, A01B79, G06Q50, A01C21, G06Q10, G01N33, A01C7). Esta combinación es consistente con la prioridad europea por digitalizar el sector agroalimentario y escalar prácticas eficientes (FAO, 2018).

Por ejemplo, se observan enfoques de apoyo a decisiones y gestión de zonas agronómicas apoyadas en teledetección e inteligencia artificial (J. White y otros, 2023), junto con componentes de operación y control en campo, como controladores de guiado para agricultura de precisión (Mortimer y otros, 2018) o el uso de dispositivos móviles como interfaz operacional para el agricultor (Ramachandran & Villela, 2022).

En un segundo bloque aparecen jurisdicciones como Australia (AU), Canadá (CA), Japón (JP) y Corea (KR), que suelen actuar como mercados tecnológicamente sofisticados y de alto valor, donde la protección puede estar vinculada a nichos de mecanización avanzada, robótica agrícola y soluciones de gestión de datos. La presencia de Brasil (BR), junto con Argentina (AR) y México (MX), sugiere interés por capturar valor en Latinoamérica, especialmente en agricultura extensiva y cadenas de exportación, aunque con una intensidad menor frente a los líderes. Ecuador no aparece entre las principales jurisdicciones del conjunto, lo que funciona como señal de baja prioridad de nacionalización en el país dentro de estas familias.

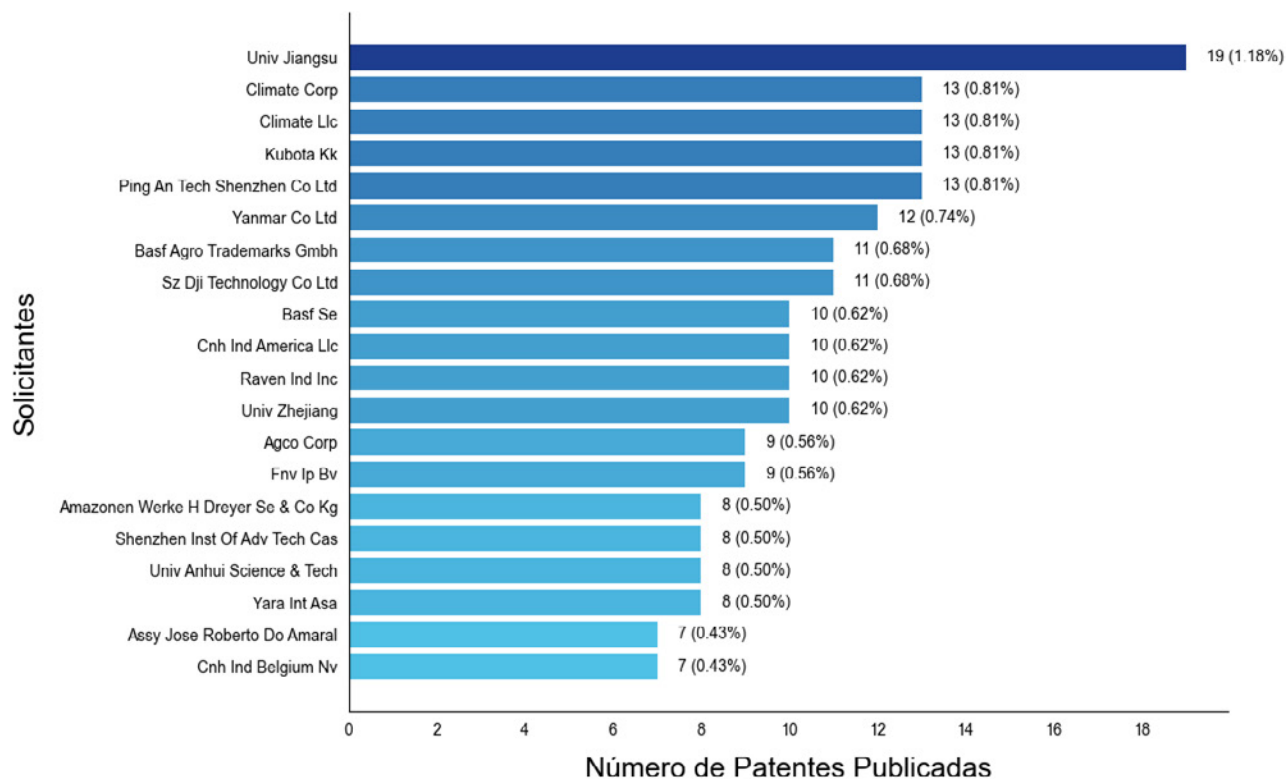
Cuando se observa la extensión hacia jurisdicciones latinoamericanas, específicamente Brasil y México, el patrón suele ser más selectivo y orientado a mercados agrícolas específicos, con fuerte peso de adaptación local, costos y protección de soluciones directamente desplegables en campo. México muestra ejemplos de sistemas productivos protegidos, enfocados en agricultura protegida y en el manejo de suelos y plantas (Eguiluz & Villegas, 2015). También se orienta a esquemas de liberación de productos para control biológico de plagas mediante dispensadores acoplados a vehículos, tripulados o no tripulados (De Oliveira Machado & Rodwell, 2022). Brasil aparece asociado a soluciones con aplicación directa en operaciones y sostenibilidad, por ejemplo, métodos de barrera perimetral para control de insectos en cultivos (Carvalho & Joelcio, 2020). Este conjunto se alinea con la distribución CPC que privilegia A01B79 y A01C21, asociadas a operación agrícola y siembra, junto con G06Q50 para gestión y soporte a decisiones, y Y02A40 para resiliencia climática.

En el ámbito de la innovación en agrotecnologías en América Latina, el Laboratorio del Banco Interamericano de Desarrollo (BID Lab) identificó, en 2020, más de 450 sembríos activos, todos iniciados en los últimos cinco años. De estos, el 51 % se concentra en Brasil, el 23 % en Argentina y el 18 % en la Subregión

Andina (Viton y otros, 2020). Entre las áreas de digitalización de la industria agrícola de América Latina han destacado: software especializado, sensores digitales, drones, robots, vehículos autónomos, sistemas de mapeo territorial, GPS, tecnologías en la nube, internet de las cosas, big data, biotecnología, agricultura de precisión y otros (Galvez & Galvez, 2024).

Principales solicitantes de patentes

Los solicitantes de patentes pueden ser personas naturales o jurídicas, que cuentan con los derechos morales y comerciales de las solicitudes de patentes. Diferenciar la naturaleza de los solicitantes, sean empresas, universidades o instituciones gubernamentales, permite comprender las dinámicas de innovación, las estrategias de protección de conocimiento y los intereses que guían el desarrollo tecnológico. Asimismo, este análisis se vincula con la distribución geográfica de la producción intelectual, ya que los solicitantes suelen concentrarse en jurisdicciones estratégicas que reflejan prioridades de mercado y de protección internacional. De esta forma, el estudio de los principales solicitantes constituye un insumo clave para mapear la competencia, detectar posibles aliados y anticipar tendencias de transferencia tecnológica (Trippe, 2015).



* Los solicitantes son quienes presentan y reclaman la protección de una invención.

** Un solicitante puede ser una persona física o jurídica que busca proteger una invención.

Figura 4

Principales solicitantes en agricultura de precisión

La Figura 4 muestra la clasificación de los 20 principales solicitantes del corpus PCT analizado, ordenados por número de patentes publicadas. La Universidad de Jiangsu encabeza el listado con 19 documentos (1,18 % del total), seguida por un bloque de cuatro actores industriales con 13 patentes cada uno (0,81 %): Climate Corp, Climate LLC, Kubota KK y Ping An Tech Shenzhen. Luego de estos, se observa una distribución descendente y relativamente continua con los demás. En conjunto, ningún solicitante supera el 1,2 % de participación y la diferencia entre el primero y el vigésimo lugar es de apenas 12 patentes, lo que

evidencia un ranking sin hegemonías. El liderazgo se distribuye entre universidades asiáticas, conglomerados agroquímicos europeos, fabricantes de maquinaria japoneses y estadounidenses y compañías de software agrícola y de datos, configurando un panorama multiactor característico de los campos tecnológicos en fase expansiva.

La clasificación de solicitantes muestra un bloque mixto de actores entre universidades y corporaciones tecnológicas, químicas y de maquinaria. El hecho de que los líderes individuales tengan una participación cercana al 1 % sugiere un ecosistema competitivo y relativamente frag-

mentado, con múltiples líneas de desarrollo en paralelo y sin una dominancia clara que cierre el acceso por sí sola.

En el frente académico, la Universidad de Zhejiang aparece asociada a desarrollos metodológicos de teledetección y analítica para variables agronómicas críticas, como salinidad del suelo, fenología y estimación de rendimiento, que fortalecen la capa de monitoreo y predicción para decisiones sitio-específicas (Lin y otros, 2023; Z. Shi y otros, 2023, 2024). La Universidad de Jiangsu refleja una agenda más aplicada a instrumentación y automatización en condiciones operativas, con plataformas móviles y dispositivos de detección para invernaderos, además de soluciones vinculadas a riego, medición y control de implementos, lo que acerca estos resultados a prototipos transferibles (Li y otros, 2019; J. Shi y otros, 2023; Zhang y otros, 2020; Zuo y otros, 2019).

En el bloque industrial, una muestra del portafolio analizado sugiere una cadena de valor completa. Kubota KK apunta a la capa de operación mecanizada y control, especialmente donde la precisión depende de la teleoperación y de sistemas de desplazamiento, lo que es crítico para llevar la recomendación al terreno con repetibilidad (Fujii, 2024; Matsuzaki, 2024). Climate LLC se posiciona en agricultura digital, combinando teledetección, modelado y generación de recomendaciones para manejo, rendimiento y propiedades del suelo, una capa clave para convertir datos en prescripciones (Baurer y otros, 2024; Casas y otros, 2022; Cisek y otros, 2025; Xu & Xu, 2021).

BASF Agro Trademarks GmbH refuerza la optimización de aplicaciones y la toma de decisiones agronómicas, con métodos y dispositivos orientados a la eficiencia y la ejecución controlada de insumos (Hoss y otros, 2024; Janssen y otros, 2022; Kiepe y otros, 2024; Peters y otros, 2023, 2025). Finalmente, Ping An Tech Shenzhen Co. Ltd. muestra la entrada de actores de datos hacia evaluación y gestión basada en

información agroclimática y de teledetección, lo que amplía el ecosistema hacia servicios digitales (Gao y otros, 2022).

La evidencia de un panorama compartido entre academia e industria es algo típico en campos tecnológicos habilitantes como la agricultura de precisión, donde la innovación avanza cuando conviven dos enfoques: la academia empuja métodos y conocimiento base y la industria los convierte en sistemas escalables, integrados y comercializables. En este caso, las universidades aportan desarrollos orientados a modelado y teledetección para estimar variables agronómicas y generar capacidades de diagnóstico y predicción. Por su parte, las empresas concentran esfuerzos en industrialización, conectando analítica y prescripción, optimización de insumos y control de maquinaria para ejecutar decisiones con precisión en el campo.

Esta combinación academia-industria es coherente con la fase de aceleración observada en la evolución temporal, donde el aumento sostenido de actividad indica consolidación de soluciones y expansión de mercados. La fragmentación del liderazgo, sumada al crecimiento reciente, sugiere margen para diferenciar tecnologías por integración, interoperabilidad y validación en el campo, más que por una sola invención aislada.

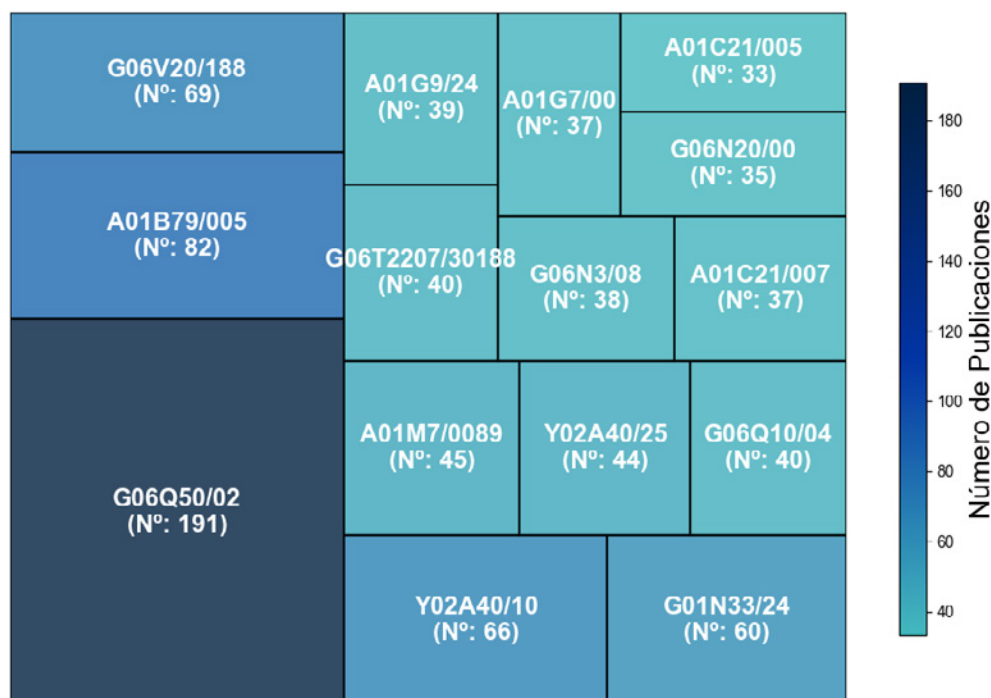
Principales áreas tecnológicas

Los códigos de clasificación CPC (Cooperative Patent Classification) e IPC (International Patent Classification) son sistemas jerárquicos que ordenan las patentes por su contenido técnico, a nivel de secciones, clases, subclases y grupos. La diferencia clave es que IPC funciona como el estándar internacional base y facilita la comparabilidad amplia entre oficinas y estudios, mientras que CPC es una extensión más granular, usada principalmente por las oficinas europeas y estadounidenses, que suele capturar con mayor

detalle matices tecnológicos y aplicaciones específicas (OMPI, 2022).

Se analizan ambas clasificaciones para obtener una lectura más robusta, combinando la cobertura y comparabilidad de los códigos IPC con la mayor granularidad y especificidad técnica de los códigos CPC. En conjunto, la distribución

de códigos permite aproximar qué áreas tecnológicas concentran mayor actividad dentro del panorama, identificar intersecciones entre agricultura, sensorización, datos y automatización y reconocer los frentes donde el desarrollo muestra mayor dinamismo y, por tanto, mayor presión competitiva (Trippe, 2015).



* Un subgrupo CPC es una clasificación para categorizar invenciones según su tecnología.

Figura 5

Principales áreas tecnológicas en agricultura de precisión

A partir de los principales códigos IPC/CPC, se observa que el campo de la agricultura de precisión se organiza en una arquitectura tecnológica con un núcleo digital (gestión y decisión), apoyado por una capa intensa de sensado y analítica y complementado por mecanización e intervenciones agronómicas. Además, aparece una capa

transversal de sostenibilidad y adaptación climática que atraviesa varios frentes de desarrollo. Se puede sintetizar en cuatro tendencias que reflejan su arquitectura.

Primero, núcleo en gestión y soporte a decisiones agrícolas. El mayor peso recae en soluciones tipo plataforma para administración y

operación del agro, desde planificación, asignación de recursos y monitoreo, hasta recomendaciones accionables. Esto se refleja en códigos orientados a aplicaciones administrativas en agricultura (G06Q50/02) y a pronóstico u optimización para fines de gestión (G06Q10/04). En términos competitivos, este núcleo sugiere que la “zona de competencia” se está moviendo hacia software, modelos de decisión y orquestación de datos, más que a dispositivos aislados.

Segundo, un núcleo habilitador, sensor, teledetección y analítica basada en IA. Aquí convergen visión por computador aplicada a vegetación y escenas agrícolas (G06V20/188), esquemas de análisis de imagen asociados a vegetación (G06T2207/30188) y analítica de suelos o muestras agrícolas (G01N33/24), reforzado por métodos de aprendizaje automático (G06N20/00) y redes neuronales (G06N3/08). Este bloque indica que gran parte de la diferenciación ocurre en cómo se capturan variables biofísicas, cómo se interpretan y cómo se transforman en predicciones robustas a escala de parcela.

En tercer lugar, observamos la ejecución en campo y manejo del cultivo. Se agrupan tecnologías para agricultura de precisión y sus implementos (A01B79/005), aplicación controlada de insumos, especialmente fertilización con control y dosificación (A01C21/005 y A01C21/007) y equipos de pulverización (A01M7/0089). También se conectan soluciones para ambientes controlados o invernaderos (A01G9/24). Esta tendencia traduce la analítica en acción y es donde suele concentrarse el estado de la técnica más cercano cuando el proyecto involucra intervención física directa en el cultivo.

Una cuarta tendencia transversal abarca consideraciones de sostenibilidad y adaptación climática. Los códigos Y02A40/10 y Y02A40/25 apuntan a adaptación al cambio climático en agricultura y gestión hídrica, señalando que la eficiencia de agua, la resiliencia y la mitigación de riesgos ambientales son criterios de diseño que se integran al núcleo digital y a la capa de aplicación de insumos.

Conclusiones

La depuración sucesiva de resultados confirma que una estrategia amplia basada en códigos IPC/CPC y filtros textuales puede capturar el campo con alta sensibilidad y que la restricción a solicitudes PCT selecciona una fracción comparativamente pequeña del universo inicial. La reducción desde 39 996 registros a 1 497 documentos PCT, y luego a 1 367 documentos posteriores a 2005, sugiere que una parte significativa del estado de la técnica circula por rutas nacionales, mientras que el subconjunto PCT concentra invenciones con aspiración de mercado global y comparabilidad metodológica más robusta dentro del alcance definido.

La evolución temporal observada describe una transición desde una fase de exploración hacia una etapa de aceleración, con crecimiento marcado a partir de 2013 y un punto de inflexión visible en 2017. Aunque se registran fluctuaciones interanuales recientes, su lectura debe considerar el desfase aproximado de 18 meses entre prioridad y publicación, por lo que los descensos cercanos al cierre del periodo no deben interpretarse como declive. La tasa compuesta de crecimiento anual de 7,29 % para el periodo de 2014 a 2024 respalda una tendencia en crecimiento, mientras que la divergencia entre modelos de pronóstico, con señales de estabilización o descenso según el método, sugiere sensibilidad a los años más recientes y compatibilidad con un escenario de maduración y competencia más alta.

En términos de implicaciones prácticas, el panorama evidencia que la zona competitiva se desplaza hacia un núcleo digital de gestión y soporte a decisiones, reforzado por sensado, teledetección y analítica basada en inteligencia artificial y articulado con la ejecución en el campo mediante mecanización e intervención agronómica. La concentración de protección en Estados Unidos, China y la vía europea muestra que la apropiación de valor se disputa en ecosistemas con fuerte capacidad industrial y digital y que marcos de estandarización, interoperabilidad, trazabilidad y desempeño pueden elevar las barreras de entrada en mercados exigentes. La fragmentación del liderazgo, junto con la convivencia de universidades y empresas, sugiere que las invenciones se asocian más a integración, interoperabilidad y validación en condiciones operativas que a una sola invención aislada.

A partir de las limitaciones y de los patrones observados, futuras investigaciones deberían ampliar la cobertura hacia rutas nacionales para estimar diferencias entre innovación global y local y actualizar el análisis cuando se consolide la publicación de los últimos 18 meses del periodo. También conviene complementar la lectura patentométrica con aproximaciones que capturen innovación no visible en patentes, como artículos científicos o información de mercado, manteniendo la claridad sobre el alcance de cada evidencia.

Limitaciones

A pesar del rigor metodológico fundamentado en las directrices de la OMPI, este estudio presenta limitaciones intrínsecas que deben considerarse al interpretar los resultados. La restricción más relevante es el desfase temporal entre la solicitud y la publicación oficial de las patentes. Asimismo, al emplear las solicitudes vía PCT como filtro principal, se priorizan invenciones con alto potencial global, pudiendo

subestimar innovaciones de escala puramente nacional. Es preciso señalar que el análisis de patentes no abarca la totalidad del ecosistema de innovación, excluyendo desarrollos protegidos bajo secreto industrial o derechos de autor. En consecuencia, estos hallazgos constituyen indicadores de tendencias tecnológicas y no una representación exhaustiva del mercado total (Moscatelli y otros, 2024; Trippe, 2015).

Declaración de conflictos de interés

Quienes firman este artículo declaran no tener conflictos de interés.

Fuentes de financiación

Quienes firman este artículo declaran que esta investigación no recibió financiamiento ex-

terno de ninguna agencia de financiamiento del sector público, comercial o sin fines de lucro.

Declaración de uso de inteligencia artificial

Durante la preparación de este manuscrito se utilizaron herramientas de inteligencia artificial, específicamente ChatGPT y Google Gemini (versiones disponibles al momento de uso), únicamente como apoyo técnico para la estructuración de sentencias de búsqueda empleadas en procesos de recuperación de información y para la generación de scripts destinados a la producción de imágenes.

Todo el contenido generado con apoyo de inteligencia artificial fue posteriormente sometido a un proceso de revisión, validación, adaptación y edición manual por parte de los autores, quienes verificaron su pertinencia, exactitud y coherencia con los objetivos del estudio. En consecuencia, la responsabilidad final sobre el contenido, su interpretación y las conclusiones presentadas recae íntegramente en los autores.

Declaración de uso de inteligencia artificial

Gabriela Valarezo: Conceptualización; metodología; investigación; recursos; redacción - borrador original; supervisión; administración del proyecto.

Gisselle Soto: Validación; recursos; redacción - revisión y edición.

Francisco Álvarez: Software; análisis formal; recursos; gestión de datos; visualización.

Referencias

- Antle, J. L., Snyder, S. T., & Larick, A. J. (2024). *Modular smart implement for precision agriculture* (Patent US12048300B2).
- Banco Mundial. (2025). *Agriculture and Food*.
<https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/overview#2>
- Baurer, P., Koch, J., Sauder, D., & Stoller, B. (2024). *Systems and methods for image capture and analysis of agricultural fields* (Patent US11944043B2).
- Cai, Y., Liu, L., Gao, X., Zhao, X., Wu, P., Song, X., Li, C., Chen, W., Ning, S., Yu, J., & Yang, M. (2024). *Intelligent agricultural control system* (Patent WO2024007559A1).
- Carvalho, C., & Joelcio, E. (2020). *Method for controlling lepidopterous insects by using a perimeter ultrasonic barrier in agricultural crops* (Patent WO2020028961A1).
- Casas, A., Yang, X., & Ward, S. (2022). *Mapping soil properties with satellite data using machine learning approaches* (Patent US11468669B2).
- Chatfield, C. (2001). *TIME-SERIES FORECASTING*. Chapman & Hall.
- Cisek, N., Koshnick, N., Xiang, H., & Yang, X. (2025). *Estimating soil properties within a field using hyperspectral remote sensing* (Patent US12366678B2).
- Comisión Europea. (2025). *New Study Highlights State of play in Digitalisation in EU Agriculture*.
https://agriculture.ec.europa.eu/media/news/new-study-highlights-state-play-digitalisation-eu-agriculture-2025-09-19_en
- De Oliveira Machado, R. A., & Rodwell, M. N. (2022). *System and method for releasing loose or wrapped solid products for biological pest control in agriculture using dispensers coupled to or incorporated into manned or unmanned vehicles* (Patent MX2022000673A).
- Du, G. (2018). *Smart agriculture management method and system* (Patent WO2018232845A1).
- Eguiluz, J. M. G., & Villegas, J. (2015). *Protected soil-plant agriculture production system and method for low-height crops*. (Patent MX2013008823A).
- FAO. (2018). *The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050*. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

- Fujii, T. (2024). *Travel control system for agricultural machine capable of performing remotely-manipulated traveling* (Patent US2024345603A1).
- Galvez, D. P. C., & Galvez, W. P. C. (2024). Digital technologies in agricultural development: The experience of Latin American countries. *E3S Web of Conferences*, 537.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453708014>
- Gao, Y., Wang, W., Ren, C., & Zhao, Q. (2022). Agricultural danger data assessment method and apparatus, computer device, and storage medium (Patent WO2022198744A1).
- Getahun, S., Kefale, H., & Gelaye, Y. (2024). Application of Precision Agriculture Technologies for Sustainable Crop Production and Environmental Sustainability: A Systematic Review. In *TheScientificWorldJournal* (Vol. 2024, p. 2126734).
<https://doi.org/10.1155/2024/2126734>
- Herrera, R. J., & Garcia-Bertrand, R. (2018). The Agricultural Revolutions. In *Ancestral DNA, Human Origins, and Migrations* (pp. 475–509). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804124-6.00013-6>
- Hoss, M. J., Kerkhoff, C., Johnen, A., & Schaefer, F. J. (2024). *Decision system for seed product and/or crop nutrition product application using remote sensing based soil parameters* (Patent US2024099184A1).
- Hunt, A. D. (2017). *Weighted multi-year yield analysis for prescription mapping in site-specific variable rate applications in precision agriculture* (Patent US9563848B1).
- Janssen, O., Schaefer, F. J., Kerkhoff, C., & Johnen, A. (2022). *Decision system for crop efficiency product application using remote sensing based soil parameters* (Patent US2022361473A1).
- Kah, M., Kookana, R. S., Gogos, A., & Bucheli, T. D. (2018). A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. *Nature Nanotechnology*, 13(8), 677–684.
<https://doi.org/10.1038/s41565-018-0131-1>
- Kiepe, B., Delatree, C. C., & Wahabzada, M. (2024). *Reduced residual for smart spray* (Patent US2024000002A1).
- Kim, M. Y., & Lee, K. H. (2022). Electrochemical Sensors for Sustainable Precision Agriculture—A Review. In *Frontiers in Chemistry*, 10, 848320.
<https://doi.org/10.3389/fchem.2022.848320>

- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–91, 100315.
<https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
- Krieger, E. (2015). New trends in intellectual property protection for plant innovations. In *24th Int. Eucarpia Symp. Section Ornamentals "Ornamental Breeding Worldwide"*.
- Kumar, R. V., Cross, G. B., Qu, C., Das, J., Makinenl, A., & Mulgaonkar, Y. S. (2019). *Systems, devices, and methods for robotic remote sensing for precision agriculture* (Patent US10395115B2). United States Patent and Trademark Office.
- Li, J., Xu, J., Wei, X., & Sun, H. (2019). *System and method for real-time measurement of height of spray boom relative to crop canopy* (Patent WO2019218446A1). World Intellectual Property Organization.
- Lin, T., Lin, Z., Jiang, H., & Ying, Y. (2023). *Large-scale crop phenology extraction method based on shape model fitting method* (Patent US11734925B2). United States Patent and Trademark Office.
- Matsuzaki, Y. (2024). *Agricultural machine, sensing system, sensing method, remote operation system, and control method* (Patent US2024341215A1). United States Patent and Trademark Office.
- Mewes, J. J. H. R. C. (2018). *Customized land surface modeling in a soil-crop system for irrigation decision support in precision agriculture* (Patent US10139797B2). United States Patent and Trademark Office.
- Mortimer, R., Miller, S. R., Ganz, B., Hutchings, J., & Syverson, C. D. (2018). *Steering controller for precision farming* (Patent EP3365220A1). European Patent Office.
- Moscatelli, F., C. Chacua, S. Gadgin Matha, H. Hartog, E. Hernandez Rodriguez, J.D. Raffo and M.A. Yildirim (2024). *Can we map innovation capabilities? WIPO Economic Research Working Paper No. 81*. World Intellectual Property Organization.
- Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering* 114(4), 358–371.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>
- OMPI. (2022). *The WIPO manual on open source patent analytics*.
<https://wipo-analytics.github.io/manual/>

OMPI. (2026). *PCT – The international patent system*.

<https://www.wipo.int/en/web/pct-system>

Pan, D., Chen, S., Ding, H., Gan, W., Wang, H., & Ye, Z. (2021). *Agricultural machine precision control method applied to smart agriculture* (Patent WO2021248678A1). World Intellectual Property Organization.

Peters, O., Hoffmann, H., Zhao, G., & Das, S. (2023). *Planning and implementing agricultural measures* (Patent US11818975B2). United States Patent and Trademark Office.

Peters, O., Selinger, S., Rommel, T., & Andree-Labsch, S. (2025). *Apparatus for determining agricultural relevant information* (Patent US12270966B2). United States Patent and Trademark Office.

Ramachandran, S., & Villela, M. A. (2022). *Using smart-phones and other hand-held mobile devices in precision agriculture* (Patent EP4002980A1). European Patent Office.

Santos Valle, S., & Kienzle, J. (2020). Agriculture 4.0: Agricultural robotics and automated equipment for sustainable crop production. *Integrated Crop Management*, Vol. 24. FAO.

Sanyaolu, M., & Sadowski, A. (2024). The role of precision agriculture technologies in enhancing sustainable agriculture. *Sustainability* 16(15), 6668.
<https://doi.org/10.3390/su16156668>

Shi, J., Shi, Y., Zou, X., Huang, X., Li, Z., Guo, Z., & Qiao, C. (2023). *Small-grain agricultural product color selection method combining area scan and line scan photoelectric features* (Patent WO2023065396A1). World Intellectual Property Organization.

Shi, Z., Wang, N., Peng, J., & Xue, J. (2024). *Method for jointly estimating soil profile salinity by using time-series remote sensing image* (Patent US2024288602A1). United States Patent and Trademark Office.

Shi, Z., Wang, N., Xue, J., & Peng, J. (2023). *Method for estimating soil salinity of straw residue farmland by using remote sensing construction index* (Patent WO2023087630A1). World Intellectual Property Organization.

Trippe, A. (2015). *Guidelines for preparing patent landscape reports: guidelines prepared for the world intellectual property organization (WIPO)*.
<http://www.wipo.int/tisc/en/>

- Viola, E. & Mendes, V. (2022). Agricultura 4.0 e mudanças climáticas no Brasil. *Ambiente & Sociedade*, 25. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1809-4422>
- Viton, R., Castillo, A., & Lopes Teixeira, T. (2020). *Mapa de la innovación Agtech en América Latina y el Caribe*. Banco Internacional de Desarrollo
- White, J. G., Miller, B. A., & Bielski, J. (2023). *Enhanced management zones for precision agriculture* (Patent US11744168B2). United States Patent and Trademark Office.
- World Intellectual Property Organization (WIPO). (2026). *World intellectual property report 2026: Technology on the move*.
<https://doi.org/10.34667/tind.59025>
- Xu, L., & Xu, Y. (2021). *Forecasting field level crop yield during a growing season* (Patent US11062223B2). United States Patent and Trademark Office.
- Zhang, X., Mao, H., Gao, H., Zuo, Z., Qiu, B., Zhang, H., & Zhang, Y. (2020). *Smart mobile detection platform for greenhouse* (Patent US10591927B2). United States Patent and Trademark Office.
- Zuo, Z., Qin, L., Mao, H., Zhang, X., Ni, J., Li, Q., & Lv, T. (2019). *Testing device for integrated irrigation and disinfection* (Patent US10317326B2). United States Patent and Trademark Office.