

Agenda de investigación, desarrollo e innovación para fortalecer la cadena de piña en Caloto, Cauca mediante agricultura inteligente

Research, development, and innovation agenda to strengthen the pineapple chain in Caloto, Cauca through smart agriculture

Karen Julieth Mosquera Lobo
Centro de Desarrollo Tecnológico Octopus Force S.A.S., Colombia
karen.mosquera@octopusforce.com
<https://orcid.org/0009-0002-8641-2702>

Germán Antonio Arboleda Muñoz
Centro de Desarrollo Tecnológico Octopus Force S.A.S., Colombia
reports.investigador20@octopusforce.com
<https://orcid.org/0000-0003-2900-880X>

Ernesto Hernán Mora
Centro de Desarrollo Tecnológico Octopus Force S.A.S., Colombia
reports.investigador7@octopusforce.com
<https://orcid.org/0009-0005-6900-3562>

Jaime Alberto Vasquez Bernal
Centro de Desarrollo Tecnológico Octopus Force S.A.S., Colombia
jaime.vasquez@octopusforce.com
<https://orcid.org/0000-0002-6410-2407>

Steven Becerra Balcázar
Centro de Desarrollo Tecnológico Octopus Force S.A.S., Colombia
steven.becerra@octopusforce.com
<https://orcid.org/0000-0002-4072-1350>

Andrés Felipe Ortiz Manbuscay
Centro de Desarrollo Tecnológico Octopus Force S.A.S., Colombia
felipe.ortiz@octopusforce.com
<https://orcid.org/0000-0002-6160-5498>

Carolina López Gaitán
Centro de Desarrollo Tecnológico Octopus Force S.A.S., Colombia
carolina.lopez@octopusforce.com
<https://orcid.org/0000-0003-1076-8892>

Fecha de recepción: 10 de octubre del 2025
Fecha de aprobación: 21 de noviembre del 2025
Fecha de publicación: 02 de febrero del 2026

La cadena productiva de la piña en Caloto, Cauca, enfrenta retos estructurales que limitan su competitividad, como la baja escolaridad, la escasa asistencia técnica por parte del Estado y la limitada adopción tecnológica. Este estudio propone una agenda de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) para fortalecer dicha cadena, mediante un enfoque metodológico mixto, aplicado y exploratorio, basado en vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. Se priorizaron proyectos estratégicos a través de un proceso participativo con actores de la cuádruple hélice, destacando iniciativas de automatización, agricultura de precisión y valorización de residuos. La evaluación ponderada permitió priorizar propuestas según el impacto en la productividad, los costos, la calidad, la sostenibilidad y el dinamismo. Los resultados evidencian oportunidades para transformar el modelo productivo local hacia uno más tecnificado, sostenible y resiliente, articulando capacidades institucionales, académicas y productivas, y promoviendo la apropiación tecnológica mediante formación contextualizada y proyectos piloto.

Palabras clave: agenda de I+D+i, piña, vigilancia tecnológica, inteligencia competitiva, *Ananas comosus*.

The pineapple production chain in Caloto, Cauca, faces structural challenges that limit its competitiveness, such as low educational attainment, limited technical assistance, and limited technology adoption. This study proposes a research, development and innovation (R+D+i) agenda to strengthen this chain through a mixed, applied, and exploratory methodological approach based on technological surveillance and competitive intelligence. Strategic projects were prioritized through a participatory process with stakeholders from the Quadruple Helix, highlighting initiatives in automation, precision agriculture, and waste recovery. The weighted evaluation allowed for prioritizing proposals based on their impact on productivity, costs, quality, sustainability, and dynamism. The results highlight opportunities to transform the local production model toward a more technologically advanced, sustainable, and resilient model, coordinating institutional, academic, and productive capacities and promoting technological appropriation through contextualized training and pilot projects.

Keywords: R+D+i agenda, pineapple, technological surveillance, competitive intelligence.

1. Introducción

En Colombia existen brechas en los rendimientos productivos agrícolas. Por ejemplo, en el país, el rendimiento promedio del maíz es de 3.6 toneladas por hectárea (t/ha) y el de la papa, de 19.3 t/ha, cifras inferiores a las de países como Estados Unidos, donde los promedios alcanzan las 11 t/ha para el maíz y 49 t/ha para la papa. Esto se asocia a diversos factores, como la limitada investigación tecnológica adaptada al contexto nacional, la escasa innovación por parte de los productores, la insuficiente asistencia técnica, las deficiencias en infraestructura y logística, los altos costos operativos, la baja especialización territorial y la falta de planes estratégicos con metas claras para incrementar la productividad agropecuaria (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

Por otra parte, la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2022-2031 señala que Colombia enfrenta limitaciones para que la ciencia, la tecnología y la innovación aporten plenamente al desarrollo social, económico y ambiental, debido al bajo aprovechamiento del conocimiento, la débil transferencia tecnológica al sector productivo y el rezago en adopción de tecnologías (Departamento Nacional de Planeación, 2021).

En este orden de ideas, en el tiempo transcurrido en este 2025, el sector agropecuario aportó el 10.5 % del valor agregado bruto y se consolidó como la cuarta actividad más contributiva a la economía colombiana (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, 2025b). Por ello, es clave fortalecer la agricultura y superar las limitaciones educativas en zonas rurales, además de incentivar la inversión en investigación y desarrollo (Jiménez, 2024).

Asimismo, la Agenda 2030 destaca la innovación como un elemento central para acelerar el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), lo que promueve la cooperación internacional y el intercambio de conocimientos para facilitar el acceso a tecnologías e innovación, y resalta la urgencia de desarrollar y difundir tecnologías ambientalmente sostenibles y el fortalecimiento de capacidades de países menos desarrollados (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2018). En Colombia, la agricultura tradicional ha sido vulnerable a fenómenos climáticos extremos que afectan gravemente los cultivos. Frente a esto, la adopción de tecnologías de la agricultura 4.0 representa una alternativa eficaz para adaptarse al cambio climático y reducir pérdidas económicas (Rodríguez-Molano *et al.*, 2022).

Es esencial avanzar hacia modelos agrícolas sostenibles que gestionen la biodiversidad y biomasa mediante procesos biológicos y el intercambio de saberes tradicionales y científicos. La bioeconomía promueve una producción y comercialización justa de bienes y servicios de alto valor, basada en ciencia, tecnología e innovación adaptadas a cada región (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2023). Este enfoque contrasta con los modelos lineales intensivos en recursos, proponiendo esquemas circulares que valorizan subproductos y regeneran los ecosistemas.

El artículo se organiza en cinco secciones: primero, se plantea la problemática que motiva el estudio; segundo, el marco teórico relacionado con sistemas de innovación agrícola (SIA) y agendas de I+D+i en contextos rurales; tercero, se explica la metodología basada en vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva (VT e IC), con fases de priorización, diagnóstico, exploración y formulación de proyectos; en cuarto lugar, se exponen los

resultados del diagnóstico de la cadena productiva de la piña en Caloto, Cauca, incluidas las tecnologías identificadas y los proyectos priorizados; en quinto y último lugar, se discuten las implicaciones y conclusiones para gestores, investigadores y formuladores de políticas en el sector agrícola.

1.1. Problemática

Según datos de Agronet (2025), en 2023, en el municipio de Caloto, Cauca (Colombia), el cultivo de la piña ocupó el cuarto lugar en área sembrada, área cosechada y producción. Para ese mismo año, se contaba con 179 y 169 hectáreas sembradas y cosechadas de piña, respectivamente. Aunque desde el 2020, cuando se alcanzó un pico con 15 240 toneladas, la producción de piña en el municipio ha mostrado una tendencia a la baja, se registró una recuperación del 13.4 % en 2023, alcanzando las 10 152 toneladas.

A nivel global, el tamaño del mercado de la piña se estima en USD 11 960 millones en 2025, y se espera que alcance los USD 13 940 millones para 2030, con una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) del 3.20 % durante el periodo de pronóstico, impulsada por una importante participación de variedades premium, el diseño de cadenas de suministro resilientes, la innovación en los cultivos, la incorporación de tecnología y un enfoque de cultivo orgánico (Mordor Intelligence, 2025). Aunque la piña no es el cultivo más extenso en Caloto, tiene potencial para impulsar la diversificación económica y el acceso a mercados internacionales.

Ante esto, Ramírez y Escobar (2024) plantean que algunos factores que pueden afectar la competitividad de los pequeños productores de piña en el norte del Cauca, tanto para la producción como para la exportación, se asocian con la vulnerabilidad frente a las condiciones climáticas, la reducción del área cultivada, el limitado acceso a recursos y financiamiento, y la alta dependencia de mercados específicos.

Uno de los principales desafíos es el bajo nivel de adopción tecnológica, donde prevalece el uso de técnicas tradicionales (Ovalle-Másmela et al., 2023) en las etapas críticas del proceso productivo, incluyendo la siembra, la cosecha y el manejo poscosecha. Esta situación genera alta dependencia de mano de obra, eleva los costos, reduce la eficiencia y limita la escalabilidad. Además, la baja diversificación y la transformación agroindustrial restringen el aprovechamiento de subproductos y otras líneas de comercialización, lo cual disminuye la rentabilidad y la proyección en mercados nacionales e internacionales.

Asimismo, existen diversas barreras estructurales, como el bajo nivel educativo entre los productores o la alta dependencia de pequeños productores y la elevada informalidad, que obstaculizan su competitividad, sostenibilidad y capacidad de inserción en mercados formales y especializados. Respecto del nivel educativo, según datos recientes de la Alcaldía de Caloto (2024), el 86 % de los productores de piña no supera el nivel de secundaria básica, y solo el 4 % ha alcanzado estudios de educación superior, lo que dificulta significativamente la apropiación de tecnologías, prácticas sostenibles y modelos de innovación. Esta baja escolaridad se combina con debilidades en la asociatividad productiva y la ausencia de infraestructura adecuada para el manejo poscosecha y la comercialización eficiente del cultivo.

Si bien se han evidenciado avances en términos de rendimiento y adopción de prácticas sostenibles, como el control biológico, estas iniciativas aún son fragmentadas e insuficientes ante los retos sistémicos de la cadena. La falta de una visión integral y articulada que combine formación, automatización y acceso a tecnologías emergentes impide consolidar un modelo de producción inteligente y resiliente (Sánchez, 2023). A esto se suman los retos relacionados con el financiamiento y acceso a recursos, con una baja eficiencia y eficacia de los instrumentos de financiación identificados para el sector de la CTI en Colombia (Departamento Nacional de Planeación, 2021).

En este contexto, como resultado del proceso metodológico que a continuación se detallará, se incluyó un diagnóstico participativo y se identificaron la automatización de la siembra y la cosecha como focos críticos de VT e IC. La adopción de las tecnologías identificadas puede representar un punto de inflexión para superar los cuellos de botella actuales y proyectar la cadena de valor hacia estándares de eficiencia, trazabilidad y calidad compatibles con las exigencias del mercado (Quintero-Quintana *et al.*, 2022). No obstante, se requiere el fortalecimiento de capacidades locales, el impulso de esquemas asociativos sólidos y la implementación de pilotos tecnológicos adaptados a las condiciones territoriales del municipio.

1.2. Propósito del estudio

Se busca documentar y analizar el caso de la construcción participativa de la agenda de I+D+i de la cadena productiva de la piña en el municipio de Caloto como una iniciativa estratégica local orientada al fortalecimiento de la I+D+i. Este proyecto (BPIN: 2024191420060), propuesto por la Alcaldía de Caloto, financiado por el Sistema General de Regalías¹ de Colombia, ejecutado por la Empresa para la Gestión Inteligente del Territorio (Emgit) y operado por el Centro de Desarrollo Tecnológico Octopus Force, procura impulsar la producción agropecuaria inteligente y la transformación tecnológica rural. Se buscó construir una agenda integral que combine tecnología, formación, gobernanza colaborativa, sostenibilidad y financiamiento, con el fin de consolidar la cadena productiva de la piña como motor de desarrollo rural inclusivo. El artículo presenta una metodología aplicada y de enfoque mixto para definir dicha agenda a escala municipal.

1.3. Marco teórico

El proceso de innovación demanda la intervención conjunta de los actores del sistema. Esta cooperación facilita la fluida circulación de conocimientos, información y experiencia, lo que impulsa la adopción de nuevas soluciones capaces de impactar en el bienestar económico, social y ambiental (Chaparro-Banegas *et al.*, 2023). En particular, la innovación agrícola es fundamental para avanzar hacia sistemas de cultivo más sostenibles y resilientes a nivel mundial. Aunque generalmente surge de la acción y el conocimiento colectivo, los sistemas de innovación en este contexto suelen ser poco comprendidos (Grovermann *et al.*, 2019).

En los países periféricos, las áreas rurales ocupan un lugar reducido en las agendas de CTI, las comunidades científicas interesadas son pequeñas, los territorios son remotos y

¹ Mecanismo orientado a la distribución equitativa y el uso eficiente de los ingresos derivados de la explotación de los recursos naturales no renovables en Colombia (Departamento Nacional de Planeación, 2023).

se dispone de poca información sobre sus características y cambios socioambientales, por lo que, a diferencia de los entornos urbano-industriales, la innovación en zonas rurales ha sido poco estudiada y ha recibido menor atención (Burgos & Bocco, 2020). Por ejemplo, en Colombia, recién en 2017, a través de la Ley 1876, se creó el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA), que coordina políticas, programas y actores públicos, privados y mixtos para promover, gestionar y financiar la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación en el sector agropecuario, integrándose al Sistema Nacional de Competitividad y Ciencia (Congreso de Colombia, 2017).

El análisis de los SIA muestra que sus características influyen en la ecoeficiencia y sostenibilidad del sector. Esto evidencia la necesidad de enfoques contextuales que integren educación, extensión, políticas y colaboración entre actores, orientando intervenciones adaptadas a cada territorio. Así, la innovación agrícola requiere estrategias sistémicas que combinen capacitación, plataformas tecnológicas, proyectos piloto y cooperación interinstitucional, promoviendo la sostenibilidad, la inclusión y la adaptación territorial frente a los desafíos estructurales (Grovermann *et al.*, 2019; Gutiérrez-Cano *et al.*, 2023).

En este contexto, la Agenda Dinámica Nacional de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación Agropecuaria, establecida por la Ley 1876, funciona como un mecanismo estratégico de gestión y planificación que orienta la asignación de recursos y la ejecución de iniciativas en I+D+i (Congreso de la República de Colombia, 2017). Esta agenda, junto al Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria (Pectia), es un importante instrumento de política para el desarrollo y gestión de la innovación (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2021).

De este modo, las agendas pueden orientar acciones estratégicas en investigación y transferencia de tecnología, influir en la formulación de políticas públicas y considerar aspectos críticos de sostenibilidad socioeconómica y ambiental (Duarte de Oliveira Paiva *et al.*, 2024). Además, actúan como guía para que las autoridades nacionales y locales diseñen iniciativas que promuevan el desarrollo rural y la innovación en el campo (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2021). Las experiencias de agendas participativas en contextos rurales muestran que la estructura de diálogo y los mecanismos de incorporación de aportes locales son determinantes para que las prioridades territoriales se reflejen efectivamente en agendas formales (Schroth *et al.*, 2020).

Además, las agendas de I+D+i pueden orientar la adopción de tecnologías de agricultura 4.0, que tienen el potencial de transformar la producción al integrar el internet de las cosas, la inteligencia artificial, el análisis de datos, los drones y robots. Sin embargo, su adopción enfrenta diversos retos, pues países en desarrollo y pequeños productores presentan limitaciones tecnológicas, económicas y de conectividad que amplían la brecha digital. Para promover una adopción equitativa, se requiere una estrategia integral con infraestructura sólida, inversión conjunta, capacitación técnica y políticas de apoyo (Vijayakumar *et al.*, 2025).

En ese sentido, se destaca la necesidad de integrar la dimensión social en el desarrollo tecnológico alrededor de la agricultura 4.0, desde un enfoque de coinnovación con múltiples actores para impulsar transiciones responsables, donde se involucren distintos actores en los SIA, lo que puede aumentar las posibilidades de que esta revolución tecnológica avance no solo en eficiencia y equilibrio ambiental, sino también en sostenibilidad social (Rose *et al.*, 2021).

2. Metodología

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto, de tipo aplicado y con orientación exploratoria-propositiva, fundamentado en los principios de la VT e IC propuestos por Castellanos *et al.* (2009). El objetivo fue diseñar una agenda de I+D+i que permita fortalecer la cadena productiva de la piña en el municipio de Caloto, Cauca, mediante la incorporación de soluciones tecnológicas adaptadas al contexto territorial, con énfasis en agricultura inteligente y generación de valor agregado.

2.1. Diseño metodológico

La metodología adoptó un enfoque sistémico y participativo, integrando análisis de diagnóstico territorial, caracterización productiva, identificación de focos críticos de transformación, búsqueda y evaluación de tecnologías emergentes, así como la formulación y validación de proyectos estratégicos. Este proceso consideró cuatro fases secuenciales, concebidas como un ciclo iterativo de análisis, priorización y formulación estratégica:

- i. **Priorización de cadenas productivas:** se partió del análisis del Plan de Desarrollo Municipal 2024-2027 de Caloto², en el cual se identificaron las cadenas agroproductivas con mayor potencial de transformación territorial. Así, se priorizaron cuatro cadenas: piña, limón Tahití, habichuela y café. La elección se fundamentó en dos criterios principales: 1) inclusión y priorización en el Plan de Desarrollo Municipal 2024-2027, y 2) impacto económico, pertinencia territorial y productiva medido a través de las evaluaciones agropecuarias municipales (EVAS)³.
- ii. **Definición de la línea base de la cadena productiva e identificación de focos críticos de vigilancia:** para cada cadena productiva priorizada se construyó una línea base técnico-productiva, socioeconómica y organizativa, para establecer un panorama integral de su situación actual. En la cadena de la piña, se identificaron desafíos como la limitada generación de valor agregado, la necesidad de optimizar los procesos agroindustriales y la baja tecnificación de la producción. En esta fase, participaron 26 productores locales vinculados a la cadena, aportando su conocimiento y experiencia, junto con profesionales expertos en el sector agrícola, agroindustrial y en la economía.
- iii. **Exploración de alternativas tecnológicas:** se desarrolló un ejercicio de VT e IC orientado a identificar soluciones emergentes aplicables a los focos críticos previamente definidos. El análisis integró diversas fuentes de información (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, entre otras), incluyendo patentes, artículos científicos, experiencias internacionales y tecnologías en proceso de adopción local, con un énfasis especial en agricultura de precisión, automatización y trazabilidad (Castellanos *et al.*, 2009; Quintero-Quintana *et al.*, 2022). Este proceso fue complementado con la validación de expertos temáticos en áreas

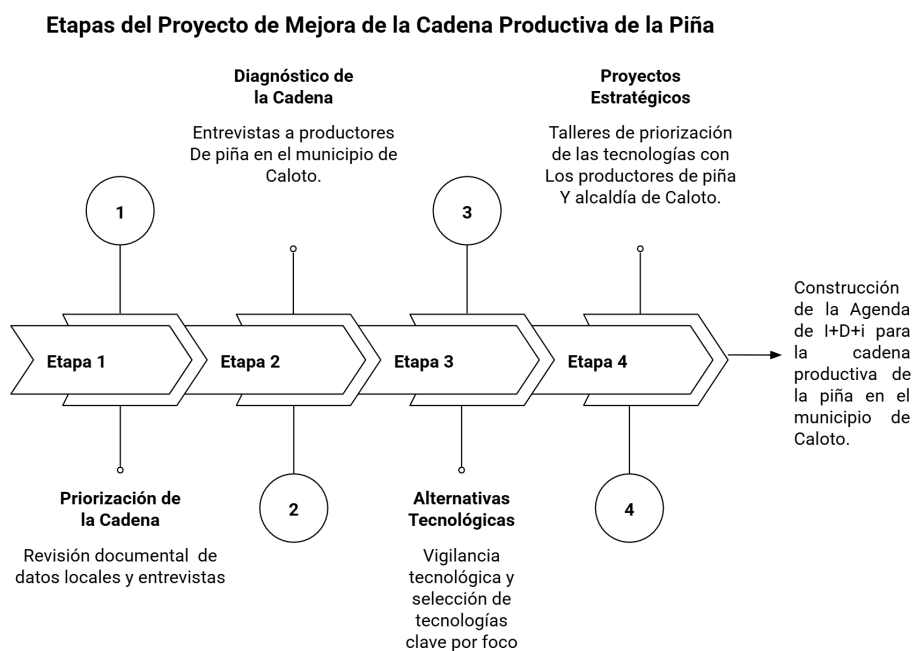
² Instrumentos de planificación que orientan las acciones de las administraciones municipales durante un periodo de gobierno (Corporación Conciudadanía, 2024).

³ Herramienta estadística empleada para la planificación y gestión del sector agropecuario en Colombia (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, 2025a).

agronómicas, agroindustriales y de ingeniería, garantizando la pertinencia y solidez de los resultados obtenidos.

- iv. Formulación de proyectos estratégicos de I+D+i:** a partir de los hallazgos obtenidos, se formularon tres proyectos estratégicos para la cadena de la piña, organizados según su horizonte de implementación (corto, mediano y largo plazo), y validados mediante la participación activa de los principales actores del sector, quienes definieron su priorización. Cada proyecto fue estructurado con los componentes de justificación, objetivos, tecnologías involucradas, resultados esperados, cronograma y actores clave, asegurando coherencia metodológica y pertinencia territorial

Figura 1. Etapas del proceso de construcción de las agendas I+D+i.



Fuente: elaboración propia.

2.1.1. Validación participativa y priorización de los proyectos estratégicos

Con el objetivo de garantizar la pertinencia territorial, se desarrolló un proceso de socialización y validación de los proyectos estratégicos con actores clave de la cuádruple hélice. La convocatoria, realizada mediante canales de comunicación locales (WhatsApp y correo electrónico), logró una tasa de participación del 75 %, con representación del sector productivo, el sector académico y el sector público (Secretaría de Agricultura Municipal). La sociedad civil no tuvo participación directa, lo que fue compensado mediante ajustes en la ponderación de votos. Se redistribuyó el 35 % de la ponderación entre los demás actores, manteniendo el 100 % total: sector privado 42 %, sector público 29 % y academia 29 %.

Durante tres sesiones virtuales (abril y junio de 2025), se presentaron los proyectos estratégicos a los participantes, quienes realizaron una evaluación cualitativa y cuantitativa. La evaluación utilizó una escala de 1 a 5, basada en cinco criterios:

- **Productividad (I1):** se busca optimizar el aprovechamiento de la tierra cultivada y mejorar los procedimientos agrícolas.
- **Costos de producción (I2):** se orienta a incrementar la eficiencia en el uso de recursos, reduciendo la dependencia de insumos costosos y ampliando los márgenes de ganancia.
- **Calidad del producto (I3):** se pretende alcanzar estándares superiores que eleven el valor agregado en el mercado.
- **Medio ambiente (I4):** se promueven prácticas agrícolas sostenibles que disminuyan los efectos negativos sobre los ecosistemas y favorezcan la adaptación al cambio climático.
- **Dinamismo de la cadena productiva (I5):** se relaciona con la capacidad de los actores para innovar y responder a cambios externos, como variaciones en la demanda, regulaciones o nuevas tecnologías.

Asimismo, se tuvo en cuenta el nivel de influencia de los actores:

- **Sociedad civil:** crucial por su conocimiento directo de las necesidades locales.
- **Sector privado:** aporta visión comercial, experiencia práctica e innovación, con un peso destacado.
- **Sector público:** encargado de la articulación institucional y de garantizar la coherencia con políticas y planes de desarrollo.
- **Academia:** contribuye con investigación, rigor técnico e impulso a la innovación, aunque con impacto más indirecto en la producción.

A partir de lo anterior, se implementó una metodología de ponderación diferenciada por tipo de actor e impacto. Esta estrategia permitió equilibrar la relevancia de los distintos puntos de vista (social, económico, institucional y científico) con las dimensiones técnicas de los impactos, garantizando que la evaluación reflejara tanto la viabilidad práctica como la pertinencia social y ambiental de los proyectos. En el primer caso, se asignaron los siguientes pesos: sociedad civil (25 %), sector privado (35 %), sector público (20 %) y academia (20 %). En el segundo, los impactos se valoraron así: productividad (30 %), costos de producción (20 %), calidad del producto (20 %), medio ambiente (10 %) y dinamismo de la cadena productiva (20 %).

La calificación final de cada proyecto se obtuvo mediante un procedimiento sistemático. Primero, cada actor evaluó los proyectos en una escala de 1 a 5 para cada criterio de impacto. Luego, dichas calificaciones se multiplicaron por el peso correspondiente a cada actor. Los resultados obtenidos se sumaron para calcular una calificación ponderada por criterio. Finalmente, cada criterio se ajustó según su importancia relativa, lo que hizo posible establecer el puntaje global de cada proyecto.

Este proceso de priorización condujo a establecer una jerarquía técnica y consensuada de los proyectos, destacándose como prioritario el proyecto de automatización de la siembra e introducción de variedades mejoradas (puntaje: 4.9), seguido de las iniciativas de tecnificación con drones (4.7) y mecanización de la cosecha con valorización

de residuos (4.7). Los resultados se sistematizaron en actas y sirvieron como insumo para estructurar la agenda definitiva y priorizar los proyectos.

3. Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos derivados del diagnóstico de la cadena productiva de la piña en el municipio de Caloto, esta enfrenta diversas problemáticas que limitan su competitividad y sostenibilidad. Se identificaron las principales problemáticas de la cadena productiva de piña en Caloto, Cauca:

1. La desorganización en los calendarios de siembra y cosecha, que genera ineficiencias en la oferta y reduce la capacidad de respuesta frente al mercado.
2. Las deficiencias en el manejo de la cosecha y la poscosecha, como las malas prácticas durante la recolección o la ausencia de infraestructura apropiada para el almacenamiento y transporte, las cuales afectan la calidad del producto y disminuyen el valor agregado.
3. La ausencia de alianzas estratégicas entre los actores de la cadena productiva, lo que restringe la cooperación, la innovación conjunta y el acceso a mejores oportunidades comerciales.

Asimismo, la cadena presenta pocos productores, baja capacitación técnica y alta influencia de mercados informales. Depende de pequeños agricultores, primer eslabón y base del abastecimiento, algunos vinculados a asociaciones locales. En la comercialización coexisten canales formales e informales con actores como almacenes, compradores y consumidores. Los canales informales generan fallas por intermediación a bajos precios, sin criterios de calidad ni trazabilidad.

De otro lado, respecto de la institucionalidad identificada que brinda apoyo a la cadena productiva para la formulación de orientaciones estratégicas y gestión de políticas para el sector, se encuentran actores como la Oficina de Agricultura del municipio de Caloto y la Gobernación del Cauca. No obstante, se requieren mayores esfuerzos en coordinación y colaboración, lo que se refleja en la ausencia de alianzas estratégicas, hecho que dificulta el acceso a mercados competitivos y limita el crecimiento de los pequeños productores.

Según el censo agrícola realizado por la Alcaldía Municipal, con corte a diciembre de 2024, donde se encuestó a 28 productores de la cadena productiva, se identificó una alta familiaridad con el uso de herramientas tecnológicas, tales como teléfonos celulares, computadores y redes sociales como herramientas de comunicación y coordinación. El 100 % de los encuestados utiliza dispositivos digitales, y el 61 % emplea redes sociales, principalmente Facebook, para mantenerse informados y conectados. La conectividad tampoco representa una barrera significativa, ya que la mayoría cuenta con acceso propio a internet. Sin embargo, a pesar de que existe una base tecnológica sólida, el uso intensivo de herramientas tecnológicas como plataformas especializadas para producción y comercio sigue siendo limitado.

Por otro lado, el acceso a financiamiento y asistencia técnica sigue siendo restringido, pues más de la mitad de los productores no cuenta con crédito bancario, y solo una minoría ha recibido apoyo técnico reciente. La mano de obra utilizada es mayoritariamente no calificada o familiar, con una baja especialización en labores agrícolas.

Aunque algunos productores han incorporado prácticas sostenibles, como el control biológico de plagas, lo que muestra una disposición hacia la innovación.

Los resultados del ejercicio de VT e IC mostraron que las tendencias para el sector agrícola enfocadas en la cadena productiva de la piña incluyeron agricultura de precisión, digitalización, energías renovables, abonos orgánicos, biotecnología agrícola, agricultura sostenible, alimentación saludable y reducción de desperdicios. El análisis de los principales referentes nacionales e internacionales en la cadena productiva de la piña tuvo en cuenta aquellos que han implementado diversos planes que les han permitido consolidarse como líderes en su sector. Esto revela estrategias exitosas que han fortalecido su competitividad en el sector agrícola. Empresas como Del Monte y Dole (Estados Unidos), Fruitpoint (Costa Rica), Kiana Produce (México), Bengala Agrícola y AVColombia (Colombia) han implementado prácticas diferenciadoras, como la investigación en nuevas variedades, el desarrollo de productos derivados, el uso de agricultura de precisión, la reducción de la huella de carbono y la economía circular.

En el contexto colombiano, Bengala Agrícola y AVColombia destacan por sus avances en estandarización, mecanización, certificaciones y formación técnica. Bengala ha logrado posicionarse como proveedor clave en grandes superficies, gracias a su eficiencia logística y calidad del producto, mientras que AVColombia ha promovido la capacitación de mano de obra especializada mediante alianzas institucionales.

Respecto de las tecnologías identificadas, para el caso de la automatización en la siembra de piña, tecnologías como la enterradora de cintas permiten optimizar el riego y disminuir el consumo de agua, mientras que los sistemas de plantación guiados por GPS reducen el uso de insumos. El uso de plataformas digitales facilita la gestión agrícola, con impactos positivos en la rentabilidad. Además, herramientas como sensores multiespectrales y drones proporcionan un monitoreo preciso del cultivo y una aplicación eficiente de agroquímicos, incrementando el rendimiento y reduciendo el desperdicio. La trasplantadora de plantas de piña ayuda a disminuir la necesidad de mano de obra y brinda mayor uniformidad al cultivo.

En cuanto a la cosecha, las cosechadoras automatizadas pueden incrementar la productividad y cubrir grandes extensiones de tierra en menos tiempo. Herramientas como los carros de transporte y las bandas transportadoras para tractores aumentan la eficiencia de recolección y minimizan los daños mecánicos a la fruta. La camadora, combinada con sistemas de transporte, hace posible trabajar hasta cuatro hectáreas por hora, reduciendo significativamente los costos laborales. Finalmente, el uso de kits de herramientas especializadas para la cosecha no solo fortalece la seguridad laboral, sino que también reduce el daño a la fruta y los costos médicos, generando un impacto positivo en la rentabilidad y sostenibilidad del proceso de recolección.

Estas tecnologías pueden ofrecer diversos beneficios. Por ejemplo, en la siembra, la enterradora de cintas puede promover un ahorro de hasta 60 % en el consumo de agua en comparación con métodos tradicionales, gracias a que favorece que el agua llegue directamente a las raíces de las plantas. Asimismo, los sistemas de plantación guiados por GPS pueden reducir entre 10 % y 15 % los consumos de fertilizantes e insumos. De igual forma, el uso de plataformas digitales para la gestión agrícola puede contribuir a un aumento del 74 % en el Ebitda de las empresas. Por otro lado, en la cosecha, el uso

de carros de transporte para la recolección de piña puede representar hasta un 20 % de reducción en los costos de mano de obra.

Derivado del proceso de identificación de los focos críticos de vigilancia, estos se orientaron a la automatización de la siembra y la cosecha. Frente a la primera, se asociaron tecnologías como las enterradoras de cintas, sistemas de plantación guiados por GPS, plataformas digitales para la gestión agrícola, sensores, trasplantadoras de plantas de piña y uso de drones. Respecto de la segunda, se incluyeron cosechadoras de piña, sistemas de transporte para la recolección, bandas transportadoras, camadoras y kits de herramientas para la cosecha.

Con la agenda de I+D+i se identificó, priorizó y estructuró un portafolio de tres proyectos estratégicos. Los tres proyectos que se presentan en la Tabla 1, definidos a través de la priorización participativa, se formularon para abordar diferentes desafíos de forma articulada: 1) la automatización del establecimiento del cultivo con variedades mejoradas, 2) la tecnificación mediante agricultura de precisión en la etapa de siembra y monitoreo y 3) la mecanización de la cosecha y transformación de residuos de la piña con enfoque de bioeconomía circular.

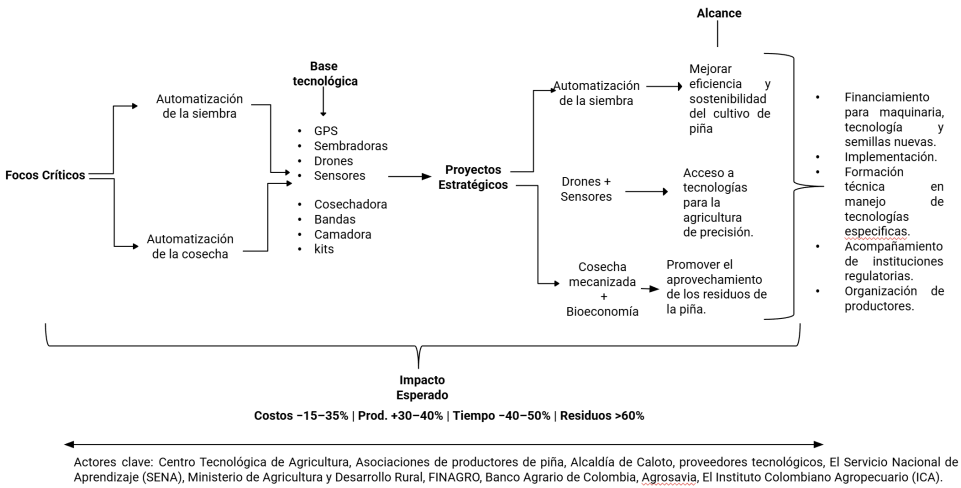
Tabla 1. Resumen de la agenda de I+D+i para la cadena productiva de la piña en el municipio de Caloto, Cauca

Nombre del proyecto	Descripción	Tiempo de implementación
Automatización de la siembra e introducción de variedades de piña con mejor desempeño productivo	Mejorar la eficiencia y sostenibilidad del cultivo de piña en Caloto mediante la implementación de tecnologías de siembra automatizada y la introducción de variedades de alto desempeño adaptadas al contexto local.	Corto plazo
Tecnificación con drones y sensores para la gestión productiva del cultivo de piña en Caloto	Facilitar el acceso a tecnologías de agricultura de precisión y procesos de capacitación técnica para modernizar la producción de piña en Caloto, optimizar los procesos de siembra y monitoreo del cultivo, y mejorar la rentabilidad y sostenibilidad del sector.	Mediano plazo
Cosecha mecanizada y transformación de residuos de piña en energía y bioproductos	Mejorar la eficiencia del proceso de cosecha y promover el aprovechamiento de residuos del cultivo de piña en Caloto mediante la mecanización agrícola y la transformación tecnológica en biogás y bioplásticos, lo que fortalece un modelo de economía circular rural.	Largo plazo

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, la siguiente figura resume la agenda de I+D+i establecida para la cadena productiva de la piña en el municipio de Caloto:

Figura 2. Resumen de la agenda I+D+i para la cadena productiva de la piña en Caloto, Cauca



Comparado con la Agenda Nacional Colombiana de I+D+i para la cadena productiva de la piña, las mayores demandas se concentran en cosecha, poscosecha y transformación, y manejo de suelos y aguas, con 15 cada una (González, 2024). Asimismo, para el caso del Cauca, una de las demandas en el periodo 2021-2024 se orienta a las alternativas agroindustriales para los productos y subproductos del cultivo de piña (Siembra, 2025). Esto muestra una alineación desde el nivel local con lo planteado a una escala departamental y nacional.

Sin embargo, de acuerdo con los resultados de una revisión de literatura realizada por Da Silveira *et al.* (2021), se identificaron 25 barreras que dificultan el desarrollo de la agricultura 4.0. De estas, el componente tecnológico es donde se concentra el mayor número de barreras, como la incompatibilidad entre componentes tecnológicos, las preocupaciones sobre la confiabilidad de las tecnologías, la complejidad tecnológica, la falta de infraestructura adecuada, el déficit de habilidades digitales o mano de obra calificada, o los problemas en los sistemas educativos, entre otras.

De igual manera, en el análisis realizado por Ovalle-Másmela *et al.* (2023) sobre las tecnologías emergentes para el agro y su aplicación en Colombia, se identificaron obstáculos para la adopción de tecnologías relacionados con limitaciones de conectividad en el campo, altos costos, poca gestión del conocimiento para capacitaciones en algunas zonas y reducida inversión en I+D.

Como se mencionó, parte de los problemas estructurales de la cadena de la piña se vinculan con la baja formación, lo que se puede asociar con parte de las barreras identificadas por Da Silveira *et al.* (2021), relacionadas con las fallas de los sistemas educativos, el déficit de competencias digitales y de mano de obra calificada. A su vez, frente a la complejidad tecnológica y la poca confianza en las tecnologías, se requiere adelantar ejercicios de involucramiento de las comunidades de productores con estas tecnologías.

Además del componente tecnológico, factores como la reducida colaboración entre actores, dificultades para la planeación o el poco apoyo de las instituciones públicas

representan desafíos relevantes para la adopción de este tipo de tecnologías en un contexto de países en desarrollo. Para ello, serán esenciales acciones como el fortalecimiento de la colaboración entre actores clave del sector agrícola, el desarrollo planes de acción estratégicos (Islam *et al.*, 2024), donde las propuestas de agenda de I+D+i pueden resultar importantes. Asimismo, el soporte que puede brindar el Estado resulta fundamental para promover una mayor adquisición y adopción de este tipo de tecnologías.

En ese sentido, se ha analizado el proceso de escalamiento de innovaciones en el sector agrícola mediante el caso de la piña MD-2, con un enfoque en su expansión global y particularmente en México. Este estudio permitió comprender cómo las funciones de un sistema de innovación y sus interacciones influyen en la introducción y escalamiento de una innovación dentro de una cadena de valor. Se concluyó que el éxito de una innovación no depende únicamente de su calidad técnica, sino de la existencia de un ecosistema funcional donde factores como el mercado, el conocimiento, las políticas y los actores involucrados interactúan y se refuerzan mutuamente (Torres-Ávila *et al.*, 2022).

Igualmente, a partir de dos casos analizados en Brasil, se identificó que el desarrollo tecnocientífico en la agricultura no depende exclusivamente de la ciencia en sí misma, sino del vínculo con factores sociales, políticos, ambientales y culturales. La innovación agrícola resulta un proceso complejo, influido por el contexto local y por las formas en que el conocimiento científico se adapta, se interpreta y se implementa, donde resulta determinante la contribución conjunta del Estado, los investigadores y los productores para la transformación del sector (Nehring, 2024).

De esta forma, el diseño conjunto y participativo de esta agenda de I+D+i busca ser un punto de referencia para avanzar en la consolidación de los esfuerzos conjuntos para el fortalecimiento de la cadena productiva de la piña. Instituciones como los ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural y de Ciencia, Tecnología e Innovación, junto con actores de investigación como la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), pueden jugar un papel importante en este proceso.

Por lo tanto, resultan relevantes las alianzas con organizaciones como las instituciones de educación superior y centros de investigación que dispongan de las capacidades tecnológicas requeridas, las cuales difícilmente se pueden desarrollar en un corto plazo. Con estos procesos de transferencia tecnológica se pueden generar dinámicas beneficiosas para ambas partes. Además, desde una lógica de la triple hélice, el Estado puede facilitar esta interacción entre la universidad y el sector, con lo cual se puede dinamizar la generación de empleos, el desarrollo de nuevas líneas de producción y la capacitación de talento humano (Isiordia-Lachica *et al.*, 2020).

En el caso particular de los drones, su adopción puede representar importantes beneficios para los agricultores, con un impacto positivo en la cadena de suministro (Chouhan *et al.*, 2025). Sin embargo, estos vehículos aéreos no tripulados (UAV) suelen contar con interfaces de usuario complejas, limitando su uso para personas con poca experiencia. De ahí que el mejoramiento de estas interfaces con un enfoque centrado en el usuario puede facilitar su adopción (Abbasi *et al.*, 2022).

Al igual que con otras tecnologías, es vital la experimentación real en campo para tener una mayor comprensión de los beneficios. También será importante la colaboración entre las autoridades locales, expertos agrícolas y proveedores de tecnología, para incrementar la confianza en la tecnología (Chouhan *et al.*, 2025). En ese sentido, los actores del sistema apoyados por el Estado pueden resultar importantes, facilitando la organización

de capacidades y recursos para dinamizar procesos de transferencia de conocimiento y brindando facilidades de acceso a las tecnologías a los productores.

Así, la experimentación agrícola en campo, con diferentes escalas y consideraciones espaciales y temporales, puede propiciar la recolección y almacenamiento de datos que sirvan como base para la colaboración de investigadores de diferentes disciplinas (Storm *et al.*, 2024). Asimismo, se necesita incrementar la inversión en tecnología y ampliar opciones de educación y capacitación para los actores involucrados en el sector agrícola, para facilitar la adopción de modelos y herramientas tecnológicas en sus cultivos, según sus capacidades y necesidades (Rodríguez-Molano *et al.*, 2022).

En ese sentido, es relevante considerar que la innovación requiere procesos de aprendizaje social, formación técnica, redes de colaboración y reconocimiento del conocimiento local. La influencia de políticas orientadas a fortalecer el capital humano y social, que promueven la educación y el desarrollo de capacidades, puede resultar decisiva para la generación de cambios tecnológicos significativos en las cadenas de valor agrícolas (Gunnarsson, 2021). De esta manera, resulta capital que los próximos pasos consideren la implementación de proyectos piloto de carácter interdisciplinario, con la aplicación de estas tecnologías a una menor escala, que generen datos para validar sus ventajas y condiciones de mejora adecuadas al territorio.

3.1. Conclusiones

La cadena productiva de la piña en Caloto presenta retos estructurales significativos, como el bajo nivel educativo de los productores, la limitada asistencia técnica y el acceso restringido a financiamiento, lo que afecta su competitividad y sostenibilidad. Aunque se encuentran condiciones de conectividad digital y disposición hacia prácticas sostenibles, el uso incipiente de tecnologías para fines productivos y comerciales hace viable proyectar una agenda de I+D+i orientada al fortalecimiento de capacidades locales y al desarrollo rural basado en la incorporación de tecnologías en el proceso productivo.

El análisis de VT e IC permitió identificar tendencias clave, como la agricultura de precisión, la digitalización y la bioeconomía circular. Se estructuró un portafolio de proyectos estratégicos enfocados en la automatización del cultivo, el monitoreo con tecnologías emergentes y la transformación de residuos. Estas iniciativas, definidas mediante procesos participativos, ofrecen puntos de orientación relevantes para avanzar hacia un modelo más tecnificado, eficiente y sostenible.

Sin embargo, la adopción de estas tecnologías, como las referenciadas para la automatización de la siembra y cosecha de la piña, enfrenta barreras relacionadas con la complejidad operativa, la falta de infraestructura y el déficit de habilidades digitales. Ante este panorama, se destaca la necesidad de implementar proyectos piloto, fortalecer redes de colaboración y promover procesos de formación técnica contextualizada. La articulación entre actores institucionales, académicos y productivos será crucial para dinamizar el ecosistema de innovación y facilitar la apropiación tecnológica en el territorio.

La contribución académica de este estudio radica en la sistematización de un proceso metodológico participativo para la construcción de agendas de I+D+i en contextos rurales, en un municipio de un país en desarrollo como Colombia, lo que representa un aporte al análisis de la innovación territorial. Al integrar herramientas de VT e IC con enfoques de evaluación multicriterio y ponderación diferenciada por tipo de actor, la metodología

permite incorporar de manera estructurada la perspectiva de diversos actores locales. Este enfoque facilita la comprensión para articular capacidades locales y científicas orientadas a la generación de agendas estratégicas que respondan a las necesidades específicas de cadenas productivas rurales, fortaleciendo así los SIA desde una visión colaborativa y ofreciendo insumos para los formuladores de políticas públicas en la definición de estrategias de desarrollo rural a escala local.

La experiencia desarrollada en Caloto muestra que es posible construir agendas territoriales desde una articulación participativa entre lo local y lo institucional. Esto aporta elementos para futuras investigaciones sobre gobernanza colaborativa en innovación rural y para la planificación de iniciativas orientadas al fortalecimiento de cadenas agroproductivas mediante tecnologías emergentes y estrategias de desarrollo inclusivo.

Rol del autor

KJML: Conceptualización; Metodología; Validación; Análisis formal; Investigación; Escritura - borrador original; Escritura, revisión y edición; Visualización; Administración del proyecto.

GAAM: Análisis formal; Investigación; Escritura - borrador original; Escritura, revisión y edición; Visualización.

EHM: Análisis formal; Investigación; Escritura - borrador original; Escritura, revisión y edición; Visualización.

JAVB: Conceptualización; Metodología; Análisis formal; Investigación; Escritura, revisión y edición; Administración del proyecto.

SBB: Conceptualización; Metodología; Análisis formal; Investigación; Escritura, revisión y edición; Administración del proyecto.

AFOM: Conceptualización; Metodología; Análisis formal; Investigación; Escritura, revisión y edición; Administración del proyecto; Adquisición de fondos.

CLG: Conceptualización; Metodología; Análisis formal; Investigación; Escritura, revisión y edición; Administración del proyecto.

bibliografía

- Abbasi, R., Martínez, P. & Ahmad, R.**
- 2022 The digitization of agricultural industry - a systematic literature review on agriculture 4.0. *Smart Agricultural Technology*, 2, 100042. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100042>
- Agronet.**
- 2025 *Red de información y comunicación del sector agropecuario colombiano*. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=59>
- Alcaldía de Caloto.**
- 2024 *Transformando Juntos, con acciones conscientes que nos unan. Plan de desarrollo municipal (2024-2027)*. <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/28639/PLAN%20DE%20DESARROLLO%20MUNICIPAL%20CALOTO%202024-2027.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Burgos, A. & Bocco, G.**
- 2020 Contribuciones a una teoría de la innovación rural. *Cuadernos de Economía*, 39(79), 219-247. <https://doi.org/10.15446/cuad.econ.v39n79.74459>
- Castellanos, O., Torres, L. & Domínguez, K.**
- 2009 *Manual metodológico para la definición de agendas de investigación y desarrollo tecnológico en cadenas productivas agroindustriales*. <https://repositorio.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13510>
- Chaparro-Banegas, N., Mas-Tur, A. & Roig-Tierno, N.**
- 2023 Driving research on eco-innovation systems: crossing the boundaries of innovation systems. *International Journal of Innovation Studies*, 7(3), 218-229. <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2023.04.004>
- Chouhan, S. S., Patel, R. K., Singh, U. P. & Tejani, G. G.**
- 2025 Integrating drone in agriculture: addressing technology, challenges, solutions, and applications to drive economic growth. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 38, 01576. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2025.101576>
- Congreso de Colombia.**
- 2017 Ley No. 1876. *Por medio de la cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria y se dictan otras disposiciones*. <https://www.minagricultura.gov.co/normatividad/leyes/ley%20no%201876%20de%202017.pdf>
- Corporación Conciudadanía.**
- 2024 *Guía básica para la incidencia en el Plan de Desarrollo Municipal*. <https://conciudadania.org/wp-content/uploads/2024/02/Guia-Basica-para-la-Incidencia-en-el-Plan-de-Desarrollo-Municipal.pdf>
- Da Silveira, F., Lermen, F. H. & Amaral, F. G.**
- 2021 An overview of agriculture 4.0 development: systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantages. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189, 106405. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106405>
- Departamento Nacional de Planeación.**
- 2021 *Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2022-2031*. <https://>

bibliografía

colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/
Econ%C3%B3micos/4069.pdf

Departamento Nacional de Planeación.

2023 ¿Qué es el Sistema General de Regalías?
<https://www.dnp.gov.co/atencion-al-ciudadano/Paginas/que-es-el-sistema-general-de-regalias%E2%80%8B.aspx>

Duarte de Oliveira Paiva, P., Castro, A. C. R., Van Der Geest, A. P. S. L., Vieira, G. F. R., Hummel, M., Lopes, H. D. S. & Da Silva Costa, J. L.

2024 Diagnosis of the production chain of flowers, turfgrass, and ornamental plants: proposal for an innovation agenda. *Ornamental Horticulture*, 30. <https://doi.org/10.1590/2447-536x.v30.e242792>

González, S.

2024 Contexto de cadena piña. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/39774/Ver_documento_39774.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Grovermann, C., Wossen, T., Muller, A. & Nichterlein, K.

2019 Eco-efficiency and agricultural innovation systems in developing countries: evidence from macro-level analysis. *PLoS One*, 14(4), e0214115. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214115>

Gunnarsson, J.

2021 Pathways to innovation for Gambian farmers through supplier contracts. *Scientific African*, 14, e00990. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00990>

Gutiérrez-Cano, L. F., Zartha-Sossa, J. W., Mendoza-Orozco, G. L., Suárez-Guzmán, L. M., Agudelo-Tapasco, D. A. & Quintero-Saavedra, J. I.

2023 Agricultural innovation system: analysis from the subsystems of R&D, training, extension, and sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7 <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1176366>

Isiordia-Lachica, P. C., Valenzuela, A., Rodríguez-Carvajal, R. A., Hernández-Ruiz, J. & Romero-Hidalgo, J. A.

2020 Identification and analysis of technology and knowledge transfer experiences for the agro-food sector in Mexico. *Journal of Open Innovation: Technology Market and Complexity*, 6(3), 59. <https://doi.org/10.3390/joitmc6030059>

Islam, M. H., Anam, M. Z., Hoque, M. R., Nishat, M. & Mainul Bari, A. B. M.

2024 Agriculture 4.0 adoption challenges in the emerging economies: implications for smart farming and sustainability. *Journal of Economy and Technology*, 2, 278-295. <https://doi.org/10.1016/j.ject.2024.09.002>

Jiménez, A. M.

2024 Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria de Colombia. En A. M. Ramírez & F. A. Romero (Eds.), *Análisis comparativo de sistemas de innovación agropecuaria: un abordaje hacia las mejores prácticas para Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/40205>

bibliografía

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.**
- 2019 *Un campo para la equidad. Política agropecuaria y de desarrollo rural 2018-2022.* https://sioc.minagricultura.gov.co/Documentos/20190326_politica_agro_2018-2022.pdf
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.**
- 2023 *Políticas de investigación e innovación orientadas por misiones - PIOM. Misión bioeconomía y territorio.* https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/noticias/1_documento_de_politica_bioeconomia_y_territorio.pdf
- Mordor Intelligence.**
- 2025 *Pineapple market size & share analysis - Growth trends & forecasts (2025-2030).* <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-pineapple-market>
- Nehring, R.**
- 2024 The technopolitics of agronomic knowledge and tropical(izing) vegetables in Brazil. *Environmental Science & Policy*, 162, 103911. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2024.103911>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura**
- 2018 *Propuesta agenda de investigación, desarrollo e innovación para la agroecología en Colombia.* https://sembrandocapacidades.fao.org/co/wp-content/uploads/2021/11/30_06_2021-Agenda-de-investigacion%CC%A8n-desarrollo-e-innovacion%CC%A8.pdf
- Ovalle-Másmela, J. C., Romero-Perdomo, F. A. & Uribe-Galvis, C. P.**
- 2023 *Tecnologías emergentes para el agro y su aplicación en Colombia.* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/38661>
- Quintero-Quintana, M., Ortiz-Muñoz, D. A., Murcia-Palacios, J., Villaseñor, E. A. & Ardila, A. N.**
- 2022 *Aprovechamiento de residuos agroindustriales de la piña.* <https://www.politecnicojic.edu.co/images/downloads/investigacion/grupos/camer/productos/aprovechamiento-de-residuos-agroindustriales-pina.pdf>
- Ramírez, J. & Escobar, E.**
- 2024 *La competitividad de los pequeños productores de piña en el Norte del Cauca colombiano: perspectivas para la exportación internacional* [Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional de la Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/a69be445-2788-4a61-9f7b-8ae4c62fcc36/content>
- Rodríguez-Molano, J. I., Montoya-Álvarez, Y. A. & Contreras-Bravo, L. E.**
- 2022 Colombian agriculture: approaching agriculture 4.0. *Revista Ingeniería Solidaria*, 18(2). <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2022.02.04>
- Rose, D. C., Wheeler, R., Winter, M., Lobley, M. & Chivers, C.**
- 2021 Agriculture 4.0: making it work for

bibliografía

- people, production, and the planet. *Land Use Policy*, 100, 104933. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104933>
- Sánchez, J.**
2023 *Fortalecimiento de la cadena productiva de piña orgánica en el norte del departamento del Cauca*. https://www.researchgate.net/publication/369787604_Fortalecimiento_de_la_cadena_productiva_de_pina_organica_en_el_norte_del_departamento_del_Cauca
- Siembra.**
2025 *Plataforma de información para la gestión del conocimiento en Ciencia, Tecnología e Innovación, (CTI) del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria, (SNIA)*. [https://siembra.co/Demandas/Demanda/ReporteLista?TextQuery=Frutales\\$Cauca%20\(COL\)\\$](https://siembra.co/Demandas/Demanda/ReporteLista?TextQuery=Frutales$Cauca%20(COL)$)
- Storm, H., Seidel, S. J., Klingbeil, L., Ewert, F., Vereecken, H., Amelung, W., Behnke, S., Bennewitz, M., Börner, J., Döring, T., Gall, J., Mahlein, A., McCool, C., Rascher, U., Wrobel, S., Schnepf, A., Stachniss, C. & Kuhlmann, H.**
2024 Research priorities to leverage smart digital technologies for sustainable crop production. *European Journal of Agronomy*, 156, 127178. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127178>
- Schroth, F., Glatte, H., Kaiser, S. & Heidingsfelder, M.**
2020 Participatory agenda setting as a process - of people, ambassadors and translation: a case study of participatory agenda setting in rural areas. *European Journal of Futures Research*, 8, 6. <https://doi.org/10.1186/s40309-020-00165-w>
- Torres-Ávila, A., Aguilar-Ávila, J., Santoyo-Cortés, V. H., Martínez-González, E. G. & Aguilar-Gallegos, N.**
2022 Innovation in the pineapple value chain in Mexico: explaining the global adoption process of the MD-2 hybrid. *Agricultural Systems*, 198, 103386. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103386>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria.**
2025a *Evaluaciones agropecuarias municipales - EVA*. <https://upra.gov.co/es-co/evaluaciones-agropecuarias-municipales-eva>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria.**
2025b *El agro colombiano fue la tercera actividad económica con mayor crecimiento en el segundo trimestre de 2025*. <https://upra.gov.co/es-co/sala-de-prensa/noticias/el-agro-colombiano-fue-la-tercera-actividad-economica-con-mayor-crecimiento#:~:text=El%20sector%20agropecuario%20participa%20con, cuarta%20rama%20de%20mayor%20aporte>
- Vijayakumar, S., Murugaiyan, V., Ilakkiya, S., Kumar, V., Sundaram, R. M. & Kumar, R. M.**
2025 Opportunities, challenges, and interventions for agriculture 4.0 adoption. *Discover Food*, 5, 265. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00576-3>