



REPORTE DE SOLUCIONES  
TECNOLÓGICAS DE BAJO RIESGO  
**EN EL SECTOR  
AGRÍCOLA**



Descargo de responsabilidad: Se utilizó un programa de inteligencia artificial para reformatear la imagen que ilustra este texto.

Copyright © 2025 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



## **AUTORES**

Lucía Latorre  
Valentín Muro  
Leticia Riquelme  
Cesar Bustamante  
Gloria Lugo

## **SUPERVISOR**

Mariana Gutiérrez

## **COLABORADOR**

Eduardo Rego

# TechLab

Los TechReports son una iniciativa del Laboratorio de Tecnologías Emergentes del departamento de TI del BID, conocido como TechLab, que se encarga de explorar, experimentar y difundir información sobre nuevas tecnologías para conocer su impacto en el Grupo BID y la región de ALC.



**Agradecimientos:** El equipo del BID desea agradecer a todas las personas que participaron en entrevistas y brindaron información clave para este documento.



# TABLA DE CONTENIDO

●	<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>5</b>
●	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>6</b>
	Agricultura regenerativa	<b>6</b>
	Tecnología agrícola (AgTech)	<b>7</b>
	Agricultura de precisión (ADP)	<b>8</b>
●	<b>PANORAMA REGIONAL</b>	<b>10</b>
	México	<b>11</b>
	Retos al desarrollo agtech en América Latina y el Caribe	<b>12</b>
●	<b>CICLO AGRÍCOLA Y TECNOLOGÍAS ASOCIADAS</b>	<b>14</b>
	Preparación del suelo	<b>14</b>
	Gestión de la siembra	<b>18</b>
	Protección de los cultivos	<b>23</b>
	Gestión de los cultivos	<b>31</b>
	Cosecha inteligente	<b>35</b>
	Gestión digital de la cosecha	<b>38</b>
●	<b>INICIATIVAS DEL BID EN TECNOLOGÍA AGRÍCOLA</b>	<b>41</b>
●	<b>OPORTUNIDADES, DESAFÍOS Y COMENTARIOS FINALES</b>	<b>43</b>
●	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>46</b>



# RESUMEN EJECUTIVO

---

**Este reporte tiene como objetivo describir la aplicación de tecnologías emergentes en el sector agrícola de América Latina y el Caribe (ALC), con enfoque en aquellas de bajo riesgo que se adapten al contexto agrícola de México..**

---

Presenta una visión del panorama general sobre cómo estas soluciones se están utilizando para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las prácticas agrícolas, abarcando temas como la agricultura regenerativa, de precisión y las tecnologías agrícolas (AgTech). El informe concluye con un análisis de los desafíos y oportunidades que enfrentan los productores en el proceso de adopción tecnológica.

El documento se estructura en torno a las diferentes etapas del ciclo agrícola: preparación del suelo, gestión de la siembra, protección y manejo de cultivos, cosecha inteligente, y gestión digital de la cosecha. En cada fase, se describen soluciones tecnológicas relevantes, como sensores de suelo y clima, robots para siembra, sistemas de manejo de plagas e irrigación, y plataformas de gestión. El análisis sigue un enfoque deductivo, ajustándose al contexto mexicano y considerando los tipos de cultivos y los formatos agrícolas locales. Se han utilizado los datos más recientes disponibles y, cuando no hay información específica de México, se ha complementado con datos regionales o de cultivos similares en otras zonas geográficas. Además, se discuten tecnologías que fueron descartadas por su alto riesgo o costos de implementación, explicando en detalle las razones detrás de estas decisiones.



# DEFINICIONES



Diversas organizaciones intergubernamentales, como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y otras, están promoviendo una renovación ecológica en respuesta al cambio climático y al crecimiento poblacional. Estas entidades están impulsando el uso de herramientas de agricultura de precisión, digital e inteligente para mejorar la productividad y la eficiencia en la agricultura. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías a menudo se realiza sin un análisis de las herramientas y un entendimiento completo del contexto, y sin realizar las evaluaciones ambientales necesarias, dejando la consideración de los impactos negativos para una etapa posterior.<sup>1</sup>

Una integración holística y responsable de estos enfoques podría transformar la gestión agrícola, proporcionando datos más precisos sobre los cultivos, fortaleciendo la cadena de suministro y mejorando la trazabilidad de los productos. Esto no solo optimizaría las prácticas agrícolas, sino que también incrementaría la confianza del consumidor al asegurar la sostenibilidad y la transparencia en la producción.

## AGRICULTURA REGENERATIVA

La agricultura regenerativa engloba técnicas agrícolas y ganaderas diseñadas para abordar las crisis del suelo, biodiversidad y seguridad alimentaria.<sup>2</sup> Su enfoque principal es la restauración de la salud de los suelos degradados y la promoción de la biodiversidad, que resultan en una mayor captura de dióxido de carbono y una mejora en el ciclo del agua.<sup>3</sup> Se distingue por su habilidad para enriquecer la tierra en lugar de agotarla, lo que conlleva beneficios como suelos más saludables y la producción de alimentos de alta calidad.

1. [Digital Regenerative Agriculture](#)

2. [Digital Regenerative Agriculture](#)

3. [What is Regenerative Agriculture? - Regeneration International](#)

4. Francis, C. A., Harwood, R. R., & Parr, J. F. (1986). [The potential for regenerative agriculture in the developing world. American Journal of Alternative Agriculture, 1\(2\), 65-74. https://doi.org/10.1017/S0889189300000904](#)

Asimismo, contribuye al fortalecimiento de las comunidades locales y de las economías regionales.<sup>4</sup> En la actualidad, un número creciente de agricultores está incorporando tecnología digital con el propósito de optimizar estas prácticas sostenibles y, al mismo tiempo, aumentar la rentabilidad de sus cultivos.<sup>5</sup>

## TECNOLOGÍA AGRÍCOLA (AGTECH)

El AgTech (del inglés “*agricultural technology*” o tecnología agrícola) puede definirse como la aplicación de la ciencia y el conocimiento para desarrollar innovaciones que mejoren la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios.<sup>6</sup>

El AgTech hace referencia a un sector económico emergente centrado en la tecnología agrícola<sup>7</sup> con el potencial de no solo mejorar la productividad agrícola, sino también de reducir el impacto ambiental y social de las prácticas actuales.

Este sector abarca una amplia gama de tecnologías, incluyendo vehículos autónomos, robótica, satélites, drones, dispositivos móviles y software. Además, el uso de *big data* y soluciones de inteligencia artificial (IA) está emergiendo como un componente clave en la integración de avances tecnológicos en la agricultura.<sup>8</sup>

### Entre los beneficios del uso de AgTech se encuentran:

-  **Reducción de costos.**  
Gracias al uso efectivo de recursos.
-  **Aumento del rendimiento de los cultivos.**  
Gracias a la mayor trazabilidad de la materia prima y mejores controles de calidad.
-  **Mejor comunicación.**  
Posibilidad de coordinación de actividades a distancia.
-  **Mayor inclusión.**  
Menores barreras para el acceso a seguros agrícolas, servicios financieros, datos tecnológicos y de mercado que favorecen la inclusión.

Con la creciente necesidad de aumentar la producción de alimentos para satisfacer las demandas futuras<sup>9</sup> y el estrés ambiental que enfrenta nuestro planeta, las innovaciones en tecnología agrícola serán esenciales.

Se prevé que América Latina y el Caribe consolidarán su papel como proveedores globales de productos agrícolas, con un aumento en sus exportaciones netas entre 2020

5. [European Academies Science Advisory Council \(Ed.\). \(2022\). Regenerative agriculture in Europe: A critical analysis of contributions to European Union farm to fork and biodiversity strategies.](#) EASAC Secretariat, Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina - German National Academy of Sciences.

6. [Science, Technology and Innovation | Food and Agriculture Organization of the UN](#)

7. (Dutia, 2014)

8. [Agricultural Technology For New & Advanced Farming Solutions](#)

9. (Shukla et al., 2019)

y 2030.<sup>10</sup> Esta expansión implica que la adopción de tecnologías avanzadas en el sector tendría consecuencias significativas para el medio ambiente, la sociedad y los inversores, influyendo en la dinámica global del comercio agrícola.

## ESTIMACIÓN DEL ROI EN AGTECH

El retorno de inversión (ROI) es una fórmula matemática para evaluar el rendimiento de las inversiones y determinar su viabilidad.<sup>11</sup> Sin embargo, estimar el ROI en el sector agrícola es un desafío debido a la alta complejidad en la gestión de los cultivos, lo que hace difícil resumirlo en una sola métrica. Esto puede limitar la capacidad de los agricultores para tomar decisiones de inversión, especialmente al considerar la adopción de soluciones nuevas o innovadoras.<sup>12</sup>

Entre las dificultades se destacan:<sup>13</sup>



### Baja trazabilidad.

La complejidad e incertidumbre de los sistemas agrícolas dificultan la atribución de resultados a inversiones específicas, lo que complica la evaluación del impacto.



### Ciclos prolongados de validación.

La evaluación de nuevas tecnologías usualmente depende de las campañas agrícolas, y los resultados pueden tardar hasta el final de la cosecha en ser analizados, lo que retrasa la toma de decisiones sobre la adopción de estas soluciones.



### Falta de conocimiento.

Los potenciales usuarios y beneficiarios de las tecnologías agrícolas no necesariamente entienden las soluciones.



### Recursos limitados.

Los agricultores, generalmente con recursos limitados, tienden a preferir estrategias seguras y tradicionales en lugar de arriesgarse con nuevas tecnologías, lo que puede frenar la adopción de innovaciones.

## AGRICULTURA DE PRECISIÓN (ADP)

La agricultura de precisión es una estrategia de gestión agrícola que utiliza tecnologías avanzadas y principios específicos para abordar la variabilidad espacial y temporal en todos los aspectos de la producción. Su objetivo es mejorar tanto el rendimiento de los

10. [OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030](#)

11. [What Is ROI? How to Calculate Return on Investment | Definition from TechTarget](#)

12. [Aprendizajes para calcular el retorno de inversiones \(ROI\) en los campos de cultivos](#)

13. [El Dilema del ROI en la Agricultura \(Parte I\) | SpaceAG Blog](#)

cultivos como la calidad ambiental.<sup>14</sup> El éxito de esta estrategia se basa en la capacidad para evaluar y gestionar esta variabilidad con alta precisión, integrando tecnologías como la automatización para optimizar el diagnóstico, la toma de decisiones y la ejecución.

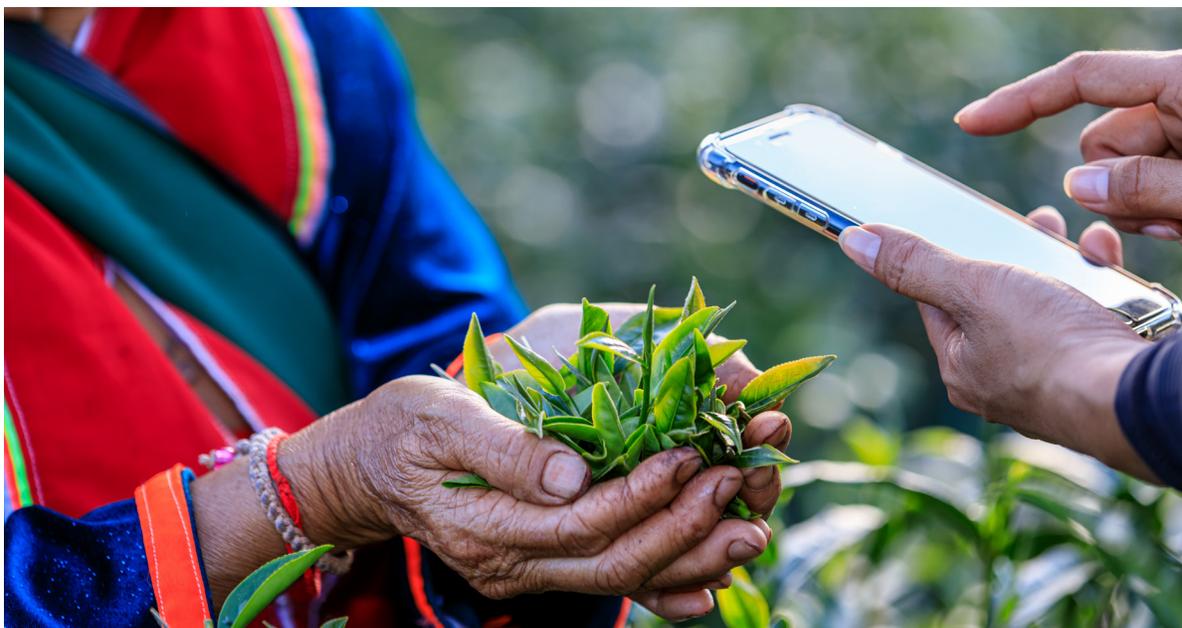
Aunque ofrece potenciales beneficios económicos, ambientales y sociales, la viabilidad de la agricultura de precisión puede variar. Su efectividad depende en gran medida de la capacidad para adaptar las tecnologías a las condiciones específicas de cada operación agrícola.

---

14. (Pierce & Nowak, 1999)



# PANORAMA REGIONAL



La agricultura en América Latina y el Caribe es altamente diversa, abarcando desde grandes explotaciones comerciales orientadas a la exportación, hasta cerca de 15 millones de pequeñas unidades familiares que aportan a la producción de alimentos en la región.<sup>15</sup> En particular, el Cono Sur, se caracteriza por una agricultura de exportación, con cultivos altamente mecanizados y con grandes inversiones de capital, mientras que América Central y los países andinos dependen de los pequeños agricultores para la producción.<sup>16</sup>

Aproximadamente el 17% de la población latinoamericana está involucrada en la agricultura,<sup>17</sup> un sector que contribuye con el 14% del valor neto de la producción agrícola y pesquera mundial y representa más del 17% de las exportaciones totales.<sup>18</sup> De acuerdo con proyecciones de la OCDE y la FAO, se espera que la producción agrícola en la región aumente un 12% para 2032, un crecimiento que dependerá de la adopción de tecnologías innovadoras y prácticas eficientes que mejoren los rendimientos de los cultivos y optimicen el uso de fertilizantes.<sup>19</sup>

Sin embargo, a pesar de ser el mayor exportador neto de productos agrícolas, la región enfrenta desafíos en términos de seguridad alimentaria y eficiencia en el uso de insumos.<sup>20</sup> Mientras el sector agropecuario comercial prospera, muchos pequeños productores luchan con sistemas de baja productividad, y la pobreza rural persistente. A pesar de los superávits alimentarios, millones de personas en la región sufren de hambre, malnutrición y enfermedades relacionadas.<sup>21</sup>

15. [OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2023-2032 | OECD](#)

16. [Panorama del ecosistema agrotecnológico para los pequeños agricultores de América Latina y el Caribe](#)

17. [Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe 2023](#)

18. [OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2023-2032 | OECD](#)

19. [OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2023-2032 | OECD](#)

20. [OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2023-2032 | OECD](#)

21. [Future Foodscapes : Re-imagining Agriculture in Latin America and the Caribbean \(Spanish\)](#)

En contrapartida, América Latina y el Caribe generan el 20% del desperdicio de alimentos a nivel mundial, principalmente debido a la cosecha en momentos inadecuados, malas condiciones climáticas, prácticas deficientes en la recolección y desafíos en la comercialización. Este desperdicio tiene un impacto ambiental considerable, representando el 16% de la huella de carbono mundial, el 9% de la huella de tierra y el 5% de la huella de agua.<sup>22, 23</sup>

El éxito agrícola de la región ha sido acompañado de serias consecuencias ambientales y de salud.<sup>24</sup> A pesar de su rica agrobiodiversidad, la expansión de monocultivos amenaza esta riqueza ecológica. La agricultura consume el 70% del agua dulce disponible y contribuye a la deforestación,<sup>25</sup> generando altas emisiones de gases de efecto invernadero.<sup>26</sup>

Frente a estos desafíos, surge una creciente preocupación por cómo satisfacer la demanda alimentaria proyectada para las próximas décadas.<sup>27</sup> Se estima que la población de América Latina y el Caribe alcanzará aproximadamente 800 millones de personas para 2050,<sup>28</sup> un aumento del 20% respecto a la cifra actual.<sup>29</sup>

Para cumplir con las proyecciones de producción alimentaria y minimizar el impacto ambiental, será necesaria una transformación del sector agrícola, orientada hacia prácticas sostenibles que maximicen el potencial de los cultivos sin agotar los recursos naturales. La tecnología será un aliado en esta transición, promoviendo la inclusión y la digitalización en el proceso agrícola.

## MÉXICO

México, con su rica diversidad de suelos, climas y ecosistemas, se destaca como un importante productor agrícola a nivel mundial.<sup>30</sup> Esta variedad geográfica permite un amplio rango de cultivos, consolidando a la agricultura como un sector esencial para la seguridad alimentaria del país, la generación de empleos y los ingresos rurales, con Estados Unidos como su principal mercado.<sup>31</sup> Aproximadamente el 13% de la fuerza laboral mexicana,<sup>32</sup> es decir, más de 7.7 millones de personas,<sup>33</sup> trabaja en el sector agrícola, donde el 85% son productores de pequeña y mediana escala.<sup>34</sup>

Respecto a la estructura de la industria, el mercado de la agricultura mexicana no está completamente industrializado; de hecho, la mayoría de las cosechas las cultivan pequeños y medianos productores. Debido a la falta de economías de escala, el sector agrícola tiene una tasa relativamente baja de adopción de tecnología y productividad de la tierra.<sup>35</sup>

23. América Latina representa el 20% del desperdicio de comida en el mundo.

24. [Los sistemas agropecuarios y alimentarios de América Latina y el Caribe están listos para una profunda transformación](#)

25. (NU. CEPAL, 2021)

26. (Springmann et al., 2018)

27. [The future of food and agriculture – Drivers and triggers for transformation](#)

28. [The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050](#)

29. [Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe 2023](#)

30. [Nuestro México | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx](#)

31. [México — Ministério da Agricultura e Pecuária](#)

32. [México en una mirada | FAO en México | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura](#)

33. [Comunicado de Prensa. Indicadores de Ocupación y Empleo](#)

34. [México en una mirada | FAO en México | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura](#)

35. [Gobernanza Regulatoria en el Sector de Plaguicidas de México](#)

Los principales cultivos incluyen granos, como el maíz blanco, maíz amarillo y frijol, caña de azúcar, cítricos, agave.<sup>36, 37</sup> En la región Centro- Occidente,<sup>38</sup> se concentra una gran parte de los cultivos de granos y hortalizas, destacando los estados de Jalisco, Veracruz y Oaxaca.<sup>39</sup> A pesar de su riqueza biológica y cultural, México ha perdido cerca del 50% de sus ecosistemas naturales debido a la deforestación y la degradación del suelo. El cambio climático ha intensificado la presión sobre los recursos hídricos, provocando sequías atípicas y aumentando la vulnerabilidad a ciclones y desastres naturales. Estas condiciones adversas han afectado significativamente a las unidades agrícolas, resultando en pérdidas económicas por la deterioración de cosechas y animales.<sup>40</sup>

En este contexto, los agricultores mexicanos enfrentan múltiples desafíos. Deben adaptarse a las demandas del mercado global y cumplir con estrictas normativas sanitarias y fitosanitarias para acceder a mercados internacionales,<sup>41</sup> lo que complica ampliar sus operaciones. A esto se suma el envejecimiento de la fuerza laboral agrícola: solo el 27% de los productores tienen entre 18 y 30 años, mientras que casi la mitad son adultos mayores.<sup>42</sup> Esta situación se debe a la falta de incentivos para los jóvenes, la preferencia por trabajos en otros sectores y la migración.<sup>43</sup>

Sin embargo, el mayor desafío en el futuro cercano será transformar el sistema agroalimentario para que sea más productivo, justo, saludable, inclusivo y sostenible, lo que implicará un enfoque renovado hacia prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles, mediante la incorporación de tecnologías.<sup>44</sup>

## RETOS AL DESARROLLO AGTECH EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

En los últimos años, América Latina y el Caribe han mostrado un avance en la innovación tecnológica en agricultura y alimentación. Brasil y Argentina se destacan gracias a sus dinámicos ecosistemas emprendedores que han impulsado el crecimiento de startups en el sector AgTech.<sup>45</sup>

A pesar del avance gradual en la adopción de soluciones digitales y el surgimiento de innovaciones tecnológicas locales, las oportunidades de inversión en el sector siguen siendo limitadas.<sup>46</sup> La importancia de la agricultura y la necesidad de soluciones para satisfacer la creciente demanda de producción en América Latina y el Caribe no se reflejan en el nivel de inversión,<sup>47</sup> ya que la región se encuentra en el último lugar a nivel mundial en este ámbito.<sup>48</sup>

37. [Producción de los principales cultivos Censo 2022](#)

38. [Jalisco, Veracruz y Oaxaca: mayor producción agroalimentaria de México | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx](#)

39. [Jalisco, Veracruz y Oaxaca: mayor producción agroalimentaria de México | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx](#)

40. [México en una mirada | FAO en México | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura](#)

41. [El sector agrícola mexicano en cifras: avances, retos y oportunidades del T-MEC | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx](#)

42. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022\\_rdnal.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022_rdnal.pdf)

43. [Los agricultores mexicanos envejecen](#)

44. [Sistema agroalimentario de México, un desafío de bienestar | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx](#)

45. [Mapa de la innovación AgTech en América Latina y el Caribe](#)

46. [Mapa de la innovación AgTech en América Latina y el Caribe](#)

47. [AgroTech en América Latina: ¿Cómo es la disrupción tecnológica del campo?](#)

48. <https://capria.vc/wp-content/uploads/2023/09/LABS-collection-9.pdf>

## Entre los retos que enfrenta la adopción de la tecnología en la agricultura se encuentran:



**Recursos económicos limitados.** Muchos emprendedores señalan la falta de acceso al capital como el principal problema que dificulta o impide la aparición o el crecimiento de nuevos emprendimientos en AgTech.<sup>49</sup> Además, la dificultad para acceder a fuentes de financiamiento específico para empresas digitales es un obstáculo importante para la expansión de la tecnología agropecuaria en la región.<sup>50</sup>



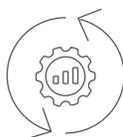
**Falta de colaboración público-privada.** La falta de una colaboración entre instituciones gubernamentales, el sector privado y las empresas de investigación y desarrollo (I+D) agrícola digital es un gran desafío en la región. Según un informe, solo el 30% de los países están llevando a cabo acciones destinadas a la transformación digital del sector agrícola.<sup>51</sup>



**Falta de colaboración académico-empresarial.** La baja interacción entre el mundo científico y el empresarial, y las trabas burocráticas (que complejizan y ralentizan el proceso de iniciar una empresa) impiden el crecimiento de los emprendimientos AgTech en la región.<sup>52</sup>



**Conectividad regional deficiente.** La conectividad limitada representa un obstáculo fundamental para la adopción de tecnologías AgTech. Aunque existen soluciones que funcionan sin conexión a internet, la digitalización completa de los procesos agrícolas depende en gran medida de la eficiencia de la conectividad en la región.<sup>53</sup>



**Diversidad de los procesos agrícolas.** La variedad de sistemas agrícolas y alimentarios dentro de la región, incluso dentro de cada país, dificulta la adopción generalizada de tecnologías y la implementación de políticas que alcancen a todos los agricultores, subrayando la necesidad de enfoques adaptados a cada contexto.<sup>54</sup>

49. (Navarro et al., 2022, p. 38)

50. (Vargas et al., 2023)

51. (Echenique et al., 2021)

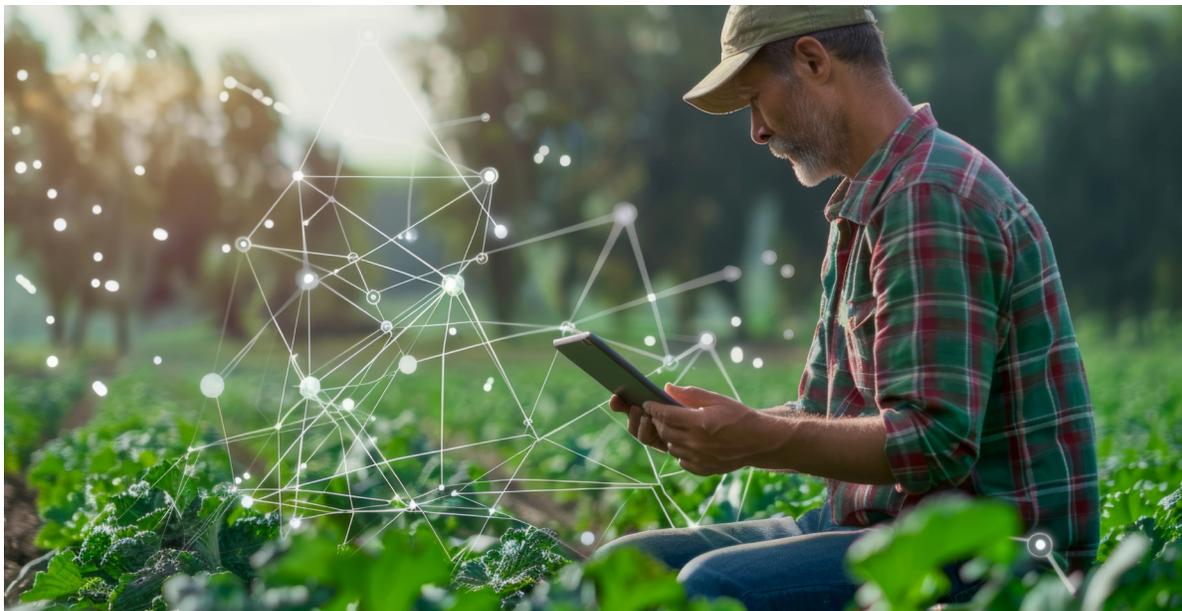
52. (Navarro et al., 2022, p. 33)

53. (Navarro et al., 2022, p. 33)

54. [Future Foodscapes : Re-imagining Agriculture in Latin America and the Caribbean \(Spanish\)](#)



# CICLO AGRÍCOLA Y **TECNOLOGÍAS ASOCIADAS**



## **PREPARACIÓN DEL SUELO**

### **Sensores**

Un sensor es un dispositivo que detecta y responde a algún tipo de entrada del entorno físico. La entrada puede ser luz, calor, movimiento, presión o cualquier otro fenómeno ambiental.<sup>55</sup> Los sensores de suelo y clima ayudan a optimizar la producción agrícola al brindar datos precisos sobre niveles de nutrientes esenciales como humedad, pH, CO<sub>2</sub>, y NPK (nitrógeno, fósforo y potasio), así como sobre condiciones ambientales como temperatura, precipitaciones y luminosidad.<sup>56</sup> Al integrarse con sistemas de monitoreo en tiempo real, estos dispositivos permiten detectar de manera temprana situaciones que requieren atención, lo que ayuda a prevenir la pérdida de cosechas y a maximizar el rendimiento.



### **Contexto**

En 2023, los frutos rojos (berries) se convirtieron en el producto estrella de exportación mexicana, alcanzando un valor casi USD 4 mil millones, lo que representa un aumento del 4% respecto al año anterior.<sup>57</sup> Este crecimiento permitió a los frutos rojos superar a productos tradicionales como la cerveza, el tequila y el aguacate.<sup>58</sup>

55. [What is a sensor?](#)

56. [Soil Sensors and Plant Wearables for Smart and Precision Agriculture](#)

57. [México se posiciona como país altamente productor y exportador de berries.](#)

58. [Estructura de información \(SIE, Banco de México\)](#)

La preparación adecuada del suelo y el control del clima es fundamental para el desarrollo saludable de los cultivos, pero especialmente para las berries, que tienen raíces superficiales y son sensibles a la humedad en exceso y las malezas.<sup>59</sup> El uso de sensores para monitorear las condiciones del terreno y las necesidades hídricas puede optimizar la preparación del suelo y el riego, lo que a su vez mejora el crecimiento y aumenta la producción de estos cultivos.



## Riesgos potenciales

Los riesgos del uso de sensores en la agricultura no son distintos a los de su uso generalizado:<sup>60</sup>

### Problemas de confiabilidad.

Existe evidencia de que los sensores pueden volverse poco confiables como resultado de configuraciones incorrectas, suciedad, defectos, daños, etc., lo que podría repercutir en el bienestar de los cultivos.

### Seguridad de los sistemas.

El software malicioso y los ciberataques pueden convertirse potencialmente peligrosos ante la falta de políticas de aplicación global y de estrategias para recuperar la información comprometida.

### Conectividad.

La calidad de Internet para la recopilación de información in situ reflota el problema de la falta de conectividad en las regiones. A la vez del riesgo de pérdida de conexión a internet que puede interrumpir la transmisión de datos.

## Ejemplos

- **Invermex y 30MHz.** (Países Bajos y México). Ofrecen soluciones que permiten a los productores crear redes de sensores inalámbricos para obtener información detallada sobre sus cultivos, facilitando el monitoreo y el control desde cualquier dispositivo móvil.<sup>61</sup>
- **NXTAGRO y BlueDrop Berries.** (México). Solución desarrollada para maximizar la producción de berries en Guadalajara, Michoacán y Culiacán. Sus sensores, ubicados dentro de las plantas, recopilan datos como humedad, conductividad eléctrica y niveles de pH.<sup>62</sup>
- **ICT International y Definium Technologies.** (Australia) Mediante el uso de dispositivos LoRa (de “long range” o largo alcance) se optimiza la producción de aguacates, propensos a sufrir estrés en momentos críticos durante su desarrollo. Estos sensores están diseñados para supervisar los niveles de humedad, permitiendo tomar medidas inmediatas ante situaciones estresantes con el fin de potenciar la productividad de los cultivos.<sup>63</sup>

59. [¿Cuáles son las complicaciones durante la producción de Berries a los que se enfrenta el productor de clase mundial? - NXTAgro](#)

60. (ACIL Allen Consulting, 2019, p. 64)

61. [Invermex y 30MHz se unen para digitalizar la horticultura en México - AgTech América](#)

62. [NXTAGRO: la startup mexicana aumenta la producción de berries en un 20% - ENTER.CO](#)

63. [Semtech's LoRa Boosts Yield on Avocado Farms](#)

# Teledetección satelital

Un sensor es un dispositivo que detecta y responde a algún tipo de entrada del entorno físico. La teledetección se refiere a la técnica de adquirir datos de la superficie terrestre mediante satélites, que luego son procesados para obtener información interpretable. Estas técnicas permiten obtener información relevante relacionada con el desarrollo de los cultivos.<sup>64</sup> Su aceptación en el sector agrícola es cada vez mayor debido a su capacidad para proporcionar datos precisos y actualizados que respaldan la gestión eficiente de recursos.<sup>65</sup>

La teledetección ayuda en la identificación de parcelas y el seguimiento del desarrollo de los cultivos, utilizando índices como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI), el Índice de Área Foliar (LAI), entre otros. Esta herramienta es especialmente valiosa en plantaciones de gran superficie como la palma, el maíz, la caña de azúcar, entre otras.<sup>66</sup>



## Contexto

México es uno de los mayores productores de maíz a nivel mundial,<sup>67</sup> con una proyección aproximada de 23 millones de toneladas para el periodo 2023/24<sup>68</sup> y un valor comercial cercano a los USD 6 mil millones.<sup>69</sup> Aunque el maíz se cultiva ampliamente en todo el país, su rendimiento está fuertemente influenciado por las condiciones climáticas y del suelo.<sup>70</sup> Las prolongadas sequías previstas para 2024 podrían reducir significativamente la producción, obligando al país a depender de la importación para satisfacer la demanda interna.<sup>71</sup>

En ese contexto, el uso de imágenes satelitales podría convertirse en una herramienta invaluable, ya que no solo proporciona datos históricos sobre clima y precipitaciones, sino que también permite identificar áreas agrícolas no utilizadas y con alto potencial productivo,<sup>72</sup> como las chinampas. Este antiguo sistema de cultivo, construido sobre cuerpos de agua, ofrece tierras húmedas y fértiles<sup>73</sup> que podrían reutilizarse para compensar las pérdidas en la producción de maíz por sequías.

En la zona chinampera, un área de humedales que abarca más de 2.000 hectáreas en los municipios de Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta,<sup>74</sup> se ha encontrado que solo el 19% de la superficie está siendo utilizada.<sup>75</sup> Con la ayuda de tecnologías como las imágenes satelitales, estas áreas desaprovechadas podrían jugar un papel clave en la mitigación de los efectos del cambio climático sobre la producción del principal grano mexicano.



## Riesgos potenciales

Aunque la teledetección permite tener un registro histórico de los cultivos junto a información actualizada, la disponibilidad de las imágenes se encuentra muy condicionada

64. (Balbontín N. et al., 2016)

65. (Sishodia et al., 2020)

66. (Anaya Acevedo & Valencia Hernández, 2013)

67. [Corn production by country 2023/24 | Statista](#)

68. [Crop Explorer - World Agricultural Production \(WAP\) Briefs - Mexico Central America and the Caribbean](#)

69. [Maíz: Intercambio comercial, compras y ventas internacionales, mercado y especialización | Data México.](#)

70. [Growing Sweet Corn](#)

71. [Cultivaré México 9.2% menos maíz en 2024 e importará 45% del grano - TierraFértil@](#)

72. [México busca recuperar chinampas para la producción de alimentos](#)

73. [Chinampas: mexicanos preservan el maíz mediante milenario y eficaz sistema](#)

74. [Medalla de oro para el documental 'Chinampas de Xochimilco', una producción de la UOC y El Claustro de Sor Juana en la ciudad de México](#)

75. [Chinampas de la Ciudad de México producen más de 19 000 toneladas de alimentos | FAO en México](#)

por el clima y no detecta con precisión la presencia de enfermedades en las plantas. Entre los errores conocidos en el uso de satélites (Landsat) se encuentran:<sup>76</sup>

**Pérdida de datos** La ausencia de datos en las imágenes satelitales puede ser reemplazada por datos aleatorios, valores nulos, o patrones de relleno. Esta sustitución puede afectar la precisión del análisis y la toma de decisiones.

**Interferencia** Factores ambientales como la cobertura de nubes y las condiciones atmosféricas pueden interferir en el proceso haciendo que ciertos problemas de los cultivos pasen desapercibidos, afectando la capacidad de intervención temprana.

**Costo de procesamiento** El procesamiento de imágenes satelitales para obtener información puede incurrir en altos costos. Además, la adquisición de licencias para el uso de imágenes puede ser una barrera económica para los pequeños productores.

### Ejemplos

- **EOSDA y StarkSat.** (EE. UU. y Brasil). EOS Crop Monitoring es una herramienta en línea de monitorización por satélite. Incluye funciones como el historial de rotación de cultivos, datos meteorológicos y notificaciones sobre cambios en el campo en una app móvil.<sup>77</sup>
- **Agriicola.** (México) Ofrece un sistema de administración, aprendizaje y monitoreo satelital que puede ser contratado a través de una suscripción anual a bajo costo.<sup>78</sup>
- **Syngenta.** (Brasil) CLARIVA es una solución de diagnóstico y mapeo digital de plagas de nematodos a través de imágenes satelitales. Los productores de soja utilizarán la herramienta para combatir las plagas que causan hasta un 30% de pérdida de rendimiento.<sup>79</sup>

## Tecnología descartada: conectividad 5G

El 5G ofrece una promesa para la transformación de la conectividad global, con mejoras en velocidades, latencia y versatilidad.<sup>80</sup> Estas ventajas facilitan aplicaciones avanzadas como la integración masiva de dispositivos de internet of things (IoT), como sensores, en la agricultura.<sup>81</sup> Sin embargo, la adopción del 5G en América Latina es aún lenta y costosa, con problemas de infraestructura y compatibilidad que limitan su expansión.

En México, aunque el despliegue de 5G comenzó en febrero de 2022<sup>82</sup> la brecha digital entre zonas urbanas y rurales sigue sin cerrarse. El 78% de la población tiene acceso a internet,

76. [Landsat Known Issues | U.S. Geological Survey](#)

77. [EOS Data Analytics Se Asocia Con StarkSat](#)

78. [Agriicola](#)

79. [Syngenta lanza la primera herramienta digital comercial del mundo para detectar nematodos dañinos a través de imágenes de satélite - Technocio - Tech Trends](#)

80. [¿Qué es 5G? - Cisco](#)

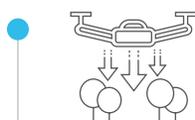
81. (Tang et al., 2021)

82. [México concentra 23.6% de accesos a 5G en América Latina al cierre de 2023 - El Financiero](#)

pero casi la mitad vive en áreas rurales o remotas, lo que acentúa las desigualdades en el acceso a la tecnología.<sup>83</sup> En toda América Latina, menos de la mitad de la población cuenta con banda ancha, y las diferencias entre áreas urbanas y rurales son marcadas.<sup>84</sup> A pesar del potencial transformador del 5G, la región sigue enfrentando desafíos estructurales que limitan su impacto en la digitalización agrícola y en otros sectores.

Para que los dispositivos de tecnología agrícola digital funcionen correctamente, generalmente se requiere una conexión a internet rápida y confiable. Sin embargo, las redes actuales presentan problemas de conectividad en zonas rurales y áreas de alta demanda, lo que resulta en una disponibilidad insuficiente de redes en muchas regiones.

Una red 5G más eficiente y accesible podría desbloquear numerosas aplicaciones en la agricultura:<sup>85</sup>



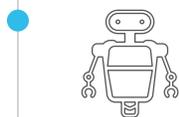
**Vehículos Aéreos no Tripulados (UAVs).** Los agricultores podrían controlar drones a largas distancias, ya sea manualmente o mediante puntos de control programados, y potencialmente desde cualquier lugar del mundo.



**Monitoreo en tiempo real.** Con 5G, una sola torre celular podría conectar un gran número de sensores por kilómetro cuadrado, permitiendo a los agricultores instalar más dispositivos IoT para una gestión más eficiente de sus tareas.



**Mantenimiento predictivo.** Sensores en máquinas transmitirían datos en tiempo real, facilitando el seguimiento del estado de equipos y combustible para anticipar fallos y realizar mantenimientos oportunos sin demoras.



**Robots guiados por IA.** La combinación de inteligencia artificial (IA) y baja latencia en la comunicación permitiría monitoreo en vivo, diagnósticos remotos y control preciso de drones y robots.



**Análisis de datos y repositorio en la nube.** Los datos recopilados de sensores IoT, drones y robots serían almacenados en la nube y analizados en tiempo real gracias a la velocidad de transferencia proporcionada por 5G y la computación en el borde (*edge computing*), optimizando los procesos agrícolas automatizados.

## GESTIÓN DE LA SIEMBRA

### Robots para siembra

La aplicación de robótica en la siembra ofrece a los agricultores una oportunidad para mejorar la eficiencia, confiabilidad y productividad de sus operaciones. Estos sistemas

83. [El siguiente nivel de la red 5G en México](#)

84. [Estudio del IICA, BID y Microsoft concentró su trabajo en 24 países de América Latina y el Caribe. El promedio de conectividad en la ruralidad equivale a la mitad de la disponible en las áreas urbanas.](#)

85. (Tang et al., 2021)

automatizados utilizan tecnologías como GPS para realizar la siembra con precisión, optimizando el espaciamiento y la profundidad de los cultivos. En grandes explotaciones, se emplean tractores autónomos, mientras que en cultivos más pequeños, brazos articulados y robots móviles permiten adaptar esta tecnología al tipo de cultivo específico.<sup>86</sup>



## Contexto

Las sembradoras, incluidas las robóticas, son herramientas importantes para una cosecha exitosa, ya que ayudan a asegurar una distribución precisa de las semillas. Para una siembra óptima, se deben considerar factores como la calidad de las semillas, el uso de barbecho químico, el mantenimiento de la maquinaria, el control de la profundidad de siembra, la regulación del dosificador de semillas y de fertilizantes.<sup>87</sup> Aunque el equipamiento de siembra no puede controlar la genética ni la calidad de las semillas, sí puede influir en los factores circundantes a través de prácticas de manejo adecuadas. Por ejemplo, en la siembra de maíz<sup>88</sup> y de soja, la densidad del suelo es un factor clave, por lo que una gestión deficiente de la carga en los cuerpos de siembra puede provocar problemas como emergencias.<sup>89</sup>

Considerando el cultivo de soja en América Latina, países como Brasil, Argentina y Paraguay se destacan como líderes mundiales en la producción.<sup>90</sup> En particular, Brasil ha logrado un récord sojero en 2023,<sup>91</sup> representando casi la mitad de la producción total de granos, en parte gracias a iniciativas gubernamentales como el Plan Safra.<sup>92</sup> En Paraguay, se espera que la zafra sojera alcance los 9,5 millones de toneladas para el período 2023/24,<sup>93</sup> en paralelo Argentina ha tenido una recuperación productiva en el período.<sup>94</sup>

Por otro lado, la demanda de robots agrícolas tanto a nivel mundial<sup>95</sup> como en América Latina, impulsada por la necesidad de superar la escasez de mano de obra en la ADP, está generando un notable crecimiento en el mercado.<sup>96</sup> A pesar de esto, la adopción de robots en la agricultura mexicana está en una fase incipiente con un rezago de aproximadamente cinco años en esta tecnología.<sup>97</sup> Los especialistas, anticipan una transformación en los próximos años que impulsará una adopción más amplia hacia la segunda mitad de la década.<sup>98</sup>



## Riesgos

El uso de tecnología con cierto nivel de autonomía en la agricultura conlleva riesgos para las explotaciones agrícolas, los agricultores y la seguridad alimentaria, entre los que se incluyen:<sup>99</sup>

**Suelo:** Los robots más pesados podría agravar los problemas de compactación del suelo.<sup>100</sup>

86. [Landsat Known Issues | U.S. Geological Survey](#)

87. [Soja: ¿qué le exige hoy a la sembradora? - Maquinac](#)

88. [Densidad de siembra en los cultivos](#)

89.

90. [Ranking Mundial – Capeco](#)

91. [Em agosto, IBGE prevê safra recorde de 313,3 milhões de toneladas para 2023 | Agência de Notícias](#)

92. [2022/2023 — Ministério da Agricultura e Pecuária](#)

93. [Zafra 2023/2024 superaría 9 millones de toneladas de soja – Capeco](#)

94. [Balance regional de la soja 2023/24 | Bolsa de Comercio de Rosario](#)

95. [Farming Robots of 2023 and their Uses/Applications](#)

96. [Latin America Agriculture Robots Market is expected to reach USD 1.49 billion by 2030](#)

97. [En cinco años, llegarán primeros 'agrobots' al campo mexicano: Bayer](#)

98. [En cinco años, llegarán primeros 'agrobots' al campo mexicano: Bayer](#)

99. (Tzachor et al., 2022)

100. [Robots in Agriculture: Prospects, impacts, ethics, and policy](#)

### Exclusión de pequeños agricultores.

Los agricultores a pequeña escala pueden quedar excluidos de los beneficios de la robótica debido a las altas barreras de entrada sobre los costos de inversión.<sup>101</sup>

### Ciberseguridad.

Los sistemas agrícolas que dependen de la robótica y la automatización podrían ser objetivos de ciberataques en busca de ventajas económicas o estratégicas. Las consecuencias a corto plazo de las interrupciones deliberadas durante el momento de la siembra podrían ser significativas e incluso disruptivas a mediano plazo.<sup>102</sup>

### Errores en la programación

Errores en la programación del robot podría llevar a sembrar de manera incorrecta, lo que podría resultar en una mala distribución de las semillas.

### Daño a las semillas

Si los robots sembradores no están correctamente ajustados o no cuentan con sensores precisos, podrían dañar las semillas durante el proceso. Esto podría reducir la tasa de germinación y afectar el rendimiento.<sup>103</sup>

### Ejemplos

- **YuMi.** (Perú). Robot que automatiza tareas de plantación. Los expertos simulan, perfeccionan e implementan la programación necesaria para las tareas de YuMi en la selva desde Suecia. YuMi puede plantar alrededor de 540 semillas en un día, lo que equivale a dos campos de fútbol, siendo 9 veces mayor que la labor de una persona promedio.<sup>104</sup>
- **RO G 500 de Horsch.** (Brasil). Sembradora autónoma y de alta precisión con la capacidad de trabajar sin conductor, ya que la planificación se realiza por medio de computadoras. Su motor tiene una autonomía de hasta 10 horas y es capaz de sembrar hasta 20 hectáreas/hora.<sup>105</sup>
- **ExactShot de John Deere.** (EE. UU.). Sensor de plantación que registra el momento en el que cada semilla se introduce en el suelo. Cuando esto ocurre rocía sólo la cantidad de fertilizante necesaria sobre la semilla, lo que ayuda a la eficiencia de recursos.<sup>106</sup>

## Gestión de semillas

La gestión de las semillas incluye una serie de técnicas que afectan la calidad, disponibilidad y diversidad de semillas que utilizan los agricultores.<sup>107</sup>

En particular, la trazabilidad se refiere a la capacidad de seguir el rastro de alimentos, forrajes, animales y sustancias desde su producción hasta su distribución.<sup>108</sup> Por otro lado, las semillas certificadas (i.e. con garantía de calidad, pureza genética, poder germinativo, sanidad,

101. [Meatpucker JBS says it paid equivalent of \\$11 mln in ransomware attack | Reuters](#)

102. [Robots in Agriculture: Prospects, impacts, ethics, and policy](#)

103. [Siembra: claves para calibrar las máquinas y reducir las pérdidas | Argentina.gov.ar](#)

104. [Robot más remoto del mundo automatiza proyecto de reforestación del Amazonas | ABB](#)

105. [New developments in robotisation: HORSCH Gantry](#)

106. [John Deere Debuts New Planting Technology & Electric Excavator During CES 2023 Keynote](#)

107. [Understanding farmers' seed management practices](#)

108. [Food Traceability](#)

homogeneidad del lote y trazabilidad) están estrechamente relacionadas con la investigación en mejora genética y tecnológica para garantizar su calidad y capacidad de rastreo.

Los sensores, etiquetas inteligentes, códigos QR y sistemas de gestión de datos son herramientas comunes en la gestión de semillas. Las tecnologías emergentes, como el blockchain, están comenzando a ser probadas y ofrecen la promesa de mejorar significativamente la trazabilidad y la seguridad en todo el proceso.<sup>109</sup> Estas herramientas permiten la recopilación de datos en cada etapa de la cadena de suministro, desde el origen hasta la distribución, proporcionando un seguimiento preciso y un análisis integral.



## Contexto

Las semillas utilizadas en la agricultura provienen de tres fuentes principales: agricultores, el sector público y el sector privado. En 2022, el mercado mundial de semillas gestionado por empresas privadas creció alrededor de un 7%, alcanzando un valor cercano a los USD 45 mil millones.<sup>110</sup>

Para 2030, se prevé que las semillas genéticamente modificadas (GM) lideren el mercado, impulsadas por la creciente adopción en países asiáticos y la expansión de la producción de maíz y soja en Brasil.<sup>111</sup> Este crecimiento subraya la significativa influencia de la industria privada en la producción y distribución de semillas especializadas.

Por otro lado, las nuevas reglamentaciones en los principales destinos comerciales están acelerando la adopción de soluciones digitales en la agricultura. En junio de 2023, el Parlamento Europeo aprobó el Reglamento sobre productos libres de deforestación (EUDR), que exige que los productos agrícolas exportados a la Unión Europea demuestren que no provienen de tierras deforestadas. Agronegocios y agricultores en las cadenas de café, cacao, aceite de palma, ganado y soja serán los más afectados. En EE.UU. se analiza una legislación similar, lo que obliga a los exportadores latinoamericanos a digitalizar sus procesos para cumplir con las normativas de calidad. Por lo anterior, se espera que estas regulaciones impulsen el uso de tecnologías como códigos QR, etiquetas RFID y monitoreo satelital, a fin de cumplir con los requisitos del mercado.<sup>112</sup>

En México, el mercado de semillas, valorado en mil millones de dólares anuales, está compuesto por empresas sociales y comerciales que producen semillas certificadas para abastecer la superficie agrícola del país.<sup>113</sup> Se estima que se requieren alrededor de 600.000 toneladas de semillas certificadas al año para satisfacer la demanda agrícola. Aproximadamente una cuarta parte de este mercado corresponde a semillas de hortalizas<sup>114</sup> mientras que los cultivos que más utilizan semillas certificadas son trigo, maíz, avena, papa, soya, cebada y arroz.<sup>115</sup>

En el último año, la comercialización de semillas de hortalizas mostró un leve incremento, aunque aún enfrentó un déficit comercial superior a USD 466 millones. A pesar del potencial que ofrecen las semillas mejoradas para optimizar los cultivos, en México la producción no ha alcanzado su máximo potencial. Esto se debe, en parte, a la persistente práctica en varias regiones de utilizar granos de la cosecha anterior en lugar de las mejoradas,<sup>116</sup> con solo un 5% del total de semillas en uso siendo certificadas.<sup>117</sup>

109. [India turns to blockchain for seed distribution as adoption soars](#)

110. [Perspectiva sobre los mercados de protección de cultivos y semillas](#)

111. [Perspectiva sobre los mercados de protección de cultivos y semillas](#)

112. [Agritech LATAM](#)

113. [Programa Nacional de Semillas 2020-2024.](#)

114. [Semillas certificadas para agricultores mexicanos](#)

115. [Certificación de las semillas Mexico](#)

116. (Luna-Mena et al., 2016)

117. [Semillas certificadas para agricultores mexicanos](#)



## Riesgos

Poder garantizar la calidad, seguridad y autenticidad de las semillas es un aspecto diferencial, aunque también puede enfrentar ciertos riesgos:

### Fraude y falsificación

Un sistema vulnerable será propenso a falsificar información para vender productos de menor calidad o semillas de variedades diferentes como de alta calidad.

### Dependencia de la tecnología

La trazabilidad digital depende de sistemas tecnológicos continuos y funcionales. Fallos o problemas técnicos en estos sistemas pueden interrumpir el proceso impidiendo garantizar la calidad punta a punta.

### Interoperabilidad

Si diferentes partes de la cadena de suministro utilizan sistemas de trazabilidad digital incompatibles, puede ser difícil compartir y acceder a datos entre los actores de la cadena, lo que limita la eficacia de la trazabilidad.

### Ejemplos

- **BASF.** (Argentina). Propuesta integrada para ayudar a productores desde la siembra hasta la cosecha, ofreciendo trazabilidad de cada bolsa, controles de calidad por los que pasó y recomendaciones técnicas para análisis de poder germinativo.<sup>118</sup>
- **Tracestory.** (Argentina). Startup que ofrece un software de trazabilidad colaborativa, el cual pretende lograr la integración de la información end-to-end en tiempo real sin importar de qué cadena se trate o en qué punto del mundo se encuentre el cliente.<sup>119</sup>
- **TrackitAgro.** (Chile). Plataforma integrada con módulos de trazabilidad de cosecha, post cosecha, fitosanitaria, semillas y pallets dentro de entornos de almacenamiento, permitiendo un seguimiento de cada momento del proceso, midiendo producción, riesgos realtime.<sup>120</sup>

## Tecnología descartada: biotecnología y edición genética

La biotecnología agrícola es la práctica de modificar la genética de organismos en la producción agrícola<sup>121</sup> a través de desarrollos científicos como CRISPR-Cas9. Esta alternativa ofrece la posibilidad de mejorar los cultivos y la productividad,<sup>122</sup> sin embargo, su adopción a pequeña escala tiene algunas consideraciones:

118. [BASE](#)

119. [Trazabilidad Colaborativa en la Industria Frutihortícola](#)

120. [TrackitAgro](#)

121. [2. ¿Qué es la biotecnología agrícola?](#)

122. (ACIL Allen Consulting, 2019)



**Costos.** El desarrollo y la implementación de tecnologías biotecnológicas, como la edición de genes y la creación de organismos modificados genéticamente (OMG), requieren altas inversiones en I+D, así como los gastos y el tiempo del proceso de aprobación gubernamental de cada producto transgénico.



**Regulación y requisitos legales.** La biotecnología agrícola está sujeta a regulaciones estrictas en muchos países para garantizar la seguridad alimentaria y ambiental. Esto agrega complejidad y costos adicionales al proceso de adopción, y en algunos casos su comercialización y uso está prohibido.



**Escala de producción.** Muchas biotecnologías están diseñadas para su uso en grandes explotaciones agrícolas, lo que dificulta su aplicación rentable en pequeñas parcelas.



**Dependencia de las empresas.** La adopción de biotecnologías puede aumentar la dependencia de los agricultores. Esto puede resultar en una mayor concentración de poder

A pesar de estos desafíos, países como Brasil han experimentado un crecimiento significativo en la adopción de cultivos biotecnológicos, especialmente en la producción de soja, maíz y algodón.<sup>123</sup> Estos desarrollos destacan la necesidad de abordar responsablemente los aspectos financieros, reguladores y sociales de la biotecnología agrícola en diferentes contextos agrícolas.

## PROTECCIÓN DE LOS CULTIVOS

### Monitoreo de plagas

La FAO estima que entre el 20% y el 40% del rendimiento de cultivos se pierde anualmente debido a daños por plagas, destacando la importancia de la detección temprana. Es probable que el cambio climático también haga que las plagas sean más dañinas para los cultivos en intensidad, distribución y propagación.<sup>124</sup> El manejo integrado de plagas (MIP) es un enfoque estratégico que combina diversas técnicas para controlar plagas de manera efectiva y minimizar su impacto.<sup>125</sup> Surge como respuesta al uso excesivo de plaguicidas, que generó problemas como la resistencia y los brotes secundarios, además de preocupaciones sobre los efectos en la salud y el medio ambiente.<sup>126</sup>

La ADP optimiza el MIP mediante el uso de tecnologías como sensores y trampas electrónicas. Estos dispositivos permiten un monitoreo más preciso y oportuno, mejorando la eficacia en la aplicación de plaguicidas y reduciendo tanto los costos como los riesgos ambientales

123. (ISAAA, 2019)

124. [Pest and Pesticide Management](#)

125. Es sumamente difícil dar una definición unificada de MIP. A los fines del presente informe la ofrecida alcanza (Deguine et al., 2021).

126. [Manejo integrado de plagas y plaguicidas | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura | IPM and Pesticide Risk Reduction](#)

asociados con su uso excesivo. Entre las más utilizadas se encuentran sensores de imagen de bajo consumo, sensores acústicos, termografía para la detección de enfermedades, espectroscopia hiperespectral y cromatografía de gases.<sup>127</sup> La implementación efectiva de estas herramientas no solo mejora la sostenibilidad agrícola, sino que también proporciona alternativas viables a la dependencia de los agroquímicos tradicionales.



## Contexto

Aunque los plaguicidas son esenciales para proteger los cultivos de diversas amenazas, su uso intensivo plantea preocupaciones debido a sus efectos adversos en la salud y el medio ambiente, como la contaminación y la reducción de la biodiversidad. En 2022, se utilizaron 3.7 millones de toneladas de plaguicidas a nivel mundial, con Brasil encabezando la lista de usuarios, seguido por Estados Unidos, Indonesia y Argentina. En América Latina, países como Colombia presentan una alta intensidad de uso por hectárea, reflejando una fuerte dependencia de estos productos en la agricultura regional.<sup>128</sup>

El uso intensivo de pesticidas en la región ha generado crecientes preocupaciones. Las plantas transgénicas, diseñadas para resistir herbicidas, han aumentado la aplicación de mezclas químicas, cuyo impacto total aún no se comprende completamente. Cultivos como arroz, maíz y soja, fundamentales para la dieta regional, dependen de plaguicidas potencialmente peligrosos, exacerbando los problemas ambientales. Además, el cambio climático está favoreciendo la proliferación de plagas,<sup>129</sup> como las orugas que atacan la soja, agravando aún más los desafíos en la producción agrícola.<sup>130</sup>

En la temporada 2023/24, Brasil proyecta una cosecha superior a 300 millones de toneladas de granos,<sup>131</sup> con arroz, maíz y soja dominando el 92% de la producción y el 87% del área cosechada.<sup>132</sup> Sin embargo, este aumento viene acompañado de riesgos, como la propagación de plagas y un uso intensivo de agroquímicos, que ha alcanzado un millón de toneladas anuales, de las cuales el 90% son clasificadas como peligrosas.<sup>133</sup> En Argentina, la situación es igualmente preocupante, debido a plagas excepcionales que han reducido las estimaciones de cosecha de soja y maíz en un 20%, destacando la urgente necesidad de adoptar alternativas más sostenibles en ambos países.<sup>134</sup>

México enfrenta desafíos similares, con una alta dependencia de agroquímicos,<sup>135</sup> muchos de ellos prohibidos en otros países,<sup>136</sup> para mejorar la eficiencia y reducir costos. El uso excesivo de estos productos ha generado alertas por la contaminación del suelo, agua, plantas y animales, afectando la salud humana, especialmente en niños, y degradando los ecosistemas, incluyendo casos de bioacumulación en especies acuáticas.<sup>137</sup> Para combatir la aparición de plagas, las autoridades mexicanas han implementado soluciones de monitoreo y detección temprana, como sensores en palmeras<sup>138</sup> y trampas de succión en regiones cítricas.<sup>139</sup>

127. [Farm Revolution – Sensors for Crop Pest Detection](#)

128. [Pesticides use and trade 1990–2022](#)

129. [Bosques más vulnerables a plagas: un efecto del cambio climático que ya se observa en México](#)

130. [Clima faz pressão de lagartas explodir na safra brasileira de soja 2023/2024](#)

131. [Conab - Nova estimativa para a produção de grãos na safra 2023/2024 está em 297,54 milhões de toneladas](#)

132. [Em agosto, IBGE prevê safra recorde de 313,3 milhões de toneladas para 2023 | Agência de Notícias](#)

133. [Alerta sobre el impacto de los agrotóxicos en América Latina y el Caribe](#)

134. [Las principales plagas que representaron un dolor de cabeza en la campaña 2023/2024 · Agroverdad - Noticias e Información del Agro](#)

135. [Glifosato en México: ¿por qué el gobierno pospuso su prohibición?](#)

136. [Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México](#)

137. [Gobernanza Regulatoria en el Sector de Plaguicidas de México](#)

138. [Instalan sensores en palmeras para prevenir presencia de plagas](#)

139. [Trampas de succión para el monitoreo de plagas de alta movilidad](#)



## Riesgos

**Complejidad en el análisis.** Los sensores ópticos enfrentan desafíos debido a la cantidad y complejidad de los datos recopilados. Para su uso efectivo, se necesita un análisis de datos avanzado y enfoques estadísticos que aborden diversos problemas relacionados con las plagas. Esto incluye la detección temprana, la diferenciación entre tipos de plagas, la distinción de daños causados y la medición precisa de la gravedad de las enfermedades.

**Incidentes varios.** Modificación física involuntaria de un dispositivo de percepción lo que lo desvía de su funcionamiento habitual. Usualmente los dispositivos se encuentran instalados al aire libre y no cuentan con cajas a prueba de manipulaciones, ya que esto los encarecería. Esto lo expone a interacciones con agentes externos como personas, animales o equipos agrícolas.

**Problemas en la investigación** La investigación sobre el MIP suele ser fragmentada y se enfoca en aspectos aislados, como el conocimiento biológico y técnicas de control, sin una visión holística. Faltan estudios integrales e interdisciplinarios que aborden la biodiversidad, las interacciones dentro del agroecosistema y la ecología del paisaje. Además, hay una carencia de investigación socioeconómica sobre mercados, aplicaciones prácticas y ecología social relacionados con el MIP.

**Consideraciones ecológicas** Suelen pasarse por alto las dinámicas ecológicas dentro de los agroecosistemas y su capacidad para resistir las presiones de las plagas. Además, se observa una notable ausencia de énfasis en los factores agronómicos y las medidas preventivas no químicas en la investigación sobre el MIP.

**Efectividad variada.** En ciertos casos, el MIP puede no ser tan efectivo como los métodos tradicionales de control de plagas, especialmente cuando se enfrenta a plagas resistentes o situaciones avanzadas de infestación. En tales circunstancias, pueden ser necesarias medidas de control más intensivas, como el uso de pesticidas químicos.<sup>140</sup>

### Ejemplos

● **SIMA AgTech.** (Argentina). Plataforma de monitoreo georreferenciado que analiza información y genera insights para ayudar en la toma de decisiones. Junto a Bayer trabajan en el control de la cigarrinha del maíz en Brasil. El insecto es exclusivo de este cultivo y provoca raquitismo, pudiendo ocasionar pérdidas de hasta el 90% si no es tratada a tiempo.<sup>141</sup>

● **Trapview.** (Eslovenia). Permite controlar a distancia los insectos atrapados en las trampas de feromonas. Se envían alertas en tiempo real cuando se necesita fumigar, en base al alto número de insectos detectados. Además, se suben imágenes a la nube al menos una vez al día, luego son procesadas y analizadas mediante machine learning (ML) para identificar cada uno de los insectos fotografiados.<sup>142</sup>

140. (Deguine et al., 2021)

141. [SIMA](#)

142. [Trapview](#)

- **Field Manager de Xarvio.** (Alemania). Plataforma que puede detectar más de 120 tipos de malezas y 200 enfermedades en más de 40 cultivos. Permite estar conectado 24/7 monitoreando los lotes a través de imágenes satelitales de alta calidad, y con mapas específicos.<sup>143</sup>
- **iSCOUT de Metos.** (Austria). Dispositivo ligero con electrónica integrada y placa adhesiva. Es autosuficiente, ya que se alimenta de un panel solar y una batería. Varias cámaras toman imágenes de alta resolución de la placa adhesiva, que se envían por GPRS a la plataforma donde se analizan con detección automática de plagas.<sup>144</sup>

## IA y machine learning

Se puede definir a la IA como un campo de estudio que fusiona ciencias de la computación con robustos conjuntos de datos para facilitar la resolución de problemas.<sup>145</sup> El *machine learning* (ML) o aprendizaje automático es una disciplina de la IA que se enfoca en la utilización de datos y algoritmos para emular el proceso de aprendizaje humano, con la finalidad de mejorar su precisión de manera gradual.<sup>146</sup>

Comprendiendo los modelos de entrenamiento puede utilizarse para predecir en base a datos de entrada en áreas como el control de niveles de agua, la detección de enfermedades mediante el procesamiento de imágenes, frutos y hojas enfermas, y con esto estimar rendimiento de distintos cultivos en diferentes regiones. Por esta razón, la conexión entre estas tecnologías y el sector agrícola se considera de suma importancia.<sup>147</sup>



### Contexto

México La aplicación de IA en la agricultura no es nueva; hace más de dos décadas se usan sistemas de conducción automática en cultivos como el maíz. Sin embargo, su adopción ha crecido rápidamente en los últimos años.<sup>148</sup> El ML ha emergido como una herramienta interesante en la agricultura moderna, especialmente en la gestión de cultivos, riego, suelo y ganado. Esta tecnología se utiliza para predecir el rendimiento de los cultivos, detectar enfermedades, identificar malezas, reconocer tipos de cultivos y evaluar la calidad de los productos agrícolas.<sup>149</sup> Los datos generados provienen de sensores que mejoran la comprensión de las condiciones cambiantes en los cultivos, el suelo, el clima y la maquinaria agrícola. Esta información permite una toma de decisiones más ágil y precisa a través del procesamiento intensivo de datos, en combinación con el big data y la informática de alto rendimiento.<sup>150</sup>

La IA es una herramienta versátil que se adapta a diversos cultivos, regiones y etapas del proceso agrícola. Facilita el control de plagas y malezas, el monitoreo de la calidad del suelo y la gestión automatizada del riego y los fertilizantes. Se estima que para 2030, la IA aportará hasta USD 15.7 mil millones a la economía global, de los cuales unos USD 6.6 mil millones estarán vinculados al aumento de la productividad agrícola.<sup>151</sup>

143. [FIELD MANAGER](#)

144. [Vigilancia de insectos - METOS® by Pessl Instruments](#)

145. [BID Tech Report AI](#)

146. [What is Machine Learning? | IBM](#)

147. (Casadiego, 2020)

148. [Las granjas estadounidenses están dando un paso urgente hacia la inteligencia artificial, que podría ayudar a alimentar al mundo](#)

149. (Benos et al., 2021)

150. (Liakos et al., 2018)

151. (PwC, 2017)

El 55% de las startups tecnológicas en América Latina y el Caribe se enfocan en soluciones agrícolas y alimentarias basadas en IA. Brasil lidera con el 51%, seguido de Argentina con el 23%, mientras que la región andina contribuye con el 18% y Uruguay y Paraguay con el 5%. América Central y el Caribe tienen una participación mínima.<sup>152</sup>

México, por su parte, se destaca en la adopción de IA, siendo el primer país de la región y uno de los primeros diez en el mundo en lanzar una Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial.<sup>153</sup> Con un enfoque en la digitalización, el país estableció el acceso a Internet como un derecho humano y ha fomentado un ecosistema multisectorial para facilitar la adopción de IA.<sup>154</sup>

Entre las iniciativas destacadas, se están desarrollando algoritmos para identificar y analizar cultivos agrícolas mediante imágenes satelitales, con el objetivo de abordar problemas como la escasez de mano de obra, los altos costos de producción y el desperdicio en el sector.<sup>155</sup> Además, se está utilizando tecnología de vehículos aéreos no tripulados (VANT) y machine learning (ML) para estimar el nitrógeno en las plantas, creando modelos predictivos que optimizan la producción agrícola, mejoran la eficiencia de los recursos y reducen el impacto ambiental, promoviendo así la sostenibilidad del sector.<sup>156</sup>



## Riesgos potenciales

Existen riesgos relacionados con la confiabilidad y la relevancia de los datos agrícolas, las consecuencias socio-ecológicas no deseadas que resultan de los modelos de ML, y preocupaciones de seguridad asociadas con la implementación de estas plataformas a gran escala.<sup>157</sup>

### Impacto ambiental negativo

De existir fallas (accidentales o provocadas), los sistemas de IA pueden programarse solo para brindar el mejor rendimiento de cultivo a corto plazo ignorando sus consecuencias ambientales. Esto podría llevar al uso excesivo de fertilizantes y pesticidas, resultando en la contaminación del suelo y las vías fluviales, así como la erosión a largo plazo, perjudicando la sostenibilidad ambiental.<sup>158</sup>

### Desigualdad en la agricultura.

Aunque la IA ofrece ventajas en la toma de decisiones agrícolas, su adopción puede generar desigualdades, especialmente para los agricultores de menor escala. La falta de acceso a tecnologías avanzadas, como drones y sensores, debido a la marginación y la brecha digital, podría dejarlos excluidos afectando negativamente a la equidad del sector.<sup>159</sup>

### Sesgos

Los modelos de ML se entrenan con datos iniciales que deben ser representativos de los posibles escenarios. Si los datos de entrenamiento están sesgados, el modelo puede producir resultados inexactos, inestables o incompletos. Además, la exclusión, intencionada o involuntaria, de ciertos grupos despierta preocupaciones éticas al sesgar los resultados de los algoritmos.

### Calibración dinámica

El ML es un campo dinámico en constante evolución. Los modelos ajustan sus parámetros para adaptarse a nuevos patrones de datos. Esto requiere un enfoque de gestión de riesgos dinámico orientado al contexto agrícola, ya que el control periódico tradicional no es suficiente.<sup>160</sup>

152. (Mont et al., 2020)

153. [Estrategia de Inteligencia Artificial MX 2018](#)

154. [Mexico: the story and lessons behind Latin America's first AI strategy Policy Brief #15](#)

155. [Registran cultivos agrícolas con algoritmos de deep learning](#)

156. [El auge de la agricultura inteligente: explorando las aplicaciones de drones](#)

157. [Los riesgos que representa para la seguridad alimentaria el uso de Inteligencia Artificial](#)

158. (Tzachor et al., 2022)

159. Ver también los riesgos de "Robots para cosecha", más arriba.

160. [Por qué a veces la Inteligencia Artificial no termina de despegar](#)

## Ejemplos

- **Neltume Agro.** (Chile). Su servicio permite vigilar clima, población y fenología en terreno, usando IA, sensores y cámaras. Realizan un monitoreo remoto de plagas a través de fotografías de las trampas, mientras los sensores miden temperatura y humedad. Con esa información se recomienda el uso de plaguicidas, buscando ajustarse a los ciclos de la plaga en control.<sup>161</sup>
- **Crop Advisor de Instacrops.** (Chile). Recopila datos minuto a minuto para cosechar información relevante para la toma de decisiones. Mediante el uso de técnicas de IA, ML y visión computacional, el sistema genera informes periódicos con recomendaciones de manejo y pronósticos altamente focalizados.<sup>162</sup>
- **Xarvio SCOUTING de BASF.** (Alemania). Solución digital equipada con reconocimiento de imágenes y algoritmos de aprendizaje automático, que permite monitorear los campos en busca de factores de estrés, como malezas y enfermedades.<sup>163</sup>

## Drones

El término “dron” se refiere a aeronaves no tripuladas, también conocidas como vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés). Estos UAV varían en tamaño, desde aviones hasta unidades del tamaño de una mano.<sup>164</sup>

Los drones tienen la capacidad de utilizar tecnologías específicas para la agricultura, como cámaras multiespectrales que capturan imágenes en múltiples longitudes de onda para identificar cambios en la salud de los cultivos mediante variaciones infrarrojas. Su software especializado proporciona soluciones de mapeo, fotogrametría y topografía, lo que los convierte en herramientas ideales para la vigilancia y el seguimiento agrícola. Estas imágenes multiespectrales permiten detectar signos de estrés en los cultivos y generar mapas de Índice de Vegetación Digital Normalizado (NDVI). Estos datos se utilizan para optimizar la aplicación de fertilizantes, pesticidas y herbicidas.<sup>165</sup>

Gracias a avances tecnológicos y a la disminución de costos, el sector agrícola ha podido aprovechar al máximo la tecnología de los drones. Según la FAO, los drones ofrecen ventajas notables en la agricultura, como su versatilidad, costos más bajos en comparación con aeronaves tradicionales como avionetas y helicópteros, capacidad para acceder a áreas remotas y monitorear grandes extensiones de terreno de manera eficiente, y la capacidad de recopilar datos sobre áreas específicas de cultivo.<sup>166</sup>



## Contexto

En 2016 el mercado global de drones ya tenía un valor superior a los USD 127 mil millones, con el sector agrícola representando el 25% del total (equivalente a USD 32 mil millones).<sup>167</sup>

161. [Neltume Agro](#)

162. [CROP ADVISOR | Instacrops](#)

163. [BASF lanza xarvio@ SCOUTING en México para ayudar a los productores en la toma de las mejores decisiones agrícolas](#)

164. [What Is a Drone? Uses of Drones and Definition. | Built In](#)

165. <https://agrifutures.com.au/wp-content/uploads/2019/01/18-047.pdf>

166. [E-Agriculture in action: drones for agriculture | FAO](#)

167. [Global market for commercial applications of drone technology valued at over \\$127bn - Press room](#)

En América Latina la mayor parte de las ventas de drones se reparten entre Brasil, México y Argentina.<sup>168</sup>

A pesar de las perspectivas positivas, las regulaciones sobre el uso de drones varían significativamente entre los países de la región. Esta diversidad abarca desde prohibiciones totales hasta la ausencia de restricciones, reflejando un panorama regulatorio desigual:

- **Argentina, Brasil, Ecuador, México, Costa Rica y Puerto Rico.** Regulan el uso de drones bajo el principio de “línea de visión”, es decir, los operadores deben mantener contacto visual con los drones y, por lo general, obtener licencias o permisos.
- **Chile, Perú y Colombia.** Tienen regulaciones que requieren el registro de drones y, en algunos casos, autorizaciones adicionales.
- **Uruguay, Paraguay y Bolivia.** No cuentan con legislación específica relacionada con drones.
- **Cuba y Nicaragua.** Prohíben completamente el uso de drones.

Estas diferencias en la regulación reflejan la complejidad en la aplicación generalizada de drones en la agricultura, y la necesidad de abordar adecuadamente las preocupaciones de seguridad y privacidad mientras se promueve su uso en diferentes sectores.

En México, la adopción de drones agrícolas está en aumento, con alrededor de 1,500 drones en operación, incluso en grandes empresas que han integrado la registración de drones en sus procesos agrícolas.<sup>169</sup> Estos dispositivos optimizan la productividad y eficiencia, convirtiéndose en una inversión rentable a pesar del costo inicial. Los beneficios a largo plazo, como la reducción de costos de mano de obra y el aumento de rendimientos, aseguran un retorno significativo de la inversión.<sup>170</sup>



## Riesgos potenciales

- Duración de vuelo y alcance** Debido a que deben llevar cargas relativamente pesadas, la duración de vuelo de los drones agrícolas suele ser corta, variando entre 20 y 60 minutos. Esto resulta en una cobertura limitada de tierra con cada carga. El costo de los drones aumenta con una duración de vuelo más larga.<sup>171</sup>
- Costo inicial** Si bien existen drones más económicos, los dispositivos se encarecen al adicionar el costo de sensores de imágenes, software, hardware y herramientas específicas.
- Conectividad** La cobertura en línea generalmente no está disponible en todas las zonas agrícolas. En tales circunstancias, cualquier agricultor que desee utilizar drones debe invertir en conectividad o comprar un dron con capacidad de almacenamiento de datos locales en un formato que pueda transferirse y procesarse posteriormente.<sup>172</sup>
- Dependencia del clima** Bajo condiciones ventosas o lluviosas, volar drones no es fácil, a diferencia de las aeronaves tradicionales.
- Uso incorrecto** Existe la posibilidad de un uso indebido que infrinja la privacidad de las personas, de los espacios y la transferencia ilegal de información.

168. [La industria de los drones en Argentina](#)

169. [Corteva registro en México para la aplicación con drones de uno de sus productos.](#)

170. [Aplicaciones de drones en la agricultura: monitoreo de cultivos](#)

171. (Pathak et al., 2020)

172. Ver el apartado sobre conectividad 5G.

## Ejemplos

- **SpaceAG Air.** (Perú). Ofrece monitoreo del cultivo y de variables como problemas de riego, vigor de las plantas, inspecciones de campo focalizadas y proyecciones de cosecha. La información proporcionada permite generar ganancias adicionales de más de 10% por hectárea.<sup>173</sup>
- **Arpac.** (Brasil). Ofrece drones profesionales de fabricación propia para la aplicación de pesticidas químicos y agentes biológicos, así como para el mapeo cartográfico. Además incluyen mantenimiento y contacto directo para la creación de nuevas soluciones particulares para el agricultor.<sup>174</sup>
- **DJI AGRAS T40 de Akron.** (China). ‘Megadrone’ totalmente eléctrico con tanque de 40 litros y 50 Kg de capacidad de carga para fertilizantes. Es apto para trabajos de pulverización, fertilización, siembras de cobertura y relevamiento de suelos. A su vez, posee como elemento de seguridad un sistema anticollisión.<sup>175</sup>
- **HD540Pro de Huida Technology.** (México). Se ha implementado en Ensenada de Mexicali un dron para rociar nutrientes y pesticidas en huertos locales, mejorando la eficiencia en la plantación en un 60%.<sup>176</sup>

## Tecnología descartada: nanotecnología

La nanotecnología implica la manipulación de la materia a una escala extremadamente pequeña,<sup>177</sup> y ofrece oportunidades interesantes para la agricultura, con aplicaciones de nanofertilizantes, nanopesticidas y nanoherbicidas que pueden aumentar la producción de alimentos de manera sostenible y reducir el impacto ambiental.<sup>178</sup>

Los nanomateriales (NMs) destacan como una alternativa atractiva a los materiales convencionales debido a sus características mejoradas. Los pesticidas y fertilizantes producidos a nivel nanométrico han demostrado ser altamente eficientes en la liberación dirigida y controlada de agroquímicos, lo que resulta en una mayor efectividad biológica, mejorando el rendimiento y la productividad de los cultivos.<sup>179</sup>

No obstante, la nanotecnología también plantea preocupaciones sobre posibles riesgos para la salud y el medio ambiente, especialmente por la acumulación de nanomateriales y su posible entrada en la cadena alimentaria.<sup>180</sup> Un ejemplo es el caso de la soja expuesta a NMs, que puede acumular metales en sus hojas y granos,<sup>181</sup> afectando negativamente la fertilidad del suelo y generando dudas sobre la calidad del suelo y el agua.<sup>182</sup>

Aunque las inversiones globales en investigación y desarrollo de nanotecnología han crecido en los últimos años,<sup>183</sup> los países en desarrollo enfrentan dificultades para adoptar esta tecnología debido a limitaciones financieras, de infraestructura y de recursos humanos. Por ello, es crucial que se enfoquen en áreas de la nanotecnología donde puedan tener ventajas competitivas, ya que competir con los principales productores es un reto considerable.<sup>184</sup>

173. [SpaceAG Air: Drones en la agricultura](#)

174. [Arpac Drones](#)

175. [Dji - Akron](#)

176. [Agricultores mexicanos utilizan el dron HD540Pro para mejorar su eficiencia en huertos](#)

177. (FOLADORI et al., 2008)

178. [La nanotecnología en la agricultura y rehabilitación de suelos contaminados](#)

179. [Uso de nanomateriales en la agricultura y sus implicaciones ecológicas y ambientales](#)

180. (Grùère et al., 2011)

181. (Chen et al., 2003)

182. (Priester et al., 2012)

183. [Nanotechnology Update: Corporations Up Their Spending as Revenues for Nano-enabled Products Increase](#)

184. (Foladori & Invernizzi, 2005)

# GESTIÓN DE LOS CULTIVOS

## Sistemas de riego automatizado

En la agricultura, un sistema de riego eficiente es tan importante como la calidad de las semillas que se siembran. El riego será garante de que el cultivo prospere y pueda generar los productos esperados.<sup>185</sup> A su vez, la escasez de agua, un problema global que afecta especialmente a los cultivos de áreas remotas y desérticas, ha impulsado la adopción de sistemas de riego automatizados como solución para optimizar el uso del agua, supervisar las operaciones agrícolas y reducir costos.

Estos sistemas inteligentes combinan tecnologías avanzadas, sensores y algoritmos para gestionar la irrigación de forma precisa y automatizada. Monitorean parámetros como la temperatura, la humedad del aire y del suelo, ajustando de manera autónoma cuándo y cuánta agua aplicar. Además, muchos sistemas incorporan fertirrigación, que permite la aplicación simultánea de agua y fertilizantes a través del mismo sistema.<sup>186, 187</sup>

Las últimas innovaciones en este campo incorporan tecnologías de IA y ML, lo que les permite adaptarse a condiciones cambiantes y optimizar aún más el uso del agua. Estos avances representan una oportunidad crucial para abordar el desafío de la disponibilidad de agua y mejorar la eficiencia de la agricultura al tiempo que reducen su impacto ambiental.



### Contexto

La agricultura consume aproximadamente el 70% del agua dulce extraída a nivel mundial, siendo responsable de una gran parte del uso de este recurso vital. Aunque solo el 20% de la superficie cultivada global cuenta con sistemas de riego, esta área genera el 40% de la producción alimentaria, lo que resalta la importancia del riego en la seguridad alimentaria mundial.<sup>188</sup> La gestión eficiente de estos sistemas ante la creciente escasez de agua provocada por el cambio climático, el aumento de las temperaturas y las actividades humanas que impactan negativamente el medio ambiente se vuelve un asunto de urgencia.

En América Latina la sequía es un problema cada vez más frecuente. En las últimas dos décadas, la región ha experimentado 74 sequías que han causado daños valorados en más de USD 13.000 millones.<sup>189</sup> Este fenómeno afecta gravemente la producción agropecuaria y los medios de vida de los agricultores, especialmente aquellos en situación de vulnerabilidad. Un ejemplo claro es el Corredor Seco en la costa del Pacífico centroamericano, donde más del 50% de los pequeños agricultores enfrentan la sequía y la inseguridad alimentaria, exacerbando su situación de precariedad.<sup>190</sup>

La sequía prolongada en México está causando una grave crisis en el sector agrícola, donde el 82% de las parcelas dependen de las lluvias, para la producción agrícola y la ganadera.<sup>191</sup> Estados como Chihuahua, Sinaloa y Tamaulipas han visto una reducción en la superficie cultivada y una caída en la producción de cultivos clave como maíz, frijol y chile, lo que ha incrementado los precios de los alimentos, afectando tanto a productores como a consumidores.<sup>192</sup> Aunque se están implementando medidas a corto plazo, como apoyo

185. [Sistema de riego por goteo automatizado](#)

187. [¿Que es la Fertirrigación? - Marco A. Oltra](#)

188. [El agua en la agricultura](#)

189. [Cada gota cuenta: es tiempo de actuar en América Latina y el Caribe](#)

190. [Cada gota cuenta: es tiempo de actuar en América Latina y el Caribe](#)

191. [Consecuencias de la sequía en México](#)

192. [Crisis en el campo: sequía prolongada afecta severamente la agricultura en México](#)

financiero a los agricultores, la promoción de técnicas de riego más eficientes y el fomento de variedades de cultivos más resistentes a condiciones extremas, se requieren soluciones a largo plazo que aborden el cambio climático y una mejor gestión del agua para mitigar los efectos de esta crisis y garantizar la sostenibilidad del campo mexicano.<sup>193</sup>

Ante esta situación, la adopción de sistemas de riego automatizado y por goteo se presenta como una solución para optimizar el uso del agua, asegurar un suministro constante a los cultivos y reducir los efectos de las sequías. Estos sistemas no solo mejoran la eficiencia del riego, sino que también contribuyen a la seguridad alimentaria y a la sostenibilidad del sector agrícola en México, mitigando los impactos negativos del cambio climático en la producción agrícola.



## Riesgos

En los cultivos de gran escala los sistemas de riego suelen presentar desafíos en términos de eficiencia.<sup>194</sup>

**Impacto Ambiental** Si no se gestionan adecuadamente, los sistemas de riego automatizado pueden contribuir al agotamiento de recursos hídricos locales y al desperdicio de agua si no se programan y controlan adecuadamente.

**Confiabilidad** La normalización de los sistemas y la calibración de los parámetros de variabilidad se realizan en persona, lo cual puede ser propenso a errores humanos. Esto puede resultar en fallos en el sistema de riego que afectan su rendimiento y precisión, poniendo en riesgo la eficiencia del cultivo.

**Conectividad** La conectividad de máquina a máquina (M2M) ha sido un problema en las zonas rurales, lo que dificulta la implementación de soluciones tecnológicas.

**Condiciones del entorno** Es normal que la presencia de barro, sales de calcio, arena y elementos sólidos taponen el dispositivo y entorpezcan el riego de los cultivos.

### Ejemplos

● **BrioAgro.** (España). Sistema inteligente que funciona como un robot regador adaptándose al tipo de suelo y cultivo, consiguiendo ahorros de agua, electricidad y fertilizantes. El sistema se encarga de manera autónoma de realizar los aportes al cultivo cuando lo necesita. Los ahorros de agua rondan entre el 20% y el 50%, a lo que se le añaden los ahorros de mano de obra imputada al riego y la fertilización.<sup>195</sup>

● **Knitink Technologies.** (España). Sistema de control de riego y fertirrigación adaptado a las necesidades del cultivo. Permite establecer una red inalámbrica que gestiona desde el bombeo y el filtrado, hasta la fertirrigación, las válvulas en campo y los sensores, permitiendo la monitorización y gestión de la información en tiempo real.<sup>196</sup>

193. [Crisis en el campo: sequía prolongada afecta severamente la agricultura en México](#)

194. [Agrotech: Soluciones IoT para un uso inteligente de los recursos hídricos – Monolitic](#)

195. [Riego automático Aqua - Brioagro](#)

196. [KNITINK](#)

- **Netafim.** (México). Combina el riego automático con la aplicación de fertilizantes. La fertirrigación de precisión es la herramienta óptima para el manejo de la zona radicular ya que proporciona la correcta combinación de agua y nutrientes directamente a la raíz de cada planta, de acuerdo a cada ciclo del cultivo.<sup>197</sup>
- **Kilimo.** (Argentina). Combina imágenes satelitales y datos meteorológicos, mediante IA y big data, para indicar a los agricultores cuánta agua regar a sus cultivos. Los clientes reciben un mensaje en el que les dicen puntualmente cuántos milímetros de agua regar.<sup>198</sup>

## Invernaderos inteligentes

La agricultura en entornos controlados, como los invernaderos inteligentes, ejemplifica la aplicación del Internet de las cosas (IoT) en la agricultura. Estos invernaderos crean un microclima autónomo para el crecimiento de las plantas mediante la incorporación de sensores y sistemas de supervisión.<sup>199</sup> Pueden ser utilizados en diversos tipos de invernaderos, incluyendo los de hidroponía, aeroponía y agricultura vertical.

La hidroponía sumerge las raíces de las plantas en agua, mientras que la aeroponía mantiene las raíces en el aire y las rocía con una solución de nutrientes. La agricultura vertical organiza los cultivos en capas superpuestas. Estas técnicas se han vuelto una práctica significativa debido a la desigualdad en la distribución de los cultivos entre grandes explotaciones y los pequeños productores.<sup>200</sup> Un estudio resalta que el cultivo vertical de trigo en una sola hectárea podría generar hasta 600 veces más producción que los métodos tradicionales.<sup>201</sup>



### Contexto

Los agricultores de pequeña escala, que operan en menos de dos hectáreas de tierra, producen alrededor de un tercio de los alimentos a nivel mundial. Sin embargo, enfrentan grandes dificultades para integrarse en las cadenas de suministro.<sup>202</sup> Aunque el 90% de las explotaciones agrícolas son familiares, el 1% de las explotaciones más grandes controla el 70% de las tierras de cultivo y abastece predominantemente a los sistemas alimentarios corporativos.<sup>203</sup>

Los invernaderos han surgido como una solución para la agricultura en espacios limitados o urbanos, permitiendo la producción continua durante todo el año. Estos son ideales para cultivos como hortalizas, tomates y berries, mientras que la agricultura vertical, que se enfoca en hojas verdes y hierbas, ofrece una alternativa para cultivar de manera intensiva.<sup>204</sup> Esta técnica optimiza el uso de recursos hídricos, reduce las distancias entre la producción y el abastecimiento, y contribuye a la autonomía alimentaria al controlar de manera óptima los elementos necesarios para el desarrollo de las plantas.<sup>205</sup>

En México, la agricultura protegida ha demostrado ser técnica, agronómica y económicamente viable en la región norte de Tamaulipas, permitiendo la diversificación del esquema de producción y el suministro continuo de hortalizas como tomates, pepinos

197. [Fertirrigación de precisión](#)

198. [Kilimo](#)

199. [Smart greenhouse - Designing Buildings](#)

200. [El \(impactante\) estado de la desigualdad de la tierra en el mundo](#)

201. [Wheat yield potential in controlled-environment vertical farms | PNAS](#)

202. [Los pequeños agricultores familiares producen alrededor de un tercio de los alimentos del mundo](#)

203. [El \(impactante\) estado de la desigualdad de la tierra en el mundo](#)

204. [¿Qué cultivar en un invernadero? | Agropinos](#)

205. [Proyecto Agricultura Vertical: Innovación para la horticultura en América Latina y el Caribe \(ALC\)](#)

y chiles a mercados locales, nacionales e internacionales, incluso durante los meses con climas adversos. El uso de invernaderos ha permitido un ahorro de agua de hasta un 30% en comparación con los sistemas de riego a cielo abierto.<sup>206</sup>

Este enfoque tiene el potencial de beneficiar significativamente la producción de tomate y pepinos en el país. Actualmente, México exporta aproximadamente 1.7 millones de toneladas de tomate al año.<sup>207</sup> El ciclo agrícola 2024 en la zona costa de Baja California muestra un avance del 51% en hectáreas sembradas, con el tomate liderando, seguido por el chile y también cebolla y pepino. La principal tecnología utilizada en esta región es la Agricultura Protegida, que incluye el uso de invernaderos y malla sombra para controlar las condiciones ambientales.<sup>208</sup>

Además, México ha superado el millón de toneladas de pepinos en 2023,<sup>209</sup> consolidándose como el quinto productor y tercer exportador mundial de este vegetal.<sup>210</sup> La implementación generalizada de técnicas de agricultura protegida y vertical podría mejorar aún más estos rendimientos, ofreciendo una oportunidad para maximizar la eficiencia en la producción de hortalizas, incluso en contextos extremos como la sequía.



## Riesgos

Algunos de los riesgos asociados a la implementación de estas soluciones son:<sup>211</sup>

**Costo inicial** La instalación y operación puede ser costosa (iluminación LED, sistemas de riego automatizados, sensores, etc.). Estos costos iniciales pueden ser prohibitivos para agricultores con recursos limitados.

**Escalabilidad** El número de cultivos y el volumen de producción no es tan grande como el de la agricultura tradicional, y la ampliación a escala puede agregar costos y complejidad. Tampoco admite el cultivo de productos extensivos como el maíz y el trigo.

**Uso de energía y sostenibilidad** Existe un costo energético alto asociado con la cantidad de luz que se necesita para los diferentes tipos de plantas. Y dependiendo del tipo de cultivo también existe la necesidad de calefacción, ventilación y refrigeración, lo que contribuye a la huella de carbono.

### Ejemplos

● **Verde Compacto.** (México). Sistema inteligente de cultivo en contenedores que permite obtener vegetales durante todo el año. El sistema utiliza hidroponía vertical y puede producir hasta 200 veces más vegetales por m<sup>2</sup> que los métodos tradicionales. También ahorra hasta un 90% de agua y es completamente automatizado.<sup>212</sup>

● **Karma Verde Fresh.** (México). Racks de cultivo y luces LED, que utilizan un 90% menos de agua y un 95% menos de espacio en comparación con la agricultura

206. [Mayor rendimiento en cultivo de hortalizas en invernadero](#)

207. [De Nuestra cosecha...](#)

208. [Lidera el cultivo del tomate, las siembras del PV 2024 en la zona costa de BC](#)

209. [Reporte Anual PEPINOS](#)

210. [El pepino y su vocación exportadora.](#)

211. [These are the 7 biggest DISADVANTAGES of vertical farming — Home](#)

212. [Verde Compacto](#)

tradicional. Además, se caracterizan por ser completamente libres de herbicidas y pesticidas, y tener cosechas anuales con un ciclo no mayor a 25 o 40 días.<sup>213</sup>

- **Ays Proje.** (Turquía). Invernadero con doble ventilación para la producción de berries. Además sus sistemas de infraestructura se han diseñado para adaptarse a las plantas de tomate. Incluye controlador de clima, pantalla especializada de sombreo, inyección de CO2 y ventilación forzada.<sup>214</sup>

## Tecnología descartada: realidad aumentada y virtual

La realidad virtual (RV) crea entornos tridimensionales inmersivos que permiten a los usuarios experimentar situaciones simuladas, mientras que la realidad aumentada (RA) añade capas digitales al mundo real, mejorando la interacción en tiempo real.<sup>215</sup>

En los últimos años, estas tecnologías han ganado interés, especialmente en la industria manufacturera, donde se utilizan en diversas aplicaciones como las líneas de ensamblaje.<sup>216</sup> También han atraído atención en la mejora de experiencias de consumo y en el ámbito educativo.<sup>217</sup>

En la ADP, estas tecnologías podrían potencialmente optimizar la gestión de cultivos mediante recorridos digitales de campos, levantamientos de cultivos, capacitaciones en el uso de maquinaria agrícola y soporte en su reparación.<sup>218</sup>

No obstante, el uso de estas tecnologías en la agricultura sigue siendo experimental. Su efectividad se ve limitada no solo por la falta de madurez tecnológica, sino también por su dependencia de herramientas complementarias como sensores, redes, ML y conectividad. La escasez de investigación y publicaciones sobre la aplicación de la RA en la agricultura, con pocos artículos entre 2016 y 2021, indica que estas tecnologías aún están en una fase temprana de desarrollo y no han alcanzado un nivel de madurez suficiente.<sup>219</sup>

## COSECHA INTELIGENTE

### Robots para cosecha

Los *agrobots* abarcan desde cosechadoras automáticas hasta dispositivos de conducción autónoma que emplean visión artificial y GPS para realizar trayectos seguros en los campos.<sup>220</sup> Diseñados especialmente para cubrir la escasez de mano de obra, aumentar la velocidad y mejorar la eficiencia de las operaciones agrícolas.<sup>221</sup>

213. [Karma Verde Fresh](#)

214. [Pagina Principal - Sistemas de invernaderos modernos llave en mano](#)

215. [BID Tech Report Metaverse](#)

216. (Bottani & Vignali, 2019)

217. [Discover the practical applications of AR and VR in various sectors](#)

218. [Augmented Reality Revolutionizing Agriculture Industry](#)

219. (Hurst et al., 2021)

220. [Agricultura automatizada y robótica agrícola - Ventajas y Desventajas](#)

221. [Agricultural Harvesting Robot Concept Design and System Components: A Review](#)

Los tractores autónomos son vehículos no tripulados (UGV, del inglés *unmanned ground vehicle*) operados mediante un sistema inteligente que cuentan con sensores que recopilan información para su análisis. Suelen utilizarse en áreas de gran extensión en las explotaciones agrícolas, entre otras cosas para minimizar su riesgo de colisión.<sup>222</sup>

En algunos casos estos robots cosechadores poseen brazos mecánicos que manipulan con cuidado y precisión los frutos, cosechando y transportando solo los alimentos maduros gracias a un sistema de detección automática.<sup>223</sup>



## Contexto

La cosecha es un momento crucial en la producción agrícola, ya que su timing afecta directamente la calidad, cantidad y disponibilidad de alimentos y materias primas, y tiene un impacto significativo en la economía agrícola. Las cosechadoras automáticas se utilizan en una variedad de cultivos donde la inversión en tecnología puede justificarse por su eficiencia. Estas máquinas son comunes en cultivos extensivos como granos y cereales, tubérculos y legumbres, así como en cultivos que requieren precisión, como frutas, hortalizas y café.<sup>224</sup>

El café tiene la distinción de ser el segundo producto más comercializado del mundo, y todos los países productores de café comparten un rasgo común: están situados en las regiones tropicales. América Latina tiene una gran participación en el cultivo y comercialización de este producto a nivel mundial.<sup>225</sup> Para 2024, Brasil espera superar su cosecha del año anterior en un 7%.<sup>226</sup> De manera similar, Honduras, líder en Centroamérica, anticipa un aumento del 8% en su producción de café para el período 2024/2025 en comparación con el año previo.<sup>227</sup> Estos datos reflejan un crecimiento continuo en la producción y exportación de café en la región centroamericana.<sup>228</sup>

En ese sentido, las cosechadoras automáticas son capaces de desempeñar un papel fundamental en la cosecha de café, ya que la calidad del producto final depende de una recolección precisa de las bayas. Estas máquinas no solo cosechan de manera eficiente, sino que también recopilan información valiosa sobre la salud de los cafetos, como la condición de las ramas y hojas, y detectan tempranamente posibles plagas o enfermedades que puedan afectar a las plantas.<sup>229</sup>

Hoy en día, existen cosechadoras que pueden extraer granos de café en segundos, una tarea que tradicionalmente requeriría muchas horas de trabajo manual. Además, estas máquinas están equipadas con tecnología avanzada que permite seleccionar frutas mediante análisis inteligentes de imágenes y separarlas automáticamente según su color.<sup>230</sup>

Las cosechadoras automáticas también están transformando la recolección de frutas. En Chile, robots con IA están cosechando manzanas de manera selectiva, minimizando daños.<sup>231</sup> Aunque Chile es el principal productor de manzanas en América Latina, se espera que la cosecha de Argentina aumente un 24% y la de Brasil un 12% en 2023.

222. [Autonomous Tractor - an overview | ScienceDirect Topics](#)

223. [Agricultura automatizada y robótica agrícola - Ventajas y Desventajas](#)

224. [Maquinaria Agrícola: Tipos Y Efecto En La Agricultura](#)

225. [Los 10 principales países productores de café del 2024](#)

226. [Cosecha de campaña de café 2024/25 en Brasil avanza al 81%](#)

227. [Pronóstico café Honduras](#)

228. [Instituto Hondureño del Café - Informe Estadístico 2020-2021](#)

229. [Hand-Picked vs Mechanized Coffee Harvesting - Perfect Daily Grind](#)

230. [História do café no Brasil: conheça tudo por trás dessa produção!](#)

231. [Chile: cosechan manzanas con robots voladores en Linares | Chilealimentos](#)

Las cosechadoras automáticas también están transformando la recolección de frutas. En Chile, robots con IA están cosechando manzanas de manera selectiva, minimizando daños. Aunque Chile es el principal productor de manzanas en América Latina, se espera que la cosecha de Argentina aumente un 24% y la de Brasil un 12% en 2023.<sup>232</sup>



## Riesgos

Muchos de los riesgos no son exclusivos de los robots y también están asociados con las técnicas industriales en la agricultura en general. Algunos de estos son:<sup>233</sup>

**Políticos** Podría concentrar el poder en el capital y causar pérdida de empleos, así como tensiones laborales y cambios en las relaciones entre áreas rurales y urbanas.

**Sociales** La automatización puede reducir las oportunidades de empleo en las comunidades rurales, exacerbando las desigualdades económicas.

**Seguridad** Las operaciones altamente automatizadas son vulnerables al hacking y sabotaje. Esto podría afectar la producción de alimentos en momentos críticos y representar un riesgo durante conflictos, o incluso para obtener ventajas económicas.

### Ejemplos

- **Four Growers.** (EE. UU.) Robot autónomo de recolección de tomates mediante el uso de un brazo robótico calibrado con cuatro cámaras, que puede detectar y cosechar con alta precisión.<sup>234</sup>
- **XAG.** (China). Ofrece robots autónomos cuya batería puede acumular 4 horas de carga en solo 15 minutos. Son apropiados para trabajar en cultivos como legumbres, uva, mango, cacao y café.<sup>235</sup>
- **Agrobot.** (España). Primera empresa del mundo en comercializar una cosechadora de fresas, que posee hasta 24 brazos robóticos independientes que trabajan de manera coordinada. Se adapta a cualquier configuración agrícola.<sup>236</sup>

## Tecnología descartada: impresión 3D

La impresión 3D, o fabricación aditiva, crea objetos tridimensionales mediante la superposición de capas de material.<sup>237</sup> Esta tecnología ha ayudado la manufactura al simplificar los procesos de prototipado y producción, ofreciendo mejoras significativas en la creación de productos físicos.<sup>238</sup>

232. [Últimos datos de la próxima temporada del hemisferio sur de la Asociación Mundial de la Manzana y la Pera - PortalFruticola.com](#)

233. (Sparrow & Howard, 2021)

234. [Four Growers](#)

235. [XAG - Unmanned Ground Vehicles](#)

236. [Robotic Harvesters | Agrobot](#)

237. [Impresión 3D, ¿qué es y cómo funciona? | Dassault Systèmes®](#)

238. [Las ventajas de la impresión 3D para la producción en masa](#)

En algunos países, especialmente aquellos de menores ingresos o de altas restricciones, los agricultores enfrentan desafíos por el acceso limitado a equipos mecanizados. La impresión 3D podría ser una solución valiosa, permitiéndoles fabricar sus propios equipos y producir piezas de repuesto para maquinarias agrícolas, lo que podría mejorar su productividad.<sup>239</sup>

Sin embargo, existen varios factores a considerar. Los costos iniciales de adquisición de una impresora 3D pueden ser elevados, limitando su accesibilidad para pequeños agricultores. Además, los objetos impresos a menudo requieren postprocesamiento, lo que implica costos adicionales y tiempos de producción más largos.<sup>240</sup>

En la agricultura, donde los entornos y las necesidades cambian constantemente, la velocidad de producción de las impresoras 3D puede no ser suficiente. Asimismo, el uso de estas impresoras requiere habilidades técnicas en modelado 3D, lo que representa una curva de aprendizaje adicional.<sup>241</sup>

La impresión 3D puede no ser una inversión adecuada para todos los agricultores, especialmente si no tienen necesidades específicas que justifiquen los costos y si sus operaciones no se benefician de la flexibilidad limitada y la escalabilidad reducida de esta tecnología en comparación con métodos de mayor escala. Por lo tanto, se debe considerar realizar un análisis exhaustivo de las necesidades y recursos antes de considerar la implementación de la impresión 3D en el ámbito agrícola.

## GESTIÓN DIGITAL DE LA COSECHA

### Plataformas de gestión agrícola

En el sector agrícola, las plataformas de procesos o servicios ofrecen una solución integral que aborda desde la planificación y el seguimiento de cultivos hasta la gestión de la cadena de suministro, consolidando todos estos procesos en un solo lugar. Su principal objetivo es facilitar la toma de decisiones informadas, lo que se traduce en mejoras en eficiencia, productividad, y en la reducción de costos y riesgos en la producción agrícola. Actualmente, un número creciente de agricultores está adoptando soluciones basadas en la nube debido a sus ventajas en capacidad de almacenamiento, velocidad y procesamiento de datos.<sup>242</sup>

El comercio electrónico agropecuario hace referencia a plataformas digitales que facilitan la compraventa en línea de insumos y productos agrícolas. Aunque la mayoría se enfoca en vender productos a consumidores urbanos del mercado interno, también ofrece a pequeños productores la oportunidad de llegar a compradores internacionales.<sup>243</sup>



#### Contexto

La crisis sanitaria mundial ha acelerado significativamente la digitalización en todos los sectores, incluyendo la agricultura, logrando en meses avances que se proyectaban para años. El uso creciente de dispositivos smartphones, redes sociales y plataformas de comunicación ha impulsado este proceso, facilitando el acceso a nuevas tecnologías en áreas rurales.

239. [3D printing for agriculture: Top 7 of the best projects | Sculpteo Blog](#)

240. [Advantages of 3D printing \(and disadvantages\) Complete guide](#)

241. [Advantages of 3D printing \(and disadvantages\) Complete guide](#)

242. [Software de gestión agrícola: ejemplos, aspectos claves y requisitos](#)

243. [Agritech LATAM](#)

En particular, la pandemia de COVID-19 no solo aceleró la digitalización de la economía global, sino que también llevó a un cambio en la manera en que los agricultores gestionan sus operaciones, utilizando más herramientas digitales para conectarse con mercados y mejorar la eficiencia.<sup>244</sup> La adopción de nuevas tecnologías está transformando los modelos de producción, impulsada por tendencias en la recopilación, almacenamiento, gestión, transferencia y análisis de grandes volúmenes de datos.<sup>245</sup> La digitalización en la agricultura es diversa y abarca desde soluciones basadas en dispositivos móviles y plataformas en la nube, que apoyan la toma de decisiones, hasta granjas digitales de alta tecnología que integran sistemas con IoT.<sup>246</sup>

En América Latina, las plataformas de comercio electrónico agropecuario ofrecen soluciones complejas que van más allá de conectar compradores y vendedores. Estas incluyen adquisición de clientes, capacitación, financiamiento, transporte, almacenamiento y pagos en línea. Además, algunas incluso gestionan la logística, como la recolección y transporte de productos, para mejorar la productividad y eficiencia de los agricultores.<sup>247</sup>

Aunque algunos países de la región han avanzado en la digitalización de la agroindustria, aún falta una estrategia integral para fomentar la adopción tecnológica en el sector agrícola.<sup>248</sup> A pesar de los avances desde 2020, muchas áreas en países centroamericanos y andinos aún carecen de cobertura de redes móviles tradicionales, afectando hasta el 9% de la población. Además, los altos índices de pobreza en zonas rurales dificultan el acceso a smartphones y servicios de datos móviles, afectando principalmente a pequeños agricultores.<sup>249</sup> Un estudio reveló que la combinación de falta de cobertura y problemas de asequibilidad implica que hasta el 80% de la población en zonas rurales no cuenta con acceso a conectividad.<sup>250</sup> Para asegurar un futuro exitoso en la implementación de tecnologías en la agricultura, será necesario.<sup>251</sup>



## Riesgos

**Costos altos** Las soluciones en la nube integrales ofrecidas tienden a ser costosas, lo que representa un obstáculo financiero para los pequeños agricultores y las cooperativas.<sup>252</sup>

**Dependencia del proveedor** En inglés vendor lock-in o confinamiento propietario, hace referencia a la incapacidad de reemplazar un proveedor de productos y servicios, sin afrontar costos sustanciales. Esto crea barreras para la entrada al mercado.<sup>253</sup>

**Limitaciones de conectividad** Muchas de estas soluciones están diseñadas para grandes explotaciones con acceso rápido a Internet. Sin embargo, gran parte de las zonas rurales carecen de conectividad, lo que limita su adopción y requiere alternativas asincrónicas.<sup>254</sup>

**Preocupaciones de seguridad de datos** Las soluciones en línea pueden ser vulnerables al acceso no autorizado, lo que puede exponer datos sensibles de los cultivos.<sup>255</sup>

244. [Agritech LATAM](#)

245. [Digitalización y cambio tecnológico en las mipymes agrícolas y agroindustriales en América Latina](#)

246. [Digital Opportunities for Better Agricultural Policies | OECD iLibrary](#)

247. [Agritech LATAM](#)

248. (OECD, 2020)

249. [Agritech LATAM](#)

250. [Conectividad rural en América Latina y el Caribe. Un puente al desarrollo sostenible en tiempos de pandemia](#)

251. (OECD, 2019)

252. [Software de gestión agrícola: ejemplos, aspectos claves y requisitos](#)

253. [Software de gestión agrícola: ejemplos, aspectos claves y requisitos](#)

254. [Software de gestión agrícola: ejemplos, aspectos claves y requisitos](#)

255. [Software de gestión agrícola: ejemplos, aspectos claves y requisitos](#)

## Ejemplos

● **AgroWin.** (Colombia). Software agrícola líder en Latinoamérica para la gestión contable y administrativa, especializado en cultivos perennes y transitorios. Provee de módulos para un control total y automatizado de los cultivos, y dispone de tres planes según las necesidades y el tipo de cliente.<sup>256</sup>

● **AGRI.** (Chile). Software especializado en el sector agrícola para la gestión del campo de forma centralizada desde cualquier dispositivo. Posee módulos de control de cosechas, de faena, de riego, y ofrece tres planes adecuados al cliente.<sup>257</sup>

● **Hispattec México.** (México). El software agrícola para gestión integral ERPagro ofrece el control de todos los procesos, desde la semilla hasta el embarque al cliente final.<sup>258</sup>

## Tecnología descartada: tokenización y blockchain

La tecnología blockchain facilita la creación de registros digitales descentralizados e inmutables,<sup>259</sup> que permiten el intercambio seguro de bienes y valores, tanto físicos como digitales.<sup>260</sup>

En el sector agrícola, tiene el potencial de transformar la trazabilidad de la producción al permitir registros públicos y auditable por cualquier parte de la cadena de suministro, incluidos los consumidores.<sup>261</sup> Además, la tokenización de cultivos podría abrir oportunidades en finanzas descentralizadas (DeFi) para los productores, reduciendo la necesidad de intermediarios, disminuyendo costos y tiempos comerciales, y facilitando la participación de inversores en proyectos agrícolas más pequeños y remotos.<sup>262</sup>

En América Latina, se anticipó un crecimiento constante del 45% en el uso de blockchain en el sector agrícola y alimentario durante el período 2020-2023,<sup>263</sup> A nivel global, sus inversiones proyectan alcanzar los USD 1.48 mil millones para 2026.<sup>264</sup>

La evolución de blockchain ha sido compleja y costosa, encontrándose en una etapa temprana y aún no regulada. A pesar de las inversiones realizadas, muchos proyectos de prueba de concepto (POC) no han logrado demostrar beneficios claros ni en términos tecnológicos ni comerciales.<sup>265</sup> Además, la necesidad de colaboración y estandarización entre empresas para implementar esta herramienta ha resultado ser un desafío. Algunas instituciones han recalibrado sus estrategias, enfocándose en casos de uso más específicos y supervisando la gobernanza y el cumplimiento de las operaciones. Aunque el sector financiero lideró la experimentación con blockchain, las dudas y la percepción de bajo rendimiento ahora se extienden a otras industrias debido a la brecha entre las expectativas iniciales y la realidad de la tecnología.<sup>266</sup>

256. [AgroWin](#)

257. [Agri - Argentina - Software de gestión agrícola](#)

258. [Hispattec México](#)

259. [BID Tech Report Blockchain](#)

260. [What is blockchain? | McKinsey](#)

261. [Casos de uso de blockchain en las cadenas de valor agropecuarias: América Latina y el Caribe](#)

262. (Grasso et al., 2022)

263. [La inversión en Blockchain en España llegará en 2020 a 103,5 M\\$ y alcanzará los 377,7 M\\$ en el año 2023, según el informe elaborado por AMETIC](#)

264. [Tecnología Blockchain para todas las industrias | Globant Reports](#)

265. [Blockchain development and the Occam problem | McKinsey](#)

266. [What is blockchain? | McKinsey](#)



# INICIATIVAS DEL BID EN TECNOLOGÍA AGRÍCOLA



- **Plataforma de resiliencia agroforestal (Regional):** Proyecto para mejorar la eficiencia y competitividad en la producción de café, cacao y miel en México, Guatemala y Honduras, a través de la digitalización de procesos y la herramienta Sirio, enfocándose en mitigar y adaptarse al cambio climático.<sup>267</sup>
- **Monitoreo y predicción de enfermedades (Paraguay):** Implementa sistemas de alerta temprana basados en imágenes y algoritmos predictivos para detectar y controlar enfermedades en cultivos extensivos, reduciendo pérdidas y mejorando la productividad. La solución Smartsoil automatiza el monitoreo con sensores fotovoltaicos y una aplicación para alertas en tiempo real, optimizando el uso de fungicidas y beneficiando el medio ambiente.<sup>268</sup>
- **Innovación en la cadena de arroz (Panamá):** Pilotaje de producción de precisión con 100 productores de arroz, aplicando tecnología y buenas prácticas oficiales para aumentar la rentabilidad, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 40%, y capturar 13,200 tCO<sub>2</sub> equivalente, que podrían convertirse en bonos de carbono generando ingresos adicionales para los productores.<sup>269</sup>
- **AgTech para pequeños productores (Regional):** El proyecto busca catalizar soluciones AgTech para mejorar la productividad, el acceso a financiamiento y mercados, y la resiliencia climática de pequeños agricultores. El proyecto apoyará a productores en Perú, Bolivia, Paraguay, Colombia, Honduras y El Salvador mediante financiación, capacitación y asistencia técnica, implementando de 15 a 20 soluciones tecnológicas adaptadas a sus necesidades.<sup>270</sup>

267. [SIRIO: Plataforma para competitividad de negocio y resiliencia climática de productores de cultivos agroforestales](#)

268. [SMART SOIL - Monitoreo y predicción de enfermedades en cultivos](#)

269. [Blockchain y Precisión: Innovando junto a productores de cadena de arroz en Panamá](#)

270. [Innovación en tecnología agrícola y agricultura digital para pequeños productores](#)

● **ADP en Cooperativa Naranjito (Paraguay):** Proyecto para apoyar a productores de pequeña y mediana escala en Paraguay mediante el acceso y adopción de tecnologías de ADP. Se proporcionará financiamiento, asistencia técnica, y maquinaria de alta tecnología para mejorar rendimientos, optimizar insumos y reducir costos de producción, elevando así los ingresos y condiciones de vida de los agricultores.<sup>271</sup>

● **Invernaderos 2.0 (El Salvador):** Implementación de un piloto de ADP y manejo de datos con la Cooperativa “Canasta Campesina” para mejorar la producción, calidad y comercialización de cultivos. El proyecto iniciará con agricultores asociados a la cooperativa (75% mujeres) y se expandirá a seis cooperativas a nivel nacional. El modelo promueve la adopción de tecnologías, la resiliencia climática y la mejora en la conexión con el mercado, con un enfoque en la sostenibilidad y empoderamiento de las mujeres en el agro.<sup>272</sup>

271. [Cooperativa Naranjito: Agricultura de Precisión para productores de pequeña y mediana escala en Paraguay](#)

272. [Invernaderos 2.0: Adopción de tecnología e innovación para pequeños productores agrícolas de El Salvador](#)



# OPORTUNIDADES, DESAFÍOS Y COMENTARIOS FINALES



América Latina y el Caribe es una región diversa en términos de agricultura, con sistemas que van desde grandes explotaciones comerciales mecanizadas en el Cono Sur hasta pequeños agricultores en países andinos y Centroamérica. Esta variabilidad se refleja en las diferentes necesidades y capacidades de producción agrícola. La región, con su amplia biodiversidad y variedad de climas, desempeña un papel clave en la producción global de alimentos, siendo la mayor región exportadora neta de productos alimenticios del mundo. Sin embargo, el sector enfrenta grandes retos en términos de sostenibilidad y eficiencia, afectado por la degradación ambiental y el impacto del cambio climático.

Sus logros productivos se han producido a expensas de elevados costos medioambientales y para la salud. La agricultura de ALC consume prácticamente tres cuartos de los recursos de agua dulce y genera casi la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero de la región. A pesar de un superávit estable en la producción de alimentos, millones de personas sufren hambre, malnutrición y enfermedades relacionadas. Además, el desperdicio de alimentos y las barreras estructurales que impiden a los pequeños agricultores acceder a recursos necesarios para mejorar su productividad, junto con la falta de conectividad, digitalización y el envejecimiento de los productores, limitan la adopción de nuevas tecnologías y amenazan la sostenibilidad del sistema agrícola.

México se destaca como un importante productor y exportador de productos como maíz, aguacates y tomates, con el sector agrícola jugando un papel crucial en su economía rural. Sin embargo, este sector está altamente fragmentado, con numerosos pequeños productores que enfrentan dificultades para acceder a tecnologías avanzadas y a mercados internacionales. A pesar de los avances en áreas como la agricultura protegida y los cultivos de aguacate, persisten desafíos significativos en términos de productividad, acceso a

crédito y desarrollo de infraestructura para mejorar la competitividad global. También la capacidad para cumplir con la seguridad alimentaria, el etiquetado de los alimentos y las normas sanitarias y fitosanitarias parece seguir siendo una barrera para algunas los productores mexicanos.

En ese contexto, la adopción de tecnologías puede ayudar en la superación de estos factores, a aprovechando los avances de la cuarta revolución industrial. Innovaciones en AgTech, como la agricultura de precisión, la IA para optimizar el uso de insumos y las plataformas digitales de gestión, pueden aumentar la eficiencia de los cultivos, reducir costos y minimizar pérdidas. Además, las tecnologías emergentes facilitan una mayor trazabilidad y transparencia en las cadenas de valor, permitiendo a los productores cumplir con las regulaciones internacionales y acceder a mercados más amplios. Estas tecnologías también pueden estimular la incubación de nuevas empresas agrícolas y agronegocios, haciendo que la agricultura resulte más atractiva para las generaciones más jóvenes y fomentando el empleo en este grupo etario.

Aunque en los últimos años la región ha visto un aumento en la innovación AgTech, aún queda un largo camino por recorrer para llegar efectivamente a los pequeños productores y a los más vulnerables.

### Entre los desafíos se encuentran:



**Soluciones viables:** Los inversionistas latinoamericanos deben desarrollar tecnologías adaptadas a un paisaje agrícola altamente fragmentado, caracterizado por la predominancia de granjas a pequeña escala con limitaciones en capacidad, asequibilidad e implementación. Esta situación ha dividido el panorama de inversión, favoreciendo a los grandes agricultores y dificultando la adopción masiva de tecnologías por parte de las pequeñas explotaciones.



**Acceso equitativo:** Las brechas en conectividad, educación, recursos económicos, rango etario y género pueden obstaculizar la adopción de nuevas tecnologías. Los altos costos iniciales, la falta de infraestructura y la concentración de poder entre proveedores tecnológicos limitan la competencia y pueden frenar la innovación en la región.



**Escalabilidad tecnológica:** Para que las soluciones innovadoras en el sector agrícola sean escalables, es importante fomentar su adopción entre una amplia gama de actores con recursos limitados. Se espera que el IoT y el uso de interfaces de programación de aplicaciones (API) para conectar sensores y datos satelitales jueguen un papel fundamental en la expansión del AgTech en los próximos años.

El avance de la conectividad y la digitalización en zonas rurales será fundamental para extender los beneficios de estas tecnologías a los productores latinoamericanos. Inversiones en infraestructura digital y en educación técnica podrían acelerar la adopción de soluciones AgTech, mejorando la resiliencia ante crisis externas como el cambio climático y la volatilidad de los mercados. También las innovaciones en el acceso a financiamiento, a través de fintech o mecanismos de crédito, podrían permitir que los pequeños agricultores inviertan en tecnologías que les ayuden a mejorar su productividad y sostenibilidad.

En ese sentido, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) desempeña un papel clave al facilitar la implementación de estas tecnologías. Su apoyo en la creación de alianzas público-privadas y en la promoción de proyectos piloto puede demostrar los beneficios tangibles del AgTech para los agricultores de pequeña escala en América Latina, impulsando así su adopción y efectividad en la región.



# BIBLIOGRAFÍA

1. ACIL Allen Consulting. (2019). Emerging technologies in agriculture: Regulatory and other challenges. AgriFutures Australia.
2. Anaya Acevedo, J. A., & Valencia Hernández, G. M. (2013). Fenología de ambientes tropicales en el marco de la teledetección. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*. No. 13 (2), pp. 195-211. <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/3424>
3. Anzaldo Montoya, M., Hernández-Adame, L., Anzaldo Montoya, M., & Hernández-Adame, L. (2023). Problematicación de la investigación en nanotecnología agrícola y alimentaria en el marco de la nueva política de ciencia, tecnología e innovación en México. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 16(30). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69683>
4. Balbontín N., C., Odi L., M., Poblete T., R., Garrido R., J., Campos R., I., & Calera B., A. (2016). Uso de herramientas de teledetección y SIG para el manejo del riego en los cultivos. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6542>
5. Benos, L., Tagarakis, A. C., Dolias, G., Berruto, R., Kateris, D., & Bochtis, D. (2021). Machine Learning in Agriculture: A Comprehensive Updated Review. *Sensors*, 21(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/s21113758>
6. Bottani, E., & Vignali, G. (2019). Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. *IISE Transactions*, 51(3), 284–310. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1493244>
7. Casadiego, Y. A. S. (2020). Machine learning in agriculture, review and applications. *Machine learning en la agricultura, revisión y aplicaciones*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26708.01921>
8. Chen, Y. X., He, Y. F., Yang, Y., Yu, Y. L., Zheng, S. J., Tian, G. M., Luo, Y. M., & Wong, M. H. (2003). Effect of cadmium on nodulation and N<sub>2</sub>-fixation of soybean in contaminated soils. *Chemosphere*, 50(6), 781–787. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00219-9](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00219-9)
9. Deguine, J.-P., Aubertot, J.-N., Flor, R. J., Lescourret, F., Wyckhuys, K. A. G., & Ratnadass, A. (2021). Integrated pest management: Good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(3), 38. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00689-w>
10. Dutia, S. (2014). AgTech: Challenges and Opportunities for Sustainable Growth (SSRN Scholarly Paper 2431316). <https://doi.org/10.2139/ssrn.2431316>
11. Echenique, O. S., Ramírez, E., & Martínez, H. (2021). Digitalización y cambio tecnológico en las mipymes agrícolas y agroindustriales en América Latina. CEPAL & FAO. <https://hdl.handle.net/11362/46965>
12. European Academies Science Advisory Council (Ed.). (2022). Regenerative agriculture in Europe: A critical analysis of contributions to European Union farm to fork and biodiversity strategies. EASAC Secretariat, Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina - German National Academy of Sciences.
13. Foladori, G., & Invernizzi, N. (2005). Nanotecnología: ¿Beneficios para todos o mayor desigualdad? *Redes*, 11(21), 55–75.
14. FOLADORI, G., INVERNIZZI, N., IGLESIAS, E., INVERNIZZI, N., FOLADORI, G., MILLER, G., SENJEN, R., & LAU, E. Z. (2008). Nanotecnologías en la alimentación y agricultura.

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA.

15. Francis, C. A., Harwood, R. R., & Parr, J. F. (1986). The potential for regenerative agriculture in the developing world. *American Journal of Alternative Agriculture*, 1(2), 65–74. <https://doi.org/10.1017/S0889189300000904>
16. Grasso, D. I., Castillo, A., Castillo, F., & Blandón, C. C. (2022). Casos de uso de blockchain en las cadenas de valor agropecuarias: América Latina y el Caribe. <https://doi.org/10.18235/0004500>
17. Gruère, G. P., Narrod, C. A., & Abbott, L. (2011). Agriculture, food, and water nanotechnologies for the poor. International Food Policy Research Institute (IFPRI). <https://ebrary.ifpri.org/digital/collection/p15738coll2/id/124963>
18. Heisey, P., & Fuglie, K. (2013). Private research and development for crop genetic improvement. *Global Agricultural Industries: Research Spending Trends and Changing Market Structures*, 29–52.
19. Hurst, W., Mendoza, F. R., & Tekinerdogan, B. (2021). Augmented Reality in Precision Farming: Concepts and Applications. *Smart Cities*, 4(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/smartcities4040077>
20. Inmarsat Global Limited. (s/f). Industrial IOT on land and at sea: Agriculture (Research Programme 2018: Agriculture). Recuperado el 27 de septiembre de 2023, de <https://www.inmarsat.com/en/insights/enterprise/2018/research-programme-2018-agriculture.html>
21. ISAAA. (2019). Brief 55: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2019. The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/>
22. Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors*, 18(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/s18082674>
23. Littmann, D., Wigginton, C., Wilson, P., Haan, B., & Fritz, J. (2017). Communications infrastructure upgrade: The need for deep fiber. Deloitte. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/technology-media-telecommunications/us-tmt-5GReady-the-need-for-deep-fiber-pov.pdf>
24. Luna-Mena, B. M., Altamirano-Cárdenas, J. R., Santoyo-Cortés, V. H., & Rendón-Medel, R. (2016). Factores e innovaciones para la adopción de semillas mejoradas de maíz en Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(spe15), 2995–3007.
25. Martínez Casasnovas, J. A., Arnó Satorra, J., Daniele, E., Escolà i Agustí, A., Sandonís Pozo, L., Llorens Calveras, J., Rosell Polo, J. R., & Uribeetxebarria Alonso de Armiño, A. (2021). Aplicaciones de la teledetección en la caracterización de frutales y en la fertilización de cultivos extensivos. <http://hdl.handle.net/10459.1/84138>
26. McKinsey & Company & World Economic Forum. (2023). Space Applications in Agriculture: Enhancing Food and Water Security, Improving Climate Action. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Space\\_Applications\\_in\\_Agriculture\\_2023.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Space_Applications_in_Agriculture_2023.pdf)
27. Mont, C. G., Pozo, C. M. D., Pinto, C. M., & Alcocer, A. V. M. del C. (2020). La inteligencia artificial al servicio del bien social en América Latina y el Caribe: Panorámica regional e instantáneas de doce países. <https://doi.org/10.18235/0002393>
28. Nakata, G. T. (2021, octubre 8). Transformando la agricultura para desencadenar el poder regenerativo de la naturaleza. The Nature Conservancy. <https://www.nature.org/es-us/que-hacemos/nuestra-vision/perspectivas/transformando-agricultura-poder-naturaleza/>
29. Navarro, A. I., Camusso, J., Soler, M. J., Garzón Moresi, M. C., & Galiano, A. E. (2022).

Oportunidades y desafíos para la nueva generación de startups AgTech sostenible en América Latina y el Caribe. Universidad Austral & Yield Lab Institute.

30. NU. CEPAL. (2021). La pérdida de los bosques de América Latina y el Caribe 1990–2020: Evidencia estadística. CEPAL. <https://hdl.handle.net/11362/47151>

31. OECD. (2019). Digital Opportunities for Better Agricultural Policies. Organization for Economic Co-operation and Development. [https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/digital-opportunities-for-better-agricultural-policies\\_571a0812-en](https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/digital-opportunities-for-better-agricultural-policies_571a0812-en)

32. OECD. (2020). Latin American Economic Outlook 2020: Digital Transformation for Building Back Better. Organization for Economic Co-operation and Development. [https://www.oecd-ilibrary.org/development/latin-american-economic-outlook-2020\\_e6e864fb-en](https://www.oecd-ilibrary.org/development/latin-american-economic-outlook-2020_e6e864fb-en)

33. OECD & FAO. (2019). OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028. FAO and OECD. <https://doi.org/10.4060/CA4076EN>

34. OECD & FAO. (2021). OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030. Organization for Economic Co-operation and Development. [https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2021-2030\\_19428846-en](https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2021-2030_19428846-en)

35. OECD, & FAO. (2023). OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032. Organization for Economic Co-operation and Development. [https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2023-2032\\_08801ab7-en](https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2023-2032_08801ab7-en)

36. Pathak, H., Kumar, G., Mohapatra, S., Gaikwad, B., & Rane, J. (2020). Use of Drones in Agriculture: Potentials, Problems and Policy Needs. ICAR-National Institute of Abiotic Stress Management, 4–5.

37. Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). Aspects of Precision Agriculture. En D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 67, pp. 1–85). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1)

38. Priester, J. H., Ge, Y., Mielke, R. E., Horst, A. M., Moritz, S. C., Espinosa, K., Gelb, J., Walker, S. L., Nisbet, R. M., An, Y.-J., Schimel, J. P., Palmer, R. G., Hernandez-Viezcas, J. A., Zhao, L., Gardea-Torresdey, J. L., & Holden, P. A. (2012). Soybean susceptibility to manufactured nanomaterials with evidence for food quality and soil fertility interruption. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(37), E2451–E2456. <https://doi.org/10.1073/pnas.1205431109>

39. PwC. (2017). PwC's Global Artificial Intelligence Study: Exploiting the AI Revolution. PwC. <https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf>

40. Rettore de Araujo Zanella, A., da Silva, E., & Pessoa Albin, L. C. (2020). Security challenges to smart agriculture: Current state, key issues, and future directions. *Array*, 8, 100048. <https://doi.org/10.1016/j.array.2020.100048>

41. Shukla, P. R., Skeg, J., Buendia, E. C., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., Diemen, S. van, Ferrat, M., Haughey, E., Luz, S., Pathak, M., Petzold, J., Pereira, J. P., Vyas, P., Huntley, E., Kissick, K., ... Malley, J. (2019). Climate Change and Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (p. 864). IPCC. <https://philpapers.org/rec/SHUCCA-2>

42. Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. *Remote Sensing*, 12(19), Article 19. <https://doi.org/10.3390/rs12193136>

43. Sparrow, R., & Howard, M. (2021). Robots in agriculture: Prospects, impacts, ethics, and policy. *Precision Agriculture*, 22(3), 818–833. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09757-9>

44. Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., de Vries, W., Vermeulen, S. J., Herrero, M., Carlson, K. M., Jonell, M., Troell, M., DeClerck, F., Gordon, L. J., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., ... Willett, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562(7728), 519–525. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>
45. Tang, Y., Dananjayan, S., Hou, C., Guo, Q., Luo, S., & He, Y. (2021). A survey on the 5G network and its impact on agriculture: Challenges and opportunities. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105895. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105895>
46. Tzachor, A., Devare, M., King, B., Avin, S., & Ó hÉigearthaigh, S. (2022). Responsible artificial intelligence in agriculture requires systemic understanding of risks and externalities. *Nature Machine Intelligence*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.1038/s42256-022-00440-4>
47. Universidad Autónoma de Chapingo, & Velázquez López, N. (2022). Working Paper PUEAA No. 7. Development of a farm robot (Voltan). Universidad Nacional Autónoma de México, Programa Universitario de Estudios sobre Asia y África. <https://doi.org/10.22201/pueaa.005r.2022>
48. van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2(7), Article 7. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>
49. Vargas, L. C., Juárez, P. G., Laura, L. F., & Serrudo, L. F. (2023). Apostar por la agricultura para lograr una diversificación productiva. <https://doi.org/10.18235/0004920>
50. Vitón, R., Castillo, A., & Teixeira, T. L. (2019). AGTECH: Mapa de la innovación AgTech en América Latina y el Caribe. <https://doi.org/10.18235/0001788>
51. World Bank. (2021, mayo 10). Narrowing Latin America's Digital Divide. Woodrow Wilson Center. [https://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/media/uploads/documents/Franz%20Drees\\_%20Digital%20Inclusion%20May%202021\\_final.pptx](https://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/media/uploads/documents/Franz%20Drees_%20Digital%20Inclusion%20May%202021_final.pptx)
52. Yang, C., Odvody, G. N., Thomasson, J. A., Isakeit, T., Minzenmayer, R. R., Drake, D. R., & Nichols, R. L. (2018). Site-Specific Management of Cotton Root Rot Using Airborne and High-Resolution Satellite Imagery and Variable-Rate Technology. *Transactions of the ASABE*, 61(3), 849–858. <https://doi.org/10.13031/trans.12563>

