



**Desafíos y oportunidades para el sector bananero de Antioquia: Un ejercicio prospectivo al
2040**

Daniela González Lotero

Trabajo de grado de maestría presentado para optar al título de Magíster en Gestión Tecnológica

Director

Jhon Fredy Escobar Soto, Doctor (PhD) en Administración

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingenierías

Maestría en Gestión Tecnológica

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Daniela González Lotero

“Declaro que este trabajo no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquiera otra universidad”.

Firma

Daniela González L.

Dedicatoria

Este trabajo de grado lo dedico con total emoción y felicidad a mis padres, hermana y mi sobrina.

Gracias por su apoyo incondicional, amor y motivación.

Gracias familia por entender que a veces los días de descanso se convierten en días de estudio.

Agradecimientos

A mis padres y mi hermana por su acompañamiento, motivación y enseñanzas.

A Dios por ponerme en este camino y la bendición de poder estudiar este programa.

A mi director de trabajo de grado PhD Jhon Fredy Escobar Soto, gracias por tu orientación, por acompañarme en este proceso, por el tiempo dedicado, por los valiosos consejos, por motivarme en cada momento a dar lo mejor de mí y por la amistad que nos queda.

A los amigos que me regaló este proceso académico, gracias por estar, por la motivación conjunta, la colaboración, por ser toda una red de apoyo y por la linda amistad que nos queda.

A todos los docentes del programa Gestión de la Tecnología e Innovación, gracias por sus enseñanzas, por sus clases inspiradoras, por sus valiosos aportes y por acompañarnos en este proceso de formación y ser mejores profesionales

Gracias a la universidad por ser ese espacio encantador, motivador e inspirador.

Tabla de contenido

Resumen	15
Abstract	17
1. Planteamiento del problema.....	19
1.1. Antecedentes	20
1.2. Estado del arte	21
2. Objetivos.....	29
2.1. Objetivo general	29
2.2. Objetivos específicos.....	29
3. Hipótesis	30
4. Marco teórico	31
4.1. Marco contextual.....	36
5. Metodología.....	42
5.1. Desarrollo metodológico	43
5.2. Clasificación de la Investigación.....	52
5.3. Descripción de fuentes de datos y de datos.....	53
5.4. Métodos de obtención de Datos	59
5.5. Métodos de manejo de datos	61
5.6. Métodos de comunicación del proyecto.....	61
6. Resultados	62
6.1. Caracterización del ámbito nacional e internacional de los productores de banano	62
6.2. Cadena productiva del Banano.....	66
6.3. Desafíos generales del mercado global de banano.....	67
6.3.1. Cambio Climático	67

6.3.2.	Plagas	67
6.3.3.	Introducción de nuevas variedades	68
6.3.4.	Brechas tecnológicas	69
6.3.5.	Alto costo de los fertilizantes y pesticidas	69
6.3.6.	Manejo del agua	71
6.3.7.	Factores externos y el precio del banano	72
6.3.8.	Iniciativas del gobierno de los países productores	73
6.4.	Vigilancia tecnológica aplicada al sector bananero	74
6.4.1.	Revisión académica.....	74
6.4.2.	Revisión Tecnológica Patentes.....	82
6.4.3.	Revisión Tecnológica en Colombia	88
6.5.	Análisis de brechas.....	90
6.6.	Variables Identificadas del proceso de vigilancia tecnológica.....	95
6.6.1.	Perfil de los Expertos	97
6.6.2.	Análisis de resultados.....	107
6.6.2.1.	Resultados Bloque 1	107
6.6.2.2.	Resultados Bloque 2.....	116
6.6.3.	Apreciaciones de los resultados bloque 1 y bloque 2.....	125
6.6.3.1.	Temáticas y tecnologías altamente validadas por los expertos	125
6.6.3.2.	Temáticas y tecnologías con menor consenso de ocurrencia	127
6.7.	Construcción de escenarios con la caja de herramientas de prospectiva estratégica ...	128
6.7.1.	Escenario Optimista Transformador" Agricultura regenerativa y digitalizada" ..	130
6.7.2.	Escenario Moderado optimista, "Banano inteligente y sostenible	135
6.7.3.	Escenario pesimista o de bajo desempeño	140

6.7.4. Escenario tendencial que representa una modernización cautelosa - persistencia modelo tradicional	145
7. Conclusiones	150
Referencias	153
Anexos	168

Lista de tablas

Tabla 1 Ecuaciones de búsqueda para el ejercicio.	23
Tabla 2 Hitos de desarrollo de la prospectiva	32
Tabla 3 Actores de la cadena productiva del banano	39
Tabla 4 Datos y fuente de datos según el objetivo	54
Tabla 5 Obtención de los datos	59
Tabla 6 Productos esperados de Generación de Nuevo Conocimiento	61
Tabla 7 Ecuaciones de búsqueda y criterios.....	76
Tabla 8 Ecuaciones de búsqueda para patentes en LENS	82
Tabla 9 Selección de patentes según situación jurídica	83
Tabla 10 Patentes según tecnología código IPC	85
Tabla 11 Patentes registradas en Colombia.....	88
Tabla 12 Brechas asociadas al cultivo y producción de banano	90
Tabla 13 Consolidación de brechas con calificación normalizada.....	91
Tabla 14 Categorías de clasificación.....	96
Tabla 15 Categorías, tendencias	97
Tabla 16 Categorías, tendencias, temas relevantes posibles variables.....	100
Tabla 17 Tecnología altamente validada por expertos.....	125
Tabla 18 Tecnología con menor consenso de ocurrencia.....	127
Tabla 19 Variables codificadas y código para la hipótesis	128
Tabla 20 Hipótesis configuradas escenario optimista transformador	130
Tabla 21 Hipótesis configuradas escenario optimista	135
Tabla 22 Hipótesis configuradas escenario pesimista.....	140

Tabla 23 Hipótesis configuradas escenario tendencial modernización cautelosa 145

Lista de figuras

Figura 1 Producción Científica (1999-2022)	24
Figura 2 Revistas más citadas	25
Figura 3 Evolución de las temáticas asociadas a banano y prospectiva en el periodo 2003- 2023	26
Figura 4 Cadena productiva del Banano	38
Figura 5 Esquema de ruta metodológica para el desarrollo del proyecto de investigación	42
Figura 6 Esquema de ruta metodológica para el desarrollo del proyecto de investigación, objetivo 1	43
Figura 7 Esquema de ruta metodológica para el desarrollo del proyecto de investigación, objetivo 2	44
Figura 8 Esquema de ruta metodológica para el desarrollo del proyecto de investigación, objetivo 3, con base en (Godet & Durance, 2018)	47
Figura 9 Exportaciones mundiales de banano por región, 2019-2023 por millones de toneladas	63
Figura 10 Distribución de las importaciones netas mundiales por mercados en 2023.	64
Figura 11 Cadena productiva del banano en Urabá	66
Figura 12 Producción científica (2014-2023)	78
Figura 13 Impacto Local de las fuentes	78
Figura 14 Producción de autores por el tiempo	79
Figura 15 Afiliaciones más relevantes	80
Figura 16 Países más relevantes.....	81
Figura 17 Número de patentes por año	83
Figura 18 Códigos IPC y cantidad de patentes	84
Figura 19 Principales oficinas de registro de patentes	87
Figura 20 Principales aplicantes de registro de patentes.....	87

Figura 21 Brechas asociadas al cultivo y producción de banano respecto al líder mundial exportador.....	92
Figura 22 Distancia al principal destino de exportación.....	94
Figura 23 Importancia actual temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Integración de tecnologías emergentes (IA, IoT, robótica).....	107
Figura 24 Importancia futura temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Integración de tecnologías emergentes (IA, IoT, robótica).....	108
Figura 25 Importancia actual temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Sostenibilidad y Control biológico de plagas y enfermedades.	109
Figura 26 Importancia Futura temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Sostenibilidad y Control biológico de plagas y enfermedades.	110
Figura 27 Importancia actual temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Mejora Genética.....	111
Figura 28 Importancia futura temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Mejora Genética.....	112
Figura 29 Importancia actual temas o tecnologías más relevantes relacionados con tecnologías para el cultivo y poscosecha.....	113
Figura 30 Importancia futura temas o tecnologías más relevantes relacionados con tecnologías para el cultivo y poscosecha.....	114
Figura 31 Importancia actual temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Agricultura de Precisión.....	115
Figura 32 Importancia futura temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Agricultura de Precisión.	116
Figura 33 Integración de Tecnologías Emergentes (IA, IoT, robótica) y probabilidad de ocurrencia a 2040	117
Figura 34 Integración de tecnologías de Control Biológico y probabilidad de ocurrencia a 2040	119
Figura 35 Integración de tecnologías de Mejora Genética y probabilidad de ocurrencia a 2040	121
Figura 36 Integración de tecnologías para el cultivo y cosecha y probabilidad de ocurrencia a 2040.....	122

Figura 37 Integración de tecnologías para Agricultura de Precisión y probabilidad de ocurrencia a 2040	124
Figura 38 Consolidado probabilidades simples	131
Figura 39 Consolidada probabilidad condicional si realización	131
Figura 40 Consolidada probabilidad condicional si no realización	132
Figura 41 Histograma de Probabilidad de escenarios	133
Figura 42 Consolidado probabilidades simples	136
Figura 43 Consolidada probabilidad condicional si realización	136
Figura 44 Consolidada probabilidad condicional si no realización	137
Figura 45 Histograma de Probabilidad de escenarios	138
Figura 46 Consolidado probabilidades simples	141
Figura 47 Consolidada probabilidad condicional si realización	141
Figura 48 <i>Consolidada probabilidad condicional si no realización</i>	142
Figura 49 <i>Histograma de Probabilidad de escenarios</i>	143
Figura 50 <i>Consolidado probabilidades simples</i>	146
Figura 51 Consolidada probabilidad condicional si realización	146
Figura 52 <i>Consolidada probabilidad condicional si no realización</i>	147
Figura 53 <i>Histograma de Probabilidad de escenarios</i>	148

Siglas, acrónimos y abreviaturas

AGROSAVIA	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
ALC	América Latina y el Caribe
ANDI	Asociación Nacional de Empresarios de Colombia
ASBAMA	Asociación de Bananeros del Magdalena y La Guajira
AUGURA	Asociación de Bananeros de Colombia
BBTV	Banana bunchy top virus
BBrMv	Mosaico de la bráctea del banano
BSV	Banana streak badnavirus
CAR	Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo
CENIBANANO	Centro de Investigaciones del Banano
CERT	Certificado de Reembolso Tributario
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CIPAV	Centro para la investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
CORBANA	Corporación Bananera Nacional
COVID-19	Coronavirus de 2019
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DNP	Departamento Nacional de Planeación
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria
ECV	Encuesta de Calidad de Vida
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations-Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FAOSTAT	Estadísticas FAO
FINAGRO	Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario
FMB	Foro Mundial Bananero

Foc TR4.	Hongo <i>Fusarium oxysporum f. sp. cubense raza 4</i>
GIZ	Cooperación Alemana para el Desarrollo
IA	Inteligencia Artificial
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
I+D	Investigación y Desarrollo
IoT	Internet of Things- Internet de las Cosas
MADR	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
OMPI	Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
PhD	Philosophiae Doctor
PIB	Producto Interno Bruto
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SINTRAINAGRO	Sindicato Nacional de los Trabajadores de la Industria Agropecuaria
TLC	Tratado de Libre Comercio
UE	Unión Europea
UFCO	United Fruit Company
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UNCTAD	UN Trade and Development- Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo
UPRA	Unidad de Planificación Rural Agropecuaria
USD	Dólar estadounidense

Resumen

La producción agrícola en Colombia desempeña un papel crucial en el crecimiento económico del país, representando un porcentaje significativo del aporte al Producto Interno Bruto (PIB) nacional. Dentro de este sector, la producción de banano para exportación es especialmente prominente en los departamentos de Antioquia, Magdalena y La Guajira. En particular, en Antioquia, la industria bananera se concentra en la zona de Urabá, contribuyendo notablemente al progreso y desarrollo regional (Minagricultura, 2021). No obstante, este sector enfrenta diversos desafíos que incluyen cambios sociales, nuevas orientaciones en la formulación de políticas públicas nacionales, el impacto del cambio climático y la propagación de plagas; estos factores representan amenazas directas para la productividad, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de esta industria a lo largo del tiempo (FAO, 2023a).

El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis prospectivo del sector bananero en Antioquia hasta el año 2040. La finalidad fue identificar los retos y oportunidades que enfrentará este sector, específicamente el banano, en el marco de agendas públicas establecidas para dicho horizonte temporal. Para ello, se llevó a cabo un análisis detallado de las tendencias actuales y un diagnóstico exhaustivo de los desafíos que enfrenta el sector. Esto permitió identificar oportunidades tecnológicas clave que puedan impulsar el desarrollo, la sostenibilidad y la continuidad del sector bananero en Antioquia. El resultado de este análisis prospectivo, fundamentado en la escuela francesa, basada en las metodologías definidas por Godet (1993a), será fundamental para apoyar la toma de decisiones estratégicas orientadas a construir un futuro deseado y sostenible para el sector. Para desarrollar este ejercicio, se siguieron tres (3) etapas donde cada una de estas se asocia a uno de los objetivos específicos propuestos en el proyecto de investigación, a nivel general, en la primera etapa para el desarrollo del primer objetivo específico se realizó la caracterización del ámbito internacional y nacional de los productores y exportadores de banano, determinando los eslabones de la cadena productiva y sus principales actores, mediante herramientas de vigilancia tecnológica. Para el desarrollo del segundo objetivo específico se determinó, para el departamento de Antioquia, la cadena productiva del banano incluyendo los principales actores involucrados, mediante el Juego de Actores (Godet, 1993a) y posterior una vigilancia tecnológica que permitirá identificar los principales desafíos y brechas desde un análisis comparativo entre lo existente y los resultados de la revisión tecnológica. Por último, para lograr

el tercer objetivo específico se desarrolló el plan prospectivo de carácter tecnológico donde, con las variables identificadas, se formularon las hipótesis de evaluación para mediano y largo plazo, y se desarrollaron escenarios prospectivos para reflejar posibles futuros en la industria bananera, utilizando las herramientas de prospectiva como el Análisis Morfológico, SMIC PROB EXPERT (Godet, 1993a).

Palabras clave: Prospectiva, Agroindustria Bananera, Urabá antioqueño, Cadena productiva,

Abstract

Agricultural production in Colombia plays a crucial role in the country's economic growth, representing a significant percentage of the contribution to the national Gross Domestic Product (GDP). Within this sector, banana production for export is especially prominent in the departments of Antioquia, Magdalena and La Guajira. In Antioquia in particular, the banana industry is concentrated in the Urabá area, contributing significantly to regional progress and development. However, this sector faces several challenges that include social changes, new directions in the formulation of national public policies, the impact of climate change and the spread of pests; these factors represent direct threats to productivity, food security and the sustainability of this industry over time (FAO, 2023a).

The objective of this work is to carry out a prospective analysis of the banana sector in Antioquia until 2040. The purpose is to identify the challenges and opportunities that this sector, specifically bananas, will face within the framework of public agendas established for that time horizon. To this end, a detailed analysis of current trends and a comprehensive diagnosis of the challenges facing the sector will be carried out. This will make it possible to identify key technological opportunities that can boost the development, sustainability and continuity of the banana sector in Antioquia. The result of this prospective analysis, based on the French school of thought and the methodologies defined by, will be fundamental to support strategic decision making aimed at building a desired and sustainable future for the sector.

To develop this exercise, three (3) stages will be followed, each of which is associated with one of the specific objectives proposed in this degree project. At a general level, in the first stage for the development of the first specific objective, the characterization of the international and national level of banana producers and exporters will be carried out, determining the links in the production chain and its main actors, using technological surveillance tools. For the development of the second specific objective, the banana production chain for the department of Antioquia will be determined, including the main actors involved, by means of the Actors' Game and then a technological surveillance that will allow identifying the main challenges and gaps from a comparative analysis between the existing and the results of the technological review. Finally, to

achieve the third specific objective, a prospective plan of a technological nature will be developed where, with the variables identified, the evaluation hypotheses for the medium and long term will be formulated, and prospective scenarios will be developed to reflect possible futures in the banana industry, using the tools of Prospective and SMIC PROB EXPERT (Godet, 1993a).

Keywords: Prospective, Agriculture, Banana industry from Antioquia

1. Planteamiento del problema

El sector agropecuario en Colombia ha sido históricamente uno de los pilares fundamentales de su economía y desarrollo social. Dentro de este sector, la cadena productiva del banano de la región de Urabá, en Antioquia, destaca por su importancia tanto en el mercado internacional como nacional, sin embargo, este sector se encuentra actualmente en una encrucijada que amenaza su sostenibilidad y competitividad a largo plazo, tal como lo presenta la (FAO, 2023b) entre los factores que afectaron la producción en el año 2023 están la propagación de enfermedades de la planta caso *Fusarium oxysporum f. sp. cubense raza 4 TR4 (Foc TR4)* y la exposición y contaminación con productos narcóticos de los contenedores de carga de banano.

A pesar de contar con un potencial productivo envidiable, la región de Urabá enfrenta una serie de desafíos significativos, entre estos, la falta de adopción de tecnologías emergentes y la pérdida de conocimientos tradicionales. Además, las restricciones en el acceso a insumos esenciales y un desarrollo tecnológico limitado están impidiendo que la región alcance su máximo potencial. De igual manera, se suman factores externos como el cambio climático, que no solo afecta las condiciones de producción, sino que también tiene un impacto directo en la sostenibilidad ambiental de la agricultura bananera, de acuerdo al informe de la (FAO, 2023) en el caso colombiano el exceso de lluvia, inundaciones y el paso de tormentas tropicales disminuyeron considerablemente las exportaciones, además de la amenaza que enfrentan actualmente los cultivos de banano por la presencia en el territorio del hongo *Foc TR4* que de acuerdo con ICA (2020). “que se propaga por el suelo, produciendo marchitamiento y muerte de las plantas, una vez ataca la planta, afecta la fotosíntesis y genera un colapso en el mecanismo de transporte de agua y nutrientes” (p.1).

Por otro lado, las transformaciones sociales y económicas que vive la región de Urabá añaden otra capa de complejidad a la situación. Estos cambios requieren una respuesta adaptativa por parte del sector, que debe buscar no solo mantener su competitividad, sino también garantizar y mantener su compromiso con un desarrollo equitativo y sostenible.

La región del Urabá tiene un alto potencial para el desarrollo económico del departamento de Antioquia por su ubicación geográfica estratégica que facilita la conexión con mercados mundiales con el ambicioso proyecto del Puerto de Urabá, sin embargo, es importante detenerse en las condiciones y características sociales y económicas, un referente es la Encuesta de Calidad de Vida (ECV) del 2021 donde reporta que el desempleo en la región fue del 10.2%, solo 0.2 puntos por debajo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en cuanto al indicador de número de delitos ocupó el tercer lugar por mayor número de delitos evidenciando un importante nivel de inseguridad. También en esta región se presentan dificultades para la población como el deficiente acceso a los servicios públicos en áreas urbanas y rurales, el temor a la inversión por cuenta del conflicto armado por ser el hato ganadero más grande de Antioquia; y en temas de educación hay un alto nivel de deserción en la educación superior, además los jóvenes de la región tienen una baja motivación para quedarse en ella porque quieren salir a los centros urbanos que ofrecen más posibilidades y no quieren seguir los pasos de sus abuelos o padres que se dedicaron al cultivo del banano (Restrepo Toro, 2016)

En este contexto, se presenta una oportunidad para abordar estos retos de manera integral, implementando soluciones innovadoras y sostenibles que permitan al sector bananero en Urabá no solo sobrevivir, sino también prosperar en un entorno dinámico y exigente. Al lograr una comprensión profunda y anticiparse a los desafíos y tendencias en los ámbitos ambiental, tecnológico y social, estos factores críticos pueden ser gestionados eficazmente. Adoptando una visión prospectiva, es posible consolidar una región más competitiva y sostenible.

1.1. Antecedentes

La agricultura en Colombia, incluyendo actividades como la ganadería, caza, silvicultura y pesca, es un motor clave del desarrollo económico del país. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en 2022, este sector aportó el 13.2% al Producto Interno Bruto (PIB) de Antioquia (DANE, 2023b). El banano, en particular, se destaca como uno de los principales productos de exportación de Colombia, contribuyendo significativamente a la

economía nacional (FAO, 2023a). A nivel mundial, América representa el 16% de la producción de banano, con Brasil y Ecuador aportando un 5% cada uno. Colombia produce el 3% del banano mundial, ubicándose en el noveno lugar. En 2018, Ecuador lideró las exportaciones globales de banano con una participación del 23.6%, seguido por Filipinas y Guatemala (FAO, 2023e). Colombia se posicionó como el sexto exportador en términos de valor, con un 6.1%, y quinto en volumen, con un 7.2%; el banano contribuye con el 3.0% a las exportaciones totales del país y el 6.0% de las no tradicionales, además de participar con el 0.4% del PIB de Colombia (FAO, 2023e). Este cultivo es también una fuente importante de empleo, especialmente en zonas rurales; en Antioquia, específicamente en la región de Urabá, representa una parte significativa de la economía regional, fomentando el desarrollo socioeconómico.

En este contexto, la prospectiva emerge como un recurso para el sector bananero en Colombia, al permitir analizar tendencias y construir escenarios futuros, dado que posibilita una mejor preparación y adaptación ante los desafíos emergentes (Orjuela Garzón et al., 2020b; Zartha Sossa et al., 2023a). La prospectiva ayuda a visualizar diversas posibilidades, desde cambios en las dinámicas del mercado global y fluctuaciones económicas, hasta avances tecnológicos y variaciones en las políticas comerciales; al emplearla, el sector puede no solo anticipar posibles cambios, sino también influir activamente en ellos, forjando estrategias para la consolidación y crecimiento del producto. En definitiva, la prospectiva se convierte en un recurso estratégico para mejorar las condiciones de sostenibilidad y la competitividad del banano antioqueño en el ámbito internacional (Orjuela Garzón et al., 2020b; Zartha Sossa et al., 2023a)

1.2 Estado del arte

La prospectiva es un campo multidisciplinario que se enfoca en analizar, explorar y predecir posibles futuros; su objetivo es comprender cómo podrían evolucionar diferentes tendencias y eventos en el tiempo y cómo estos futuros potenciales podrían impactar en diversos ámbitos como la sociedad, la tecnología, la economía, el medio ambiente y la política (Godet & Durance, 2018). Utiliza métodos cualitativos y cuantitativos para identificar las posibles trayectorias de desarrollo, y busca proporcionar una base para la toma de decisiones estratégicas y la planificación a largo

plazo (Cuervo, 2014; Godet & Durance, 2018; Gonzalez, 2016). Los estudios de futuro no pretenden predecirlo de manera precisa, sino explorar un rango de posibles escenarios para prepararse mejor ante ellos y moldear activamente el futuro deseado (Sanhueza-Aros & Peña-Cortés, 2022).

El estudio de la prospectiva para el sector bananero es esencial para anticipar y prepararse para los cambios futuros en un mercado globalizado y dinámico (Bhakta et al., 2021; Choi et al., 2018; Pappu et al., 2015; Zaini et al., 2023a). Este enfoque permite identificar tendencias emergentes, desafíos potenciales y oportunidades de crecimiento al comprender cómo podrían evolucionar factores como la tecnología, la sostenibilidad, las políticas comerciales y las preferencias del consumidor, el sector puede desarrollar estrategias proactivas para mantener su competitividad, innovar en prácticas sostenibles y maximizar su contribución al desarrollo económico (Bhakta et al., 2021; Zaini et al., 2023a). Así, la prospectiva se convierte en una herramienta clave para asegurar un futuro próspero y sostenible para el sector bananero.

Considerando la relevancia del cultivo de banano para la economía tanto nacional como regional, este ejercicio de vigilancia tecnológica, enfocada en bibliometría, tiene como objetivo identificar cómo se han integrado los conceptos de planificación, gestión y desarrollo de escenarios futuros o prospectivas en el sector agropecuario, con un enfoque particular en el sector bananero. Para ello, se realizó un análisis exhaustivo de las tendencias y prácticas adoptadas en los últimos 20 años. La revisión de literatura para abordar la temática de este proyecto de trabajo de grado tuvo en cuenta la metodología PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Yepes-Núñez et al., 2021) siguiendo las etapas de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión, donde se utilizó la base de datos Scopus® con la definición de una ecuación de búsqueda **Tabla 1** según las palabras claves cuyo resultado fue posteriormente analizado con el software Bibliometrix® 4.0 con el fin de facilitar el análisis de la literatura asociada.

Tabla 1

Ecuaciones de búsqueda para el ejercicio.

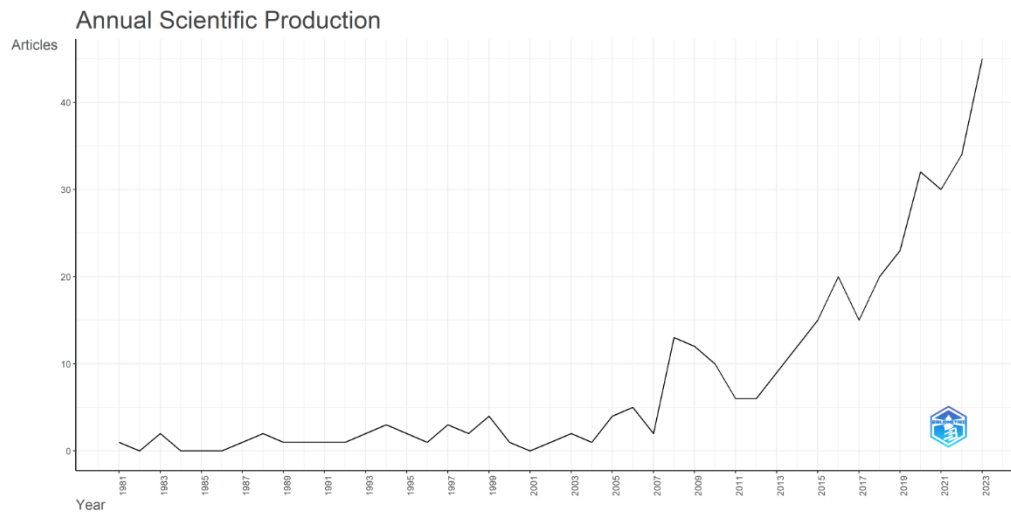
Ecuación de búsqueda	Resultados
TITLE-ABS-KEY ("prospective" OR "forecasting" OR "trend analysis" OR "future outlook")	1,850,376
TITLE-ABS-KEY ("prospective" OR "forecasting" OR "trend analysis" OR "future Outlook") AND (TITLE-ABS-KEY ("agriculture" OR "crops"))	18,855
TITLE-ABS-KEY ("prospective" OR "forecasting" OR "trend analysis" OR "future Outlook") AND (TITLE-ABS-KEY ("agriculture"))	11,607
TITLE-ABS-KEY ("prospective" OR "forecasting" OR "trend analysis" OR "future Outlook") AND (TITLE-ABS-KEY ("banana" OR "musa *"))	345
TITLE-ABS-KEY ("banana" AND "agriculture") AND (TITLE-ABS-KEY ("prospective" OR "forecasting" OR "trend analysis" OR "future outlook"))	29

Nota: Elaboración propia

La ecuación de búsqueda analizada fue (TITLE-ABS-KEY ("prospective" OR "forecasting" OR "trend analysis" OR "future Outlook") AND (TITLE-ABS-KEY ("banana" OR "musa *"))) para la cual se encontraron 345 resultados. Las otras ecuaciones dieron un espectro amplio donde se identifica desde una amplia producción entorno a los estudios de futuro, un enfoque interesante hacia el sector agropecuario y ejercicios muy relevantes para el objeto de la investigación, el banano.

La **Figura 1** ilustra un patrón notable de crecimiento en la producción anual de publicaciones desde 2011, reflejando un incremento significativo en el interés y la investigación sobre la prospectiva del banano. Este aumento puede ser indicativo de avances tecnológicos recientes o de un mayor reconocimiento de la relevancia del tema en la comunidad científica.

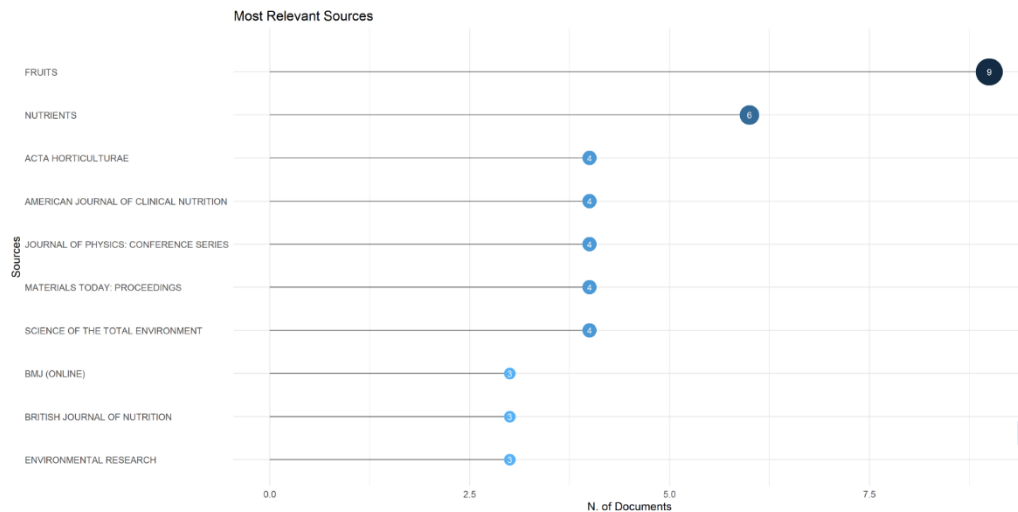
Figura 1
Producción Científica (1999-2022)



Nota: elaboración propia con el Software Bibliometrix

En la **Figura 2** se destaca "FRUITS" como una de las revistas líderes en estudios de prospectiva del banano, demostrando su considerable impacto en este ámbito. Sus publicaciones, frecuentemente citadas, evidencian la alta calidad y pertinencia en temas relacionados con este cultivo. Siguiendo en importancia, las revistas "NUTRIENTS" y "ACTA HORTICULTURAE" también son reconocidas por su contribución significativa en la investigación y discusión sobre el tema.

Figura 2
Revistas más citadas

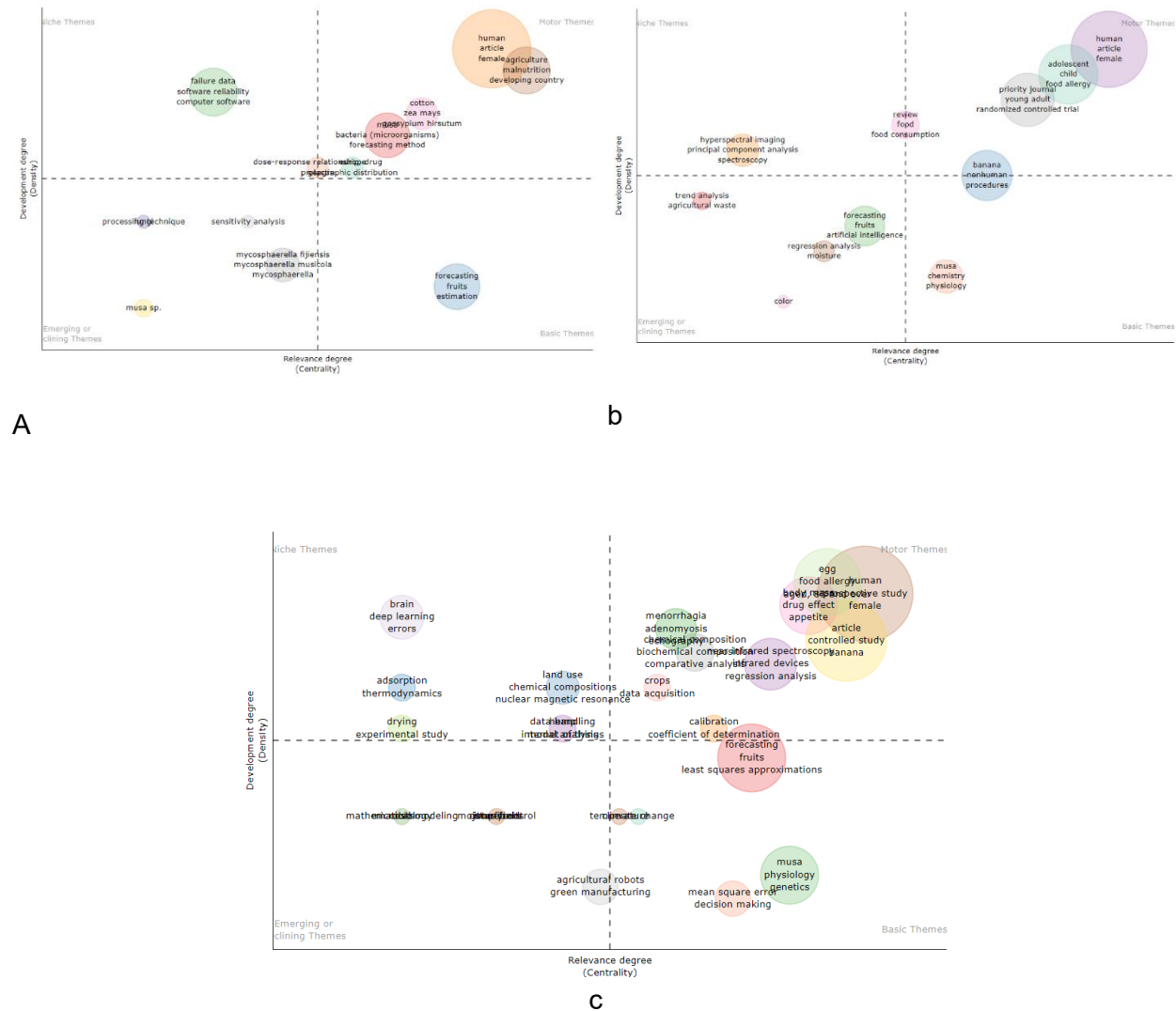


Nota: elaboración propia con el uso del Software Bibliometrix

La **Figura 3**, de evolución temática, utiliza burbujas para representar agrupaciones (clúster) de temas dentro de un conjunto de datos bibliográficos. El tamaño de la burbuja indica la frecuencia de ocurrencia de palabras clave dentro de un clúster temático, ahí se puede señalar como la posición del tema prospectivo fue cambiando desde una perspectiva de interés hacia la alimentación (Figura 3a) con temas relacionados con estudios sobre química, nutrición y fisiología vegetal (Figura 3b) para saturarse en la actualidad en temas asociados igualmente a química, nutrición y fisiología vegetal pero ingresando con fuerza el tema de maquinaria, robótica y producción sostenible y verde (Figura 3c).

Figura 3

Evolución de las temáticas asociadas a banana y prospectiva en el periodo 2003- 2023



Nota: elaboración propia con el uso del Software Bibliometrix

A nivel general se destacan estudios prospectivos para la agricultura como el realizado por Gómez-Limón et al. (2009) para la región de Castilla y León en España en el cual se quería identificar mediante un análisis exploratorio diferentes escenarios para esta región en un horizonte temporal de 10 años, es decir, con foco al 2020. Tomando como referencia el método sistemático de Godet se tuvieron en cuenta el análisis estructural, análisis morfológico y la caracterización cuantitativa de los escenarios globales (Godet, 1993a; Godet & Durance, 2018).

La investigación realizada por Prager & Wiebe (2021) tiene como objetivo el análisis de seis artículos que fueron publicados en la revista *Global Food Security* y que trataron los temas de los futuros agrícolas, donde cada artículo abordó cuestiones claves, como las tendencias del pasado influyen en los resultados futuros del sistema de productos básicos específicos, hasta cuestiones relacionadas con el empleo y la transformación rural. Los futuros anticipados se asocian a una serie de factores claves que van desde el cambio climático, aumento de la riqueza y el cambiante entorno político. Resaltando que se deben adoptar soluciones locales contextualizadas puesto que no hay una solución única. Además, los autores hacen énfasis en que la prospectiva sirve como una herramienta para mejorar la investigación agrícola.

En el contexto de Rusia, fue elaborado un estudio para analizar los principales retos y tendencias para el sector agrícola a nivel global y frente a esto abordar el estado de la agroindustria rusa y cuáles son las posibles estrategias para la adaptación en el contexto del veloz cambio global. Es así como los autores (Saritas & Kuzminov, 2017) métodos de prospectiva, primero mediante el mapeo y análisis de tendencias y métodos expertos, esta gama de tendencias se analiza bajo el marco social, tecnológico, económico, ambiental, político y valores para cubrir una amplia gama de tendencias que pueden derivarse de diversos factores que afectan al sector agrícola.

En general los artículos más citados hacen referencia a prospectiva tecnológica con un enfoque a uso de biomasa (Zaini et al., 2023b), como insumo para el desarrollo de otros productos (Mohit et al., 2023), en temas de rendimiento y nutrición (Patrick et al., 2023) y en temas relacionados con riesgos fitosanitarios (Varghese & Mengersen, 2019). La producción de conocimiento relacionada con configuración de escenarios sectoriales y regionales en torno al banano son más escasos, sin embargo se muestra una fuerte escuela colombiana de prospectiva hacia el sector agropecuario (Escorsa et al., 2016; Orjuela Garzón et al., 2010, 2020a; Perilla Maluche et al., 2020; Ramírez et al., 2016; Solarte-Montufar et al., 2021; Suarez et al., 2021; Zartha Sossa et al., 2023b, 2023a), que señalan una preocupación global en torno al sector y las condiciones frente a las regiones productoras.

La prospectiva, como tecnociencia, tiene como objetivo realizar una reflexión sobre el presente para guiar las acciones actuales con una visión de los futuros posibles; dado que el cambio conlleva inherentemente incertidumbre, esta no se busca eliminar mediante predicciones ilusorias, sino que se enfoca en reducirla en la medida de lo posible, esto permite tomar decisiones alineadas con el futuro deseado (Godet, 1993b). Es por ello que el futuro debe ser abordado según Godet (1993b) con una actitud de preactividad y proactividad anticipando las amenazas y oportunidades que se presentan en el horizonte con el fin de corregir la ruta sin abandonar el rumbo. Ahora bien, para el caso de la región del Urabá su economía se basa en el sector agropecuario donde se destaca como el principal productor y exportador de banano de Colombia, además desde la perspectiva de aporte a la economía departamental en la categoría agropecuaria, silvicultura y pesca representa el 24.67% siendo el más alto de todas las subregiones del departamento (FAO & Gobernación de Antioquia, 2018). Dada esta importancia, se toma la prospectiva como una herramienta que permiten identificar y desarrollar ventajas competitivas e identificar cambios estructurales y facilitar la toma de decisiones, aumentar la eficiencia de los procesos, mejorar la calidad de los productos y contribuir al desarrollo sostenible y competitivo.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Determinar los desafíos y tendencias que enfrentará el sector bananero en Antioquia hacia el año 2040, a través de un análisis prospectivo, con el fin de proporcionar insumos clave para la planificación estratégica sectorial y facilitar la adaptación a un entorno competitivo y sostenible a nivel nacional e internacional.

2.2. Objetivos específicos

Analizar las tendencias globales y locales que podrían afectar el sector bananero en Antioquia, y que se identifican para el ámbito nacional e internacional.

Realizar un diagnóstico de los desafíos actuales que enfrenta el sector bananero en Antioquia orientado a la identificación de brechas.

Identificar las oportunidades tecnológicas que podrían contribuir al desarrollo y sostenibilidad del sector bananero en Antioquia, para evaluar su pertinencia tecnológica y ambiental.

3. Hipótesis

Los principales desafíos que enfrentará el sector bananero de Urabá al 2040 incluirán el manejo del cambio climático, la integración de avances tecnológicos en fitosanidad, prácticas sostenibles, la mejora genética y la gestión local de la dinámica social y laboral.

4. Marco teórico

Actualmente, el mundo experimenta cambios constantes en diversas dimensiones, incluyendo lo social, económico, ambiental, político y tecnológico, lo cual se suma a un nivel significativo de incertidumbre. La mezcla del cambio e incertidumbre en sí mismos constituyen un desafío ante el cual es imposible quedarse con las manos cruzadas esperando a encontrar las respuestas divinas para enfrentarlo (Enrique & Narváez, 2015; Kessels-Habraken et al., 2009; Smith et al., 2013). Según Medina Vásquez et al. (2010) la prospectiva es definida como una “disciplina del conocimiento que puede apoyar, integrada y efectivamente, el proceso de toma de decisiones en ciencia tecnología e innovación, emprendimiento y formación para el trabajo” (p.1). Es una disciplina, que aborda la anticipación y planificación de futuros posibles, integrando enfoques multidisciplinarios para comprender y orientar el desarrollo a largo plazo. Su origen se remonta a los trabajos pioneros de futuristas como Gaston Berger y Bertrand de Jouvenel en la mitad del siglo XX, quienes promovieron la reflexión sobre futuros alternativos más allá de meras proyecciones lineales (Rodríguez Cortezo, 2001a).

Para hablar de prospectiva es importante reconocer que desde sus mismos orígenes el ser humano se ha encontrado en la constante búsqueda por entender, dibujar y conseguir adivinar el futuro para tomar sus mejores decisiones (Perilla Maluche et al., 2020; Rodríguez Cortezo, 2001b). Es así como con el paso de los siglos y de los humanos a través de la historia se han marcado hitos en esas herramientas y posturas necesarias en pro de un mejor futuro; desde las antiguas civilizaciones, donde confiaban a los profetas la interpretación de las profecías para tomar las mejores decisiones y enfrentarse a su porvenir (Barouti et al., 2022; Godet et al., 2000a; Rodríguez Cortezo, 2001b; Suarez-Guzman et al., 2020b). En el periodo de 1700 a 1950 dominó la anticipación científica más conocida como ciencia ficción, como una forma de visión de futuros, y al inicio de la década de 1940 cuando el mundo se enfrentaba al horror de la Segunda Guerra Mundial, los países que estaban en esta lucha como Estados Unidos desarrollaron en sus sistemas de defensa, buscando reconstruir y planificar para un mundo posbélico, algunas de las técnicas como DELPHI, encuestas construcción de escenarios, talleres de futurología, entre otras técnicas de anticipación (David, 2018; Oliveira et al., 2018; Rodríguez Cortezo, 2001b) dieron lugar a

establecer los primeros cimientos para darle a la prospectiva los enfoques sistemáticos y participativos, de corte científico y estratégico. Es decir, estos nuevos enfoques permitieron dejar a un lado la -bola de cristal- para predecir el futuro y enfocarse en comprender que el futuro no está escrito en ninguna parte: está por hacer (Godet, 1993b; Perilla Maluche et al., 2020; Puebla, 2017; Sanhueza-Aros & Peña-Cortés, 2022).

Al hacer una breve revisión de la evolución de la prospectiva (ver **Tabla 2** Hitos de desarrollo de la prospectiva, tal como lo muestra el libro *la Prospectiva en Iberoamérica: pasado, presente y futuro* (Gonzalez, 2016), se muestran los principales hitos de desarrollo de la prospectiva.

Tabla 2
Hitos de desarrollo de la prospectiva

Periodo	Desarrollos clave en prospectiva
Antes de 1950	Uso de estrategias de predicción y planificación en contextos militares y políticos. Influencia de teorías económicas en la planificación a largo plazo.
1950-1960	Formalización de la prospectiva con teóricos como Gaston Berger y Bertrand de Jouvenel en Francia. Desarrollo de la planificación estratégica en contextos corporativos y gubernamentales.
1960-1970	Auge de la prospectiva tecnológica. Creación del método Delphi por RAND Corporation. Expansión del uso de escenarios en la planificación corporativa y gubernamental.
1970-1980	Desarrollo de herramientas y métodos específicos como análisis estructural y análisis de impacto cruzado. Influencia creciente en políticas públicas y estrategias empresariales.
1980-1990	Integración de la prospectiva en la planificación ambiental y sostenibilidad. Avance en métodos de participación y enfoques multicriterio.
1990-2000	Expansión global de la prospectiva, especialmente en la Unión Europea con proyectos de prospectiva regional. Uso de software especializado para el análisis de futuros.
2000-2017	Auge de la prospectiva digital con el uso de big data y análisis predictivo. Enfoque en la innovación abierta y la colaboración en red. Adaptación a contextos de incertidumbre creciente y cambios globales rápidos.
2017 al presente	Uso intensivo de la inteligencia artificial para mejorar la capacidad de análisis predictivo y generación de escenarios complejos. Integración de IA en herramientas de prospectiva para la optimización de decisiones y la modelización de futuros más precisos.

Nota: Elaboración propia con base en (Barouti et al., 2022; Godet et al., 2000; Medero et al., 2016a; Perilla Maluche et al., 2020; Rodríguez Cortezo, 2001b; Suarez-Guzman et al., 2020b).

La prospectiva es una reflexión del presente para iluminar la acción del hoy con la luz de los futuros posibles, al cambio es implícita la incertidumbre, por ende, la prospectiva no pretende eliminar la incertidumbre con una predicción ilusoria, sino tan solo, reducirla todo lo posible y

tomar decisiones que van en el sentido del futuro deseado (Godet, 1993b). Es por ello que el futuro debe ser abordado según Godet (1993b) con una actitud de preactividad y proactividad anticipando las amenazas y oportunidades que se presentan en el horizonte con el fin de corregir la ruta sin abandonar el rumbo, es así como la prospectiva como disciplina multidisciplinaria debe tener las siguientes características (Rodríguez Cortezo, 2001b):

- Disciplina metodológica que busca una continuidad ordenada en el tiempo.
- Enfoque en la proyección a largo plazo.
- Proceso sistemático y participativo para construir visiones a largo plazo con la colaboración de diversos expertos.
- Aplicación de métodos y sistemas especializados.
- Desarrollo metodológico de trabajo colectivo.
- Carácter participativo e integrador.
- Creación de equipos permanentes que fomentan el aprendizaje continuo y la profesionalización.

Los gobiernos de la región latinoamericana despertaron un gran interés en realizar varios ejercicios de prospectiva que también tuvieron gran apoyo de organismos internacionales para el acompañamiento técnico y financiero (Medero et al., 2016a; Perilla Maluche et al., 2020); a su vez, la prospectiva es una herramienta al servicio de la definición de políticas, mediante la realización de estudios prospectivos y la difusión de sus resultados (Rodríguez Cortezo, 2001b).

En el caso de Colombia cabe destacar que, en el último siglo la prospectiva a nivel de gobierno y país se ha enfocado en llevar a cabo programas de gran alcance y desarrollo liderados por instituciones como el Departamento Nacional de Planeación (DNP), Colciencias (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación) y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural han tenido lugar en todo el territorio nacional y buscan la concertación interinstitucional y la toma de decisiones estratégicas (Medero et al., 2016a), a través de programas como: Visión 2019, Agendas regionales de ciencia y tecnología y Agendas de investigación y desarrollo tecnológico en cadenas productivas agroindustriales.

En ese orden de ideas, y teniendo en cuenta lo planteado por Medero et al., (2016) y Medina Vásquez (2011): La importancia de la prospectiva es significativa por el enfoque del gobierno y el sector privado de Colombia en establecer una visión a largo plazo de la Política Nacional de Competitividad. Este enfoque busca posicionar al país como un competidor global, conectado en red y centrado en productos y servicios de alto valor agregado y basados en el conocimiento.

La prospectiva ha tenido aplicaciones significativas en el sector agrícola de Colombia, donde se han realizado diversos aportes e investigaciones destacadas. Según Castellanos D et al., (2009), desde 2006, el Banco Mundial ha financiado iniciativas para definir agendas de investigación y desarrollo tecnológico en cadenas productivas agroindustriales. Estos esfuerzos buscan incrementar la competitividad de los sectores agroindustriales, en línea con los intereses del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Aunque en 2003 se estableció una agenda de investigación para abordar problemáticas tecnológicas, fue la dinámica cambiante del entorno la que impulsó un enfoque renovado y enriquecido con una visión de largo plazo. En 2006, con el Proyecto de Transición de la Agricultura, se iniciaron estudios para desarrollar Agendas Prospectivas de Investigación y Desarrollo Tecnológico en veinte cadenas productivas. Entre estas cadenas se incluyeron lácteos, piscicultura, sector forestal y cacao-chocolate, cuyos estudios concluyeron en 2007. En 2008, se desarrollaron agendas para uchuva, mango, papa, palma, caucho, fique, camarón, aromáticas, carne bovina, panela, flores, porcicultura, ovino-caprina, hortalizas, apicultura y algodón. Para el desarrollo de estas agendas participaron diversas entidades, incluyendo el Banco Mundial, Colciencias (ahora Minciencias), Proexport, universidades y consultores tanto nacionales como internacionales (Castellanos D et al., 2009b; COLCIENCIAS, 2006).

Estudios recientes en prospectiva continúan haciendo énfasis en la necesidad y la fortaleza de esta técnica, mucho de los cuales referencian los estudios anteriores, y señalan que presentan estas nuevas visiones de futuro gracias a las bases presentadas en los ejercicios que datan de 2006 tales como:

Documento CONPES 4052: Política para la Sostenibilidad de la Caficultura Colombiana (DNP, 2021): El Departamento Nacional de Planeación y la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia presentan un estudio del sector cafetero, crucial en la agricultura colombiana, en que se muestra cómo la prospectiva puede identificar futuros desafíos y oportunidades, orientando estrategias e innovaciones.

El estudio presentado por Suarez-Guzman et al., (2020a): "Estudio de prospectiva al 2032 de la cadena de plátano, un enfoque hacia los programas académicos del sector agroindustrial en Risaralda". Este estudio por medio del enfoque del método Delphi busca la participación de grupos de interés para priorizar y fortalecer la cadena productiva del plátano de Risaralda a través de nuevas apuestas y priorización de temas que deben ser objeto de investigación de los programas de educación superior, destacando nuevos temas como lo son "Fusarium raza 4, desarrollo de nuevas variedades por diferentes métodos, nuevas técnicas de mejoramiento genético como la edición de genomas y variedades el plátano comino, algodón o guayabo" : (Suarez-Guzman et al.2020a, p.1).

En el contexto del proyecto "Desarrollo de ventajas competitivas mediante actividades de I+D+I en ocho cadenas del sector agropecuario en el Departamento del Tolima", financiado por el fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías, Orjuela Garzon et al. (2020) definieron Agendas Prospectivas para cadenas como aguacate, arroz, cacao, café, cárnica-bovina, cítricos, y forestal-caucho. Estas agendas buscan mejorar la toma de decisiones, la eficiencia de los procesos, la calidad de productos y el desarrollo de nuevos nichos de mercado, con miras a alcanzar un desarrollo sostenible y competitivo hacia el 2030. (Orjuela Garzón et al., 2010, 2020a, 2020c, 2020d)

Adicionalmente, la inclusión del sector del plátano en agendas más amplias, como "Antioquia 2040", resalta la importancia de este sector en la planificación estratégica regional. A pesar de la falta de estudios específicos para la región de Urabá, se evidencia una oportunidad para desarrollar investigaciones prospectivas que aprovechen su relevancia en el sector del plátano colombiano.

La creciente cantidad de estudios sectoriales y ejercicios prospectivos tanto a nivel nacional como regional demuestra un interés marcado por implementar la prospectiva en el desarrollo e innovación del sector agropecuario en Colombia. Esta tendencia resalta la importancia de llevar a cabo investigaciones prospectivas en regiones o sectores aún poco estudiados, como el sector del plátano en Urabá. Además, cada una de estas agendas prospectivas está diseñada para facilitar la toma de decisiones, aumentar la eficiencia de los procesos, fomentar la innovación de productos, acceder a nuevos mercados y apoyar el desarrollo sostenible y competitivo de las cadenas productivas.

4.1. Marco contextual

Según Tropical Fruits Trading (2013) el banano también conocido como *Musa SP.* (*Musa acuminata*, *Musa balbisiana*, *Musa cavendishii*, *Musa nana* Lour) tiene sus orígenes en el Sudeste de Asia en las zonas de Malasia, Filipinas e Indonesia; fue durante la edad media que esta fruta llegó al continente africano por los árabes, luego se encargaron los misioneros portugueses de llevarla y desarrollarla como cultivo en las Islas Canarias, posteriormente en el año de 1516 junto a los conquistadores españoles se logró la introducción del banano en el nuevo mundo en Santo Domingo y luego se expandió en el caribe y en América Latina.

El banano es una fruta de gran importancia para muchas economías de países en desarrollo, este se cultiva en todas las regiones tropicales y en cuanto al valor bruto de producción ocupa el cuarto lugar de importancia de cultivos alimentarios del mundo después del arroz, trigo y el maíz (Arias et al., 2004; FAO, 2023e). Se cataloga como un alimento básico y producto de exportación, este alimento incluido el plátano contribuyen a la seguridad alimentaria de millones de personas de los países en vía de desarrollo. Son muchos los beneficios que aportan a los humanos el consumo de esta fruta, debido a su alto contenido de antioxidantes, vitaminas (A, B, C y E), β -caroteno y catequina, epicatequina, taninos y antocianinas que generan protección frente al cáncer, enfermedades cardiovasculares, Alzheimer y Parkinson, así mismo, su consumo está asociado a la prevención de la degeneración muscular, cardiovascular y enfermedades crónicas. Esta fruta

también se caracteriza por ser rica en carbohidratos y minerales como el potasio y fósforo. Es por esta razón que los bananos son las frutas más consumidas en el mundo lo que genera una economía de exportación en los principales países productores proporcionando ingresos y generando industrias tecnificadas que contribuyen al mantenimiento y creación de nuevos empleos en la región de producción.

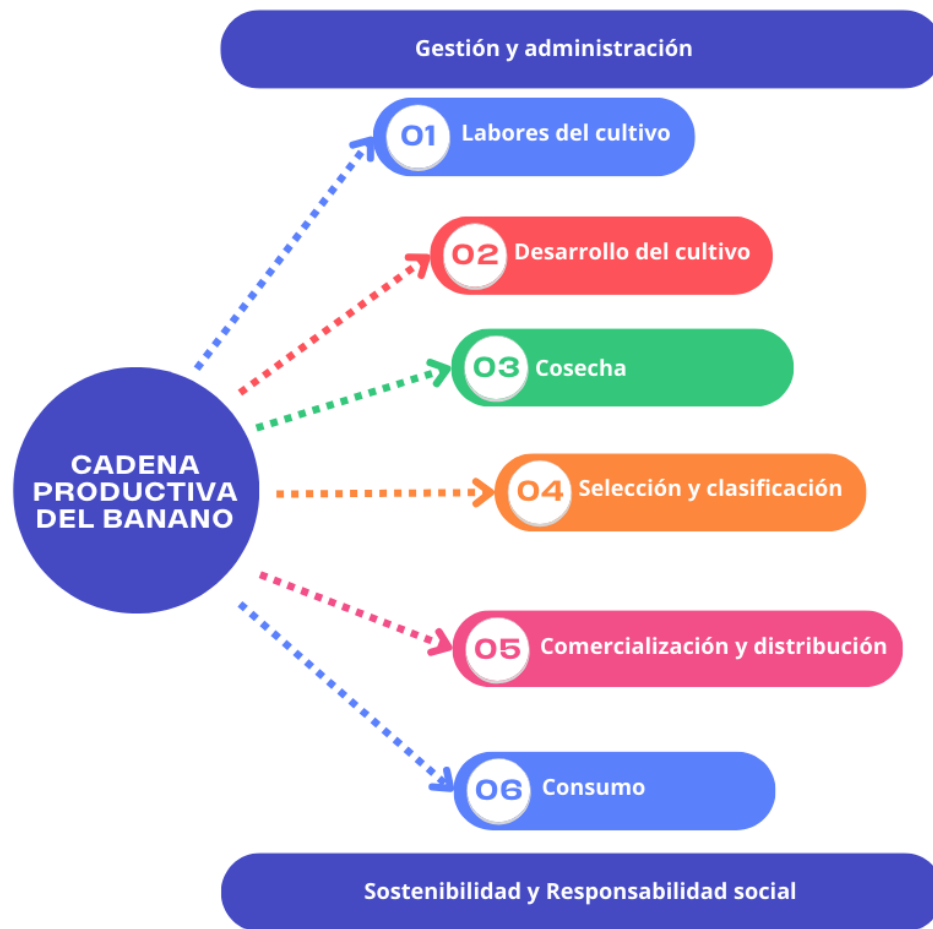
A nivel general para la exportación de bananos la producción se enfoca únicamente en algunas variedades que cumplen con las siguientes características: alto rendimiento, duración en el transporte de larga distancia, calidad y aspecto sin taras (Arias et al., 2004).

El banano, las uvas y los cítricos son los productos frutícolas más comercializados en el mundo, donde de la producción de banano cerca de un 20% se destina para la comercialización. Específicamente para Colombia el cultivo y la producción de banano y plátano se encuentra concentrado en las regiones del Golfo de Urabá y el Nororiente del Departamento del Magdalena que a través de su trayectoria han incorporado la integración de productores, comercializadores y gozan de ventajas de localización y calidad de los suelos en comparación con otras zonas productoras del mundo. En Colombia se cultivan dos tipos de banano: el de exportación variedad Cavendish Valery y el de consumo interno conocido como el banano criollo (Martínez & Peña, 2005).

Según las estadísticas oficiales (DANE, 2023b; FAO, 2023e) la agroindustria bananera se ha desarrollado como una cadena agroexportadora tradicional que en 2022 el valor de las exportaciones alcanzó unos 2145 millones de dólares con un incremento del 1,4% en respecto al año anterior. Esta industria genera al año más de 293.648 empleos entre directos e indirectos y se posiciona fuertemente como exportadora por debajo de la exportación cafetera y de flores.

La cadena productiva del banano está conformada por cinco eslabones y dos ejes transversales, tal como se presenta en la (**Figura 4**) (Martínez & Peña, 2005) .

Figura 4
Cadena productiva del Banano



Nota: Adaptado de (Martínez & Peña, 2005)

De acuerdo con (Martínez & Peña, 2005) la (Tabla 3) los actores que hacen parte de los eslabones de la cadena productiva del banano en Colombia son:

Tabla 3
Actores de la cadena productiva del banano

Actor	Características	Eslabón de la cadena
Productores	<p>Ubicados en los departamentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Antioquia: 71 ha por finca. Alta tecnificación, e integración vertical. • Magdalena: cerca del 77% tienen menos de 10 ha por finca, distan de contar con herramientas tecnológicas. • La Guajira: <p>Se agrupan en entidades gremiales que representan sus intereses ante el gobierno como son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Asociación de Bananeros de Colombia (AUGURA) (78%) • Asociación de Bananeros del Magdalena y La Guajira (ASBAMA) que reúne al 22% de los productores. 	<p>Labores de cultivo</p> <p>Desarrollo del cultivo</p> <p>Cosecha</p> <p>Selección y clasificación</p>
Comercializadoras	<ul style="list-style-type: none"> • A veces estas figuran como productoras (dueña de la tierra) o tiene la figura de áreas contratadas. • Es habitual el contrato de suministro donde el productor tiene un cupo semana de entrega. • Destacan Uniban, Banacol y Banafrut. 	<p>Comercialización y distribución</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Encargadas del transporte internacional en buques al mercado destino para ser distribuida a mayoristas o supermercados 	
Empresas Fumigación	<ul style="list-style-type: none"> • Realizan control fitosanitario de enfermedades, como la <i>sigatoka negra</i> • La frecuencia es variable según la infección. 	Desarrollo del cultivo
Proveedores de insumos	<p>Fundamentales en toda la cadena productiva del banano, los insumos están desde la misma cosecha hasta la comercialización, se destacan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cartón, • Estibas, • Plásticos, • Fertilizantes, • Agroquímicos, • Sellos (identificación de la fruta y trazabilidad) • Zunchos 	<p>Labores de cultivo</p> <p>Desarrollo del cultivo</p> <p>Cosecha</p> <p>Selección y clasificación</p>
Fundaciones sociales	<p>Promueven el bienestar de los trabajadores, asegurando que tengan acceso a mejores condiciones de vida (Vivienda, salud y educación).</p> <p>Destacan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uniban Fundación 	Es un actor fundamental desde el punto de vista social

	• Fundeban	
Corporaciones Fairtrade	Reciben el sobreprecio pagado por consumidores (USD 1 en Europa, USD 0.50 en EE.UU.). Fondos destinados a bienestar social de los trabajadores (vivienda, salud y educación)	Es un actor fundamental desde el punto de vista social
Transporte terrestre	Transportan la fruta empacada y estibada hacia el embarcadero	Comercialización
Embarcadero	Realiza inspección de calidad de la fruta (peso, calidad, empaque, amarre palet). Validar que no estén contaminadas con narcóticos Posterior a la aprobación de calidad, la fruta se traslada al contenedor refrigerado.	Comercialización
Buque	Empresas navieras encargadas de llevar la fruta al destino. En Antioquia hay frecuencia semanal de buques.	Comercialización

Nota: Elaboración propia con base en (Martínez & Peña, 2005).

5. Metodología

La metodología para el desarrollo de un plan prospectivo de carácter tecnológico en la cadena del banano implicó un enfoque sistemático y multidisciplinario. Comenzó con la identificación y priorización de variables clave que impactan la industria, seguido por la configuración de hipótesis sobre posibles desarrollos futuros (Godet & Durance, 2018; Orjuela Garzón et al., 2010; Suarez-Guzman et al., 2020b). Un análisis profundo de los actores involucrados proporcionó insights sobre las dinámicas del mercado y las interacciones entre los diferentes stakeholders. Finalmente, la construcción de escenarios permitió visualizar futuros posibles y la elaboración de estrategias adaptativas para enfrentar los desafíos y aprovechar las oportunidades en el mediano y largo plazo, tal como se muestra en la (Figura 5).

Figura 5

Esquema de ruta metodológica para el desarrollo del proyecto de investigación



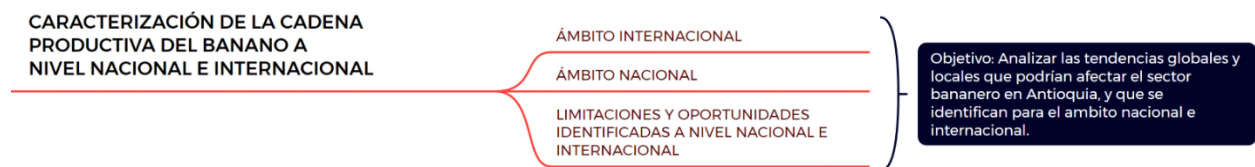
Nota: Elaboración propia

5.1. Desarrollo metodológico

Para el logro del primer objetivo se realizó la caracterización de los principales países exportadores de banano y del contexto colombiano, identificando oportunidades y limitaciones del sector, tal como se muestra en la (Figura 6).

Figura 6

Esquema de ruta metodológica para el desarrollo del proyecto de investigación, objetivo 1



Nota: Elaboración propia

Las actividades que se realizaron en esta fase fueron:

Caracterización ámbito Internacional: se identificaron los principales países productores y exportadores de banano, por cada uno de estos países se detallaron las hectáreas cultivadas, principales regiones productoras, destinos de las exportaciones y participación en el mercado, toneladas exportadas, actores principales, tecnologías empleadas, desafíos identificados y en caso de existir entes con dedicación exclusiva a la investigación del cultivo del banano.

Caracterización ámbito Nacional: se analizó la producción de banano en el contexto nacional, tomando como enfoque las principales regiones de cultivo en Colombia como el Urabá y el Magdalena, a su vez se detallaron las hectáreas cultivadas, principales regiones productoras, destinos de las exportaciones y participación en el mercado, toneladas exportadas, actores principales, tecnologías empleadas. Se analizó la integración de la cadena, la infraestructura de apoyo, principales tecnologías empleadas, desafíos que enfrenta el sector y la descripción de

Cenibanano (Centro de Investigaciones del Banano) como entidad de investigación del cultivo del banano.

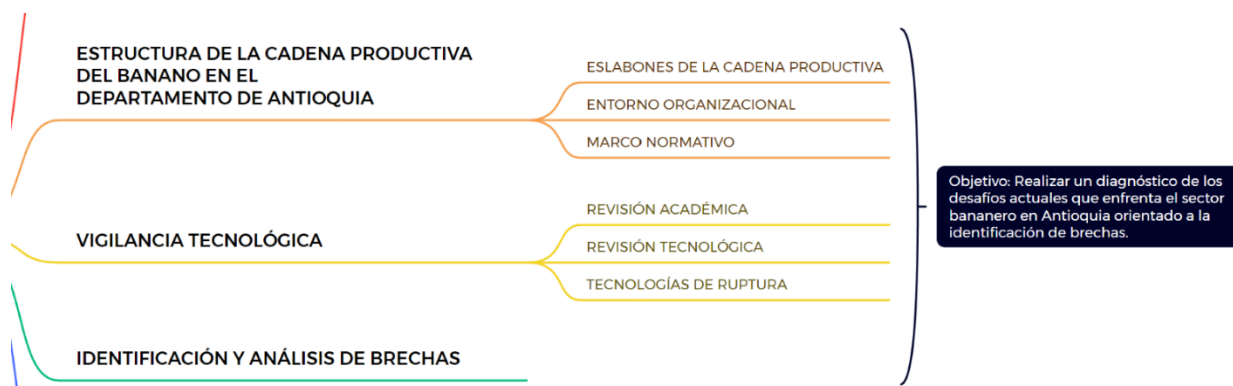
Este análisis permitió identificar los desafíos específicos como cambio climático, plagas, introducción de nuevas variedades, brechas tecnológicas, alto costo de fertilizantes y pesticidas, manejo del agua, factores externos y precio del banano e iniciativas del gobierno de los países productores.

Posteriormente se determinaron los eslabones de la Cadena Productiva para el sector bananero de Antioquia, donde se detallaron cada una de las etapas, desde la preparación del terreno y cultivo hasta la comercialización y exportación, donde se identificaron actores clave y sus roles en cada etapa.

Para el logro del segundo objetivo se desarrollaron tres fases, las cuales se configuran primero como una determinación de la estructura de la cadena productiva en el departamento de Antioquia, la segunda y tercera comprendió la vigilancia tecnológica que permitió identificar desafíos y brechas respectivamente, en la (**Figura 7**), se detalla a nivel general las actividades que se realizaron.

Figura 7

Esquema de ruta metodológica para el desarrollo del proyecto de investigación, objetivo 2



Nota: Elaboración propia

Las actividades de esta fase fueron:

Detallar cada fase del proceso productivo, desde la preparación del terreno, la siembra, el cultivo, el mantenimiento, la cosecha, hasta la postcosecha, empaque, comercialización, exportación y consumo. Dando el detalle de cómo cada uno de estos eslabones se maneja específicamente en Antioquia, teniendo en cuenta las prácticas agrícolas locales y las condiciones ambientales.

Se analizaron las estructuras organizativas involucradas en la cadena productiva, incluyendo las asociaciones de productores, comercializadoras, entes públicos y privados, entre otros actores clave, a fin de identificar su rol y principales funciones.

Luego, fueron exploradas las leyes, regulaciones, políticas, decretos nacionales que impactan la producción de banano en Antioquia, que incluyó la revisión de normativas asociadas al uso de suelo, prácticas agrícolas sostenibles, estándares de exportación, y medidas de protección laboral y ambiental.

Con el fin de desarrollar la etapa de vigilancia tecnológica en el contexto de la cadena productiva del banano, se tomaron como referencia los pasos indicados (Palop et al., 2012) que comprenden la revisión académica y tecnológica, y se abordaron como se describe a continuación:

- **Revisión académica** que integra el análisis de estudios, publicaciones y hallazgos científicos relacionados con el cultivo del banano, prácticas agrícolas sostenibles, y avances en biotecnología aplicada al sector. Este proceso permitió identificar tendencias y avances relevantes en el ámbito académico que podrían impactar la producción de banano. Para esta revisión, se utilizó la metodología PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Yepes-Núñez et al., 2021), siguiendo las etapas de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión, donde se utilizaron las bases de datos Scopus® y Web of Science®, mediante la definición de ecuaciones de búsqueda cuyo resultado fue analizado con

el software Bibliometrix® 4.0 con el fin de facilitar el análisis de la literatura asociada.

- **Revisión tecnológica** que consistió en el seguimiento de nuevas tecnologías y herramientas que se están desarrollando o implementando en la agricultura y específicamente en la producción de banano. Incluir desde maquinaria avanzada hasta software de gestión agrícola y técnicas de agricultura de precisión, para llevarlo a cabo fue definida una ecuación de búsqueda para aplicar en LENS® para identificar patentes asociadas al cultivo y procesamiento del banano a fin de validar el estado actual de la tecnología, aplicaciones, principales aplicantes, países con más registros y el estado actual en materia de patentes en el ámbito de Colombia.

La aplicación de la revisión académica y tecnológica permitió identificar y analizar tecnologías emergentes que tienen el potencial de transformar radicalmente la industria del banano. Donde se incluyen innovaciones en genética de cultivos, sistemas automatizados de irrigación y recolección, mejora genética, introducción de agentes para el biocontrol y nuevas metodologías para el procesamiento y conservación del banano, integración de la inteligencia artificial, entre otras.

Se realizó un análisis de brechas de la cadena productiva del banano, en esta fueron incluidas a nivel general los datos de Colombia a fin de poder realizar una comparación más precisa con el líder, los resultados a comparar fueron entregados por la caracterización del ámbito nacional e internacional, la revisión tecnológica, eficiencia operativa. Cabe destacar que, para efectos de este análisis, únicamente se tuvieron en cuenta países exportadores de banano, donde se incluyeron las siguientes variables:

- Área cosechada
- Producción
- Rendimiento por hectárea de cultivo
- Distancia en kilómetros (km) al principal destino de exportación.
- Valor de las exportaciones (en USD)

- Número de patentes registradas
- Producción científica

Para el logro del tercer objetivo se desarrolló un plan prospectivo de carácter tecnológico para la cadena del banano que comprende una fase y cuatro actividades, tal como se muestra en la **(Figura 8)**.

Figura 8

Esquema de ruta metodológica para el desarrollo del proyecto de investigación, objetivo 3, con base en (Godet & Durance, 2018)



Nota: *definición del objetivo 3, con base en (Godet & Durance, 2018)*

Las actividades de esta fase fueron:

Identificación y priorización de variables: para definir las variables que afectan la producción, comercialización del banano, y que a su vez están asociadas con los avances tecnológicos y alternativas para abordar el cambio climático, fue realizado un ejercicio de vigilancia científico-tecnológica que incluyó la bibliometría (usando las bases de datos de Scopus® y Web of Science®) y el análisis de patentes que se realizó con el portal de LENS®. Una vez definidos estas bases de datos fueron definidas las ecuaciones de búsqueda con los criterios buscados que permitieron identificar las tecnologías actuales a nivel nacional e internacional y así mismo identificar tecnologías pesadas emergentes y factores de cambio del entorno. Una vez fueron identificadas las variables, estas se organizaron en cinco categorías, cada una de las cuales agrupaba diversas tendencias. Para cada tendencia, se identificaron temas relevantes. Las categorías son: Inteligencia Artificial (IA) y aprendizaje automático, agricultura de precisión,

sostenibilidad y control biológico, mejora genética y tecnologías de poscosecha. Todo esto teniendo en cuenta que la prospectiva se apoya en la vigilancia tecnológica y el análisis de tendencias, que implican el seguimiento sistemático de avances científicos y tecnológicos para anticipar cambios y nuevas oportunidades (Martin, 1995). Estas metodologías subrayan la importancia de comprender las dinámicas de cambio más que cuantificar datos a partir de una muestra estadísticamente significativa.

Luego, se elaboró una estrategia para invitar a expertos académicos nacionales e internacionales a participar en este ejercicio de revisión, evaluación y validación de las variables identificadas. La selección de expertos resultó luego de revisar las publicaciones científicas objeto de la metodología PRISMA, donde fueron identificados los autores de correspondencia de cada publicación. Los expertos participantes son de Colombia, Ecuador, España, Perú, México, Filipinas, Costa Rica, India y Venezuela; vinculados a la academia, centros de investigación. Posteriormente, se envió a cada autor una invitación personalizada por correo electrónico, solicitando su participación con el fin de enriquecer el estudio prospectivo. Con el objetivo de acogerse a la Resolución 8430 de 1993 y, para efectos de presentar los resultados de este trabajo no serán revelados los nombres, apellidos y correos electrónicos de los expertos que participaron en este estudio.

Los expertos están vinculados a entidades de carácter privado, corporaciones de investigación del orden público y privado, grupos de investigación de universidades.

Como parte del proceso de evaluación, revisión y validación de las variables identificadas, se elaboró un cuestionario de 12 preguntas en la plataforma *Survey Monkey* que buscaba recopilar el juicio de los expertos sobre los temas específicos, el primer bloque consistía en la identificación y priorización de variables para de manera simultánea, evaluar si cada una de ellas tiene relevancia en el presente o en el futuro, y evaluar la probabilidad de ocurrencia a 2040 de algunas tecnologías. El segundo bloque del cuestionario se elaboró con escala Likert que es usualmente utilizada para estudios de prospectiva para priorizar tecnologías e innovaciones (Suarez Guzman et al., 2020) . La escala que se utilizó fue de cero (0) a cuatro (4) donde:

- 0: Nula
- 1: Baja
- 2: Media
- 3: Alta
- 4: Muy alta

Con los resultados obtenidos, se realizó el análisis descriptivo y analítico de cada una de las respuestas a fin de validar la pertinencia de las variables, y el conceso de los expertos.

Desarrollar escenarios prospectivos que reflejen posibles futuros de la industria bananera, abarcando optimistas, pesimistas y realistas, y planificar estrategias correspondientes para cada escenario.

Para la construcción de escenarios se apoyó en la herramienta SMIC-Prob-Expert desarrollada por el Laboratorio de Prospectiva de Michel Godet, donde Godet et al (2000) “el método de impactos cruzados es el término genérico de una familia de técnicas que intentan evaluar los cambios en las probabilidades de un conjunto de acontecimientos como consecuencia de la realización de uno de ellos”(p.85). Donde luego de las probabilidades simples y condicionadas de hipótesis, es posible obtener los escenarios más probables, es así como el método de impactos cruzados es una técnica que permite identificar los futuros más probables (Burgos Castillo et al., 2021).

Parte 1

Se hizo la formulación de hipótesis, posteriormente se evaluó la probabilidad simple de realización de esta donde 0 (imposible) y 1 (muy probable).

Parte 2

Evaluar la probabilidad condicional de realización de una hipótesis en función de todas las demás. En esta fase dado el alto nivel de complejidad técnica, el tiempo requerido y la carga cognitiva que supone para los expertos completar de forma directa las matrices de impactos

cruzados probabilísticos, se adoptó una estrategia metodológica basada en la simulación estructurada de respuestas,

Una vez recolectadas las probabilidades simples de ocurrencia (datos obtenidos de los expertos) para cada hipótesis a partir de cinco expertos, se procedió a la simulación de las matrices de impactos cruzados condicionales $P(H_x|H_y)P(H_x|H_y)$, bajo las siguientes reglas

- La diagonal de cada matriz se igualó a la probabilidad simple dada por el experto para cada hipótesis.
- Ningún valor en la fila fue inferior a la probabilidad simple del evento evaluado.
- Se asumió independencia condicional cuando las probabilidades de dos hipótesis diferían en menos de un umbral definido.

En los casos donde se consideró una posible influencia positiva entre hipótesis, la probabilidad condicional fue aumentada de manera proporcional, respetando siempre el límite máximo de 1.

Posteriormente, y como parte de la lógica del método SMIC, se derivaron las matrices $P(H_x|\neg H_y)$ (impactos cruzados inversos), simulando sus valores con base en las matrices condicionales directas y aplicando la fórmula de probabilidad total inversa. En este proceso, se aplicaron las siguientes restricciones:

- Valor 0 en la diagonal, excluyendo la autoinfluencia inversa.
- Todos los valores fueron forzados al rango estricto (0.01, 0.99), evitando extremos no realistas (certeza o imposibilidad).
- Si se asumió independencia entre H_x y $\neg H_y$, se usó directamente la probabilidad simple de H_x .

Este enfoque permitió construir una base sólida de matrices condicionales, tanto directas como inversas, que fueron posteriormente procesadas en el software SMIC-Prob-Expert para realizar el análisis estocástico y explorar los escenarios más probables de ocurrencia conjunta,

preservando la coherencia lógica, la consistencia probabilística y al mismo tiempo reduciendo la carga de trabajo para los expertos.

Parte 3 Escenarios

El software SMIC-Prob-Expert facilita el análisis con el objetivo de obtener los escenarios más probables, que resultan luego de asignar las probabilidades a cada una de las 2N combinaciones en cada una de las hipótesis determinadas (Godet et al., 2000b).

Es importante tener en cuenta que el escenario no es una previsión del futuro, es un acercamiento de cómo puede ser el futuro, donde se describen las circunstancias, condiciones que puede presentar la situación del entorno en un momento futuro.

El método SMIC PROB- EXPERT permite asignar probabilidad a las 2N combinaciones posibles de las hipótesis determinadas y sus posibles combinaciones (Godet et al., 2000b), en este caso existen 2^5 , es decir, 32 combinaciones.

Se plantearon los siguientes escenarios:

- Escenario Optimista Transformador" Agricultura regenerativa y digitalizada"
- Escenario Moderado optimista, "Banano inteligente y sostenible
- Escenario pesimista o de bajo desempeño
- Escenario tendencial que representa una modernización cautelosa - persistencia modelo tradicional

Con los diferentes escenarios es posible construir estrategias para lograr su consecución en el futuro.

Cabe resaltar, que para el desarrollo de este trabajo de grado se tuvieron como referentes algunas empresas productoras del sector bananero de Urabá, se consultó personal experto vinculado a empresas como Uniban, Augura, Centro de Investigaciones del Banano (Cenibanano)

y algunas de las empresas que hacen parte de la cadena productiva. La revisión académica, se permitió clasificar e identificar a los investigadores locales y nacionales más activos y con mayor producción de artículos científicos, los cuales fueron contactados vía correo electrónico y fueron partícipes de la encuesta realizada.

En cuanto a este universo, cabe resaltar que para realizar un ejercicio de prospectiva no se basa en la obtención de una -muestra significativa- en el sentido estadístico tradicional, ya que la prospectiva se enfoca más en explorar futuros posibles, deseables o probables a través de métodos cualitativos y cuantitativos adaptados a la anticipación del futuro, más que en la representatividad estadística de una muestra. La prospectiva estratégica utiliza una variedad de herramientas y técnicas para identificar tendencias, desarrollar escenarios, y explorar las implicaciones de posibles futuros. Este enfoque difiere significativamente de los métodos basados en muestras significativas típicos de la investigación cuantitativa (Amanatidou et al., 2012; Popper 2008).

Por ejemplo, el análisis de escenarios, uno de los métodos más utilizados en la prospectiva, se centra en la creación de narrativas detalladas sobre futuros alternativos para ayudar a los tomadores de decisiones a visualizar y planificar frente a incertidumbres complejas (Bishop et al., 2007).

5.2. Clasificación de la Investigación

Esta investigación adoptó un enfoque metodológico mixto, combinando técnicas cualitativas y cuantitativas. Se caracterizó por ser exploratoria empleando métodos descriptivos y analíticos, fundamentándose en la recopilación y análisis tanto de información primaria como secundaria. Esta dualidad metodológica permitió una comprensión más profunda y holística del tema, facilitando una interpretación integral de los datos y la identificación de patrones y tendencias dentro del sector bananero del Urabá antioqueño, su alcance comprendió la configuración de escenarios prospectivos que reflejan posibles futuros y el desarrollo de estrategias para cada uno de estos.

5.3. Descripción de fuentes de datos y de datos

Las fuentes de datos utilizadas para el desarrollo del trabajo de grado fueron primarias y secundarias. Las fuentes primarias fueron digitalizadas y disponibles para la consulta y pruebas de comparación. A continuación, la **Tabla 4** muestra la fuente de datos y los datos obtenidos de acuerdo con cada objetivo específico

Tabla 4*Datos y fuente de datos según el objetivo*

Objetivo	Fuente de datos propuesta	Fuente de datos utilizadas	Datos propuestos	Datos Utilizados
<p>OE1: Analizar las tendencias globales y locales que podrían afectar el sector bananero en Antioquia, y que se identifican para el ámbito nacional e internacional.</p>	<p>Secundarios: búsqueda en literatura científica especializada, tales como: Scopus, Science Direct; Web Of Science, Taylor and Francis, Sage Journals, entre otros.</p> <p>Secundarios: datos en informes del sector entregados por entidades como Augura, Uniban, Ministerio de Agricultura, ANDI, Asbama</p> <p>Secundarios: informes generados de portales de información financiera y de mercados.</p> <p>Secundarios: literatura específica del sector agrícola de la producción bananera.</p> <p>Primarios: Levantamiento de información mediante entrevistas realizadas al personal experto</p>	<p>Secundarios: Scopus, Web of Science.</p> <p>Secundarios: FAO, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Cluster Bananero y Platanero del Ecuador, Corporación Financiera Nacional, Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador, Fresh Plaza, , , Asociación de Productores Independientes de Banano (Guatemala), GIZ Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación- Guatemala, AgroAmerica, Revista Mercados, Corbana, programa de NAMA Musáceas- Costa Rica, Foro Mundial Bananero, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (Subdirección General de Relaciones Internacionales y Asuntos Comunitarios-Costa Rica), Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación República Dominicana, Fontagro, Department of Agriculture - Bureau of Agricultural Research-Filipinas, Consejo Filipino para la Investigación y el Desarrollo de la Agricultura, la Acuicultura y</p>	<p>Búsqueda y lectura artículos seleccionados de acuerdo con ecuaciones en bases de datos especializadas</p> <p>Datos cuantitativos y cualitativos de la información encontrada en la literatura.</p> <p>Caracterización del ámbito nacional e internacional de los países productores y exportadores de banano.</p> <p>Características de los actores claves.</p> <p>Búsqueda de información cualitativa y cuantitativa de las regiones productoras de banano de exportación a nivel nacional e internacional.</p>	<p>FAO: The World Banana Economy 1985-2002</p> <p>FAO: Informe Análisis De Mercado De Banano 2023.</p> <p>Encuesta De Superficie Y Producción Agropecuaria Continua 2022- Ecuador.</p> <p>Anuario Estadístico 2023 Asociación De Exportadores De Banano Del Ecuador.</p> <p>Cluster Bananero Del Ecuador: Informes, Miembros, Funciones.</p> <p>Ficha Sectorial Banano-Subgerencia De Análisis De Productos Y Servicios-Corporación Financiera Nacional-Ecuador.</p> <p>Banano, Plátano Y Otras Musáceas- Instituto Nacional De Investigaciones Agropecuarias-Enfoques, Tecnologías Desarrolladas, Zonas Intervención, Prácticas Agronómicas, Logros.</p> <p>Noticias Del Sector: Freshplaza, Banana Link, Red Agrícola.</p> <p>Subdirección General De Relaciones Internacionales Y Asuntos Comunitarios. Sectores Agroalimentario Y Pesquero Guatemala 2023.</p> <p>Ministerio De Agricultura Ganadería Y Alimentación-Guatemala- Buenas Prácticas De Producción.</p>

		<p>los Recursos Naturales, Augura, Uniban, Ministerio de Agricultura, ANDI, Asbama. ProMusa, Afruibana, Banana Link, Chiquita, Del Monte, Dole, Banco Interamericano de Desarrollo. Comisión Europea-Value Chains Analysis for Development:</p>		<p>Asociación de Productores Independientes De Banano (Guatemala) – El Banano En Guatemala, Certificaciones, Noticias, Cultivo, Productividad, Destino Exportaciones.</p> <p>Páginas Web de Productores de Banano: Agroamérica, Dole, Chiquita, Del Monte, Reybanpac, Tecbaco, Uniban.</p> <p>Costos de Producción en el Sector Bananero-Colombia: GIZ Deutsche Gesellschaft Fur Internationale Zusammenarbeit</p> <p>Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica- Lineamientos Para el Diseño de NAMA MUSÁCEAS.</p> <p>CORBANA: Informe de Gestión del Trabajo en la Dirección de Investigaciones De La Corporación Bananera Nacional.</p> <p>Guía Metodológica para la Huella de Carbono y la Huella de Agua en la Producción Bananera. FAO-GIZ Deutsche Gesellschaft Fur Internationale Zusammenarbeit.</p> <p>CORBANA: Banano de Costa Rica-Industria Bananera.</p> <p>Desatando la Innovación: Evaluación Del Papel de la I+D Agropecuaria En América Latina Y El Caribe-Banco Interamericano De Desarrollo.</p> <p>Ministerio de Agricultura Pesca Y Alimentación-República Dominicana-Sectores Agroalimentario Y Pesquero.</p>
--	--	---	--	---

				<p>Comisión Europea-Value Chains Analysis For Development:</p> <p>Retos y desafíos en cadenas de Suministro En República Dominicana por efecto del COVID-19. Banco Interamericano de Desarrollo.</p> <p>Department Of Agriculture - Bureau Of Agricultural Research- Filipinas- Roadmap 2021-2025 Industria Bananera De Filipinas.</p> <p>Department Of Agriculture - Bureau Of Agricultural Research- Filipinas- Roadmap 2019-2022 Industria Bananera De Filipinas.</p> <p>Philippine Council For Agriculture, Aquatic And Natural Resources Research And Development (DOST-PAAARRD).</p> <p>Unidad de Planificación Rural Agropecuaria – UPR: Área, Producción Y Rendimiento Nacional Por Cultivo.</p> <p>AUGURA: Coyuntura Económica 2023 Análisis del mercado del Banano.</p> <p>AGROSAVIA: Contexto Cadena de Banano.</p> <p>Minagricultura: Cadena de Banano</p> <p>CENIBANANO: Investigaciones Cenibanano 2019-2023.</p> <p>SIEMBRA: Cadena del Banano</p> <p>ASBAMA: Informe de Gestion 2022.</p>
<p>OE2: Realizar un diagnóstico de los desafíos actuales que enfrenta el sector</p>	<p>Secundarios: búsqueda en literatura científica especializada, tales como: Scopus, Science Direct, Web Of Science,</p>	<p>Secundarios: búsqueda en literatura científica especializada, tales como:</p>	<p>Identificar tecnologías emergentes, buenas prácticas que se están implementando que tienen el</p>	<p>FAOSTAT: Statistical Database</p>

<p>bananero en Antioquia orientado a la identificación de brechas.</p>	<p>Taylor and Francis, Sage Journals, entre otros.</p> <p>Secundario: informes del Ministerio de Agricultura, regulación a nivel nacional para la siembra. Regulaciones de los mercados de exportación. Certificaciones requeridas.</p> <p>Primario: Encuestas y entrevistas semiestructuradas, que permitan entender todas las fases del proceso productivo.</p> <p>Primario: Levantamiento de la data de acuerdo con los resultados de la revisión tecnológica y el estado actual.</p> <p>Primario: entrevistas que den respuesta a la identificación de cada fase del proceso productivo, entendimiento de las estructuras organizativas.</p>	<p>Scopus, Science Direct, Web Of Science.</p> <p>Secundarios: Augura, Unidad de Planificación Rural Agropecuaria – UPRA, Ministerio Federal de Cooperación y Desarrollo Económicos (BMZ) de Alemania, Agrosavia, Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE, Ministerio de Agricultura, Augura, Asbama, SIEMBRA (Plataforma de información para la gestión del conocimiento en Ciencia, Tecnología e Innovación, (CTI) del Sistema Nacional de Innovación), Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Minciencias, FAO, SENA. Leyes y Decretos elaborados en Colombia.</p> <p>Secundarios: Banana Link, Pacto Verde Europeo, Foro Mundial Bananero, UN Trade and Development (UNCTAD), ProMusa.</p>	<p>potencial de transformar la industria</p> <p>Búsqueda y lectura artículos seleccionados de acuerdo con ecuaciones en bases de datos especializadas</p> <p>Caracterización de cada fase del proceso productivo.</p> <p>Información que permita identificar la interacción de cada actor en la cadena productiva.</p> <p>Identificación de brechas.</p>	<p>SCOPUS y Web Of Science: Publicaciones científicas según ecuación de búsqueda.</p> <p>Caracterización estratégica de la cadena de suministro del banano.</p> <p>Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. La Cadena de Banano en Colombia.</p> <p>Augura: Manual de Labores en finca Bananera</p> <p>SENA: Caracterización subsector bananero en Colombia.</p> <p>Ministerio de Agricultura: Normativa, Leyes, Decretos, Resoluciones, CONPES.</p>
--	--	---	--	---

<p>OE3: Identificar las oportunidades tecnológicas que podrían contribuir al desarrollo y sostenibilidad del sector bananero en Antioquia, para evaluar su pertinencia tecnológica y ambiental.</p>	<p>Secundaria: bases de datos con información de los agentes y de las variables que intervienen en el modelo.</p> <p>Primaria: Encuestas y entrevistas semiestructuradas, que den respuesta al entendimiento de variables que afectan la producción y comercialización.</p> <p>Primaria: Encuestas y entrevistas que permitan desarrollar la herramienta del juego de actores</p>	<p>Secundarios: búsqueda en literatura científica especializada, tales como: Scopus, Web Of Science.</p> <p>Secundarios: FAOSTATS, LENS, Superintendencia de Industria y Comercio-SIC</p> <p>Primaria: Elaboración de cuestionario en SurveyMonkey.</p>	<p>Identificación de variables.</p> <p>Validación de las variables identificadas.</p> <p>Creación del instrumento de acuerdo con las variables que intervienen en la estructura del área bajo estudio.</p> <p>Herramienta del juego de actores.</p> <p>Validación de los escenarios que reflejan posibles futuros de la industria bananera.</p>	<p>FAOSTAT: Statistical Database</p> <p>SIC: Oficina Virtual de Propiedad Industrial – SIPI.</p> <p>LENS: patentes registradas según ecuación de búsqueda.</p> <p>SCOPUS y Web Of Science: Publicaciones científicas según ecuación de búsqueda.</p> <p>Cuestionario en SurveyMonkey</p>
--	--	--	---	--

Nota. Elaboración propia

5.4. Métodos de obtención de Datos

La **Tabla 5** expone la manera como se obtuvieron se manejaron los datos asociados a cada objetivo específico.

Tabla 5
Obtención de los datos

Objetivo	Obtención de datos
<p>OE1: Analizar las tendencias globales y locales que podrían afectar el sector bananero en Antioquia, y que se identifican para el ámbito nacional e internacional.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda y lectura artículos seleccionados de acuerdo con ecuaciones en bases de datos especializadas • Documentos obtenidos del Ministerio de Agricultura, de las comercializadoras en Colombia, informes de la FAO. • Bases de datos como EMIS, para obtener estadísticas de producción y proyección del mercado de producción bananero. • Portales web especializados de cada uno de los actores claves identificados. • Búsqueda de información cualitativa y cuantitativa de las regiones productoras de banano de exportación a nivel nacional e internacional. • Elección de los documentos a analizar de acuerdo con los objetivos de investigación y la disponibilidad de documentos. Revisión de literatura científica en bases de datos especializadas de acuerdo con palabras clave: “Cadena productiva”, “banano”, “tecnologías”, “prospectiva” • La búsqueda de información se realizará en bases de datos tales como: <ul style="list-style-type: none"> • Scopus • Science Direct • Taylor and Francis • Sage journals • Emerald Insights • Entre otros

	<p>Se llevará una bitácora de la revisión sistemáticas de literatura con el fin de evitar la pérdida de información y datos. – Matriz Documental</p>
<p>OE2: Realizar un diagnóstico de los desafíos actuales que enfrenta el sector bananero en Antioquia orientado a la identificación de brechas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Información obtenida mediante el instrumento de encuestas y entrevistas. • Informes del Ministerio de Agricultura, estadísticas, proyecciones. • Normativa nacional (leyes, decretos, acuerdos) que estén enfocados en el sector agrícola en la producción bananera. • Normativa internacional aplicable a los productores exportadores bananeros, certificaciones, sellos y condiciones de mercado. • Análisis y construcción comparativa de la revisión tecnológica • Recolección de información por medio de entrevistas o encuestas que den respuesta a la identificación de cada fase del proceso productivo, entendimiento de las estructuras organizativas. • Matriz documental
<p>OE3: Identificar las oportunidades tecnológicas que podrían contribuir al desarrollo y sostenibilidad del sector bananero en Antioquia, para evaluar su pertinencia tecnológica y ambiental.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de la literatura, de los resultados de las entrevistas y encuestas que permitan la construcción y validación de las variables que se utilizarán. • Creación del instrumento de acuerdo con las variables que intervienen en la estructura del área bajo estudio. • Herramienta del juego de actores. • Validación de los escenarios que reflejan posibles futuros de la industria bananera, mediante la aplicación de herramientas de la prospectiva. • Recolección de información mediante entrevistas y encuestas que permitan la identificación de las variables asociadas. • Recolección de información y entrevistas que permita

Nota. Elaboración propia

5.5. Métodos de manejo de datos

Se realizaron búsquedas de información en bases de datos especializadas y se llevó un registro en Excel con el siguiente detalle: número, nombre del artículo, palabras clave, resumen o abstract, enlace, referencia, conclusiones, metodología, vacío de conocimiento y citación.

5.6. Métodos de comunicación del proyecto

El producto principal es este trabajo de investigación de la maestría, posterior se esperar divulgar los resultados como se muestra en la **Tabla 6**.

Tabla 6

Productos esperados de Generación de Nuevo Conocimiento

Tipo de Producto	Publicación
Un artículo	Revista científica indexada y avalada por MINCIENCIAS
Una ponencia	Evento científico con memorias

Nota. Elaboración propia

6. Resultados

6.1. Caracterización del ámbito nacional e internacional de los productores de banano

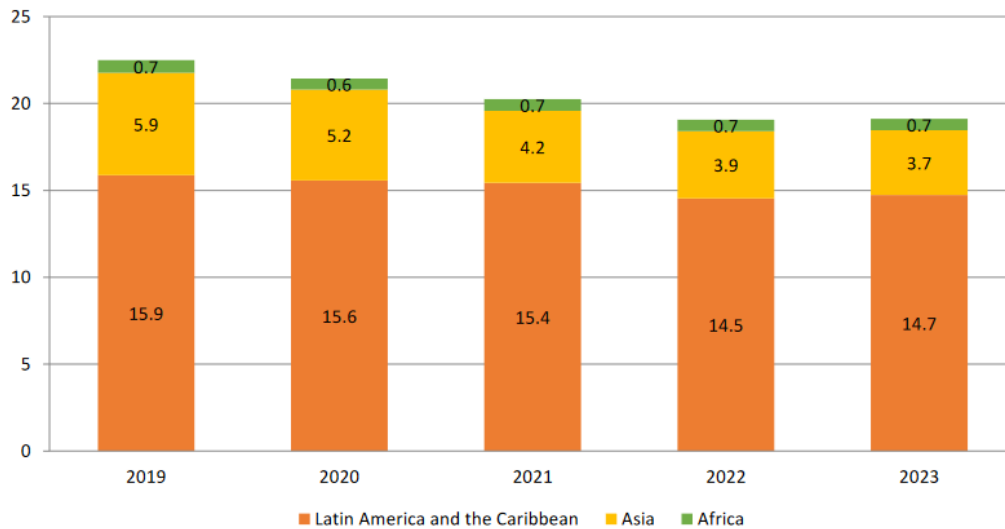
El banano es una de las frutas más consumidas en el mundo razón por la cual es una de las más producidas y comercializadas teniendo en cuenta que para el consumidor final el precio de esta fruta es relativamente bajo comparado con otras, a su vez, la producción bananera constituye una fuente esencial de ingresos para los países en desarrollo productores. Con más de 1000 variedades, el banano Cavendish (variedad dulce) es el más comercializado y representa casi la mitad de la producción mundial con un volumen de producción anual estimado en 50 millones de toneladas. Esta fruta es cultivada en los continentes de Asia, América Latina y África, donde algunos países los cultivos los destinan para el consumo interno como lo es el caso de China e India (FAO, 2023d).

El banano de exportación ha experimentado un crecimiento representativo en los mercados de comercio internacional, donde para el año 2019 se obtuvo un volumen de exportación de 21 millones de toneladas, producto del crecimiento de la oferta de los principales países exportadores como lo son Ecuador y Filipinas respaldado a su vez por el incremento de la demanda de consumo de las regiones importadoras como lo son la Unión Europea y China.(FAO, 2023d).

Tal como lo sugiere la FAO (2023a) las principales regiones exportadoras de banano están representadas por América Latina y el Caribe, Asia y África. Para el año 2023, las exportaciones en millones de toneladas se pueden ver a continuación en la **(Figura 9)**.

Figura 9

Exportaciones mundiales de banano por región, 2019-2023 por millones de toneladas



Nota: Tomado de *Banana Market Review de FAO 2023*

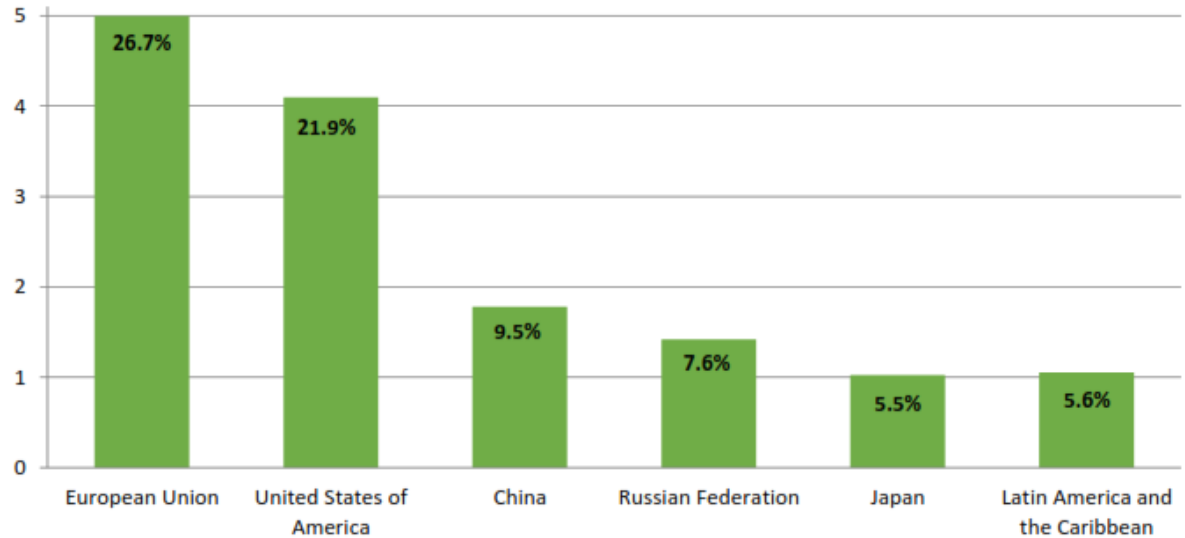
Tal como se puede apreciar en la (**Figura 9**) para el año 2023 la región de América Latina y el Caribe es por gran diferencia la líder en las exportaciones de banano con un volumen de 14.7 millones de toneladas, seguida de Asia con unas 3.7 millones de toneladas y por último se encuentra África con unas 0.7 millones de toneladas exportadas.

Según la FAO (2023a) los principales países productores y exportadores de banano de la región de América Latina y el Caribe por volumen exportado corresponden a: Ecuador, Guatemala, Costa Rica, Colombia, República Dominicana y México. A su vez para la región de Asia el principal exportador es Filipinas con una participación del 60% de las exportaciones, y como países exportadores emergentes, se encuentran India, Vietnam y Camboya. En la región de África destacan países como Costa de Marfil, Camerún.

Los principales destinos de exportación de los bananos están representados por la Unión Europea, Estados Unidos, China, Rusia, Japón y algunos países de América Latina (Argentina, Chile y Uruguay). La (**Figura 10**) muestra las cantidades en millones de toneladas importadas para cada región para el 2023.

Figura 10

Distribución de las importaciones netas mundiales por mercados en 2023.



Nota: millones de toneladas y participación del mercado en las importaciones. Tomado de (FAO, 2023c)

La identificación de los principales países productores de banano de tipo exportación por región y los principales mercados de destino, facilitará la caracterización de cada uno de los países como se presenta a continuación en los siguientes anexos:

- *Anexo A. Ecuador*
- *Anexo B Guatemala*
- *Anexo C Costa Rica*
- *Anexo D República Dominicana*
- *Anexo E Filipinas*

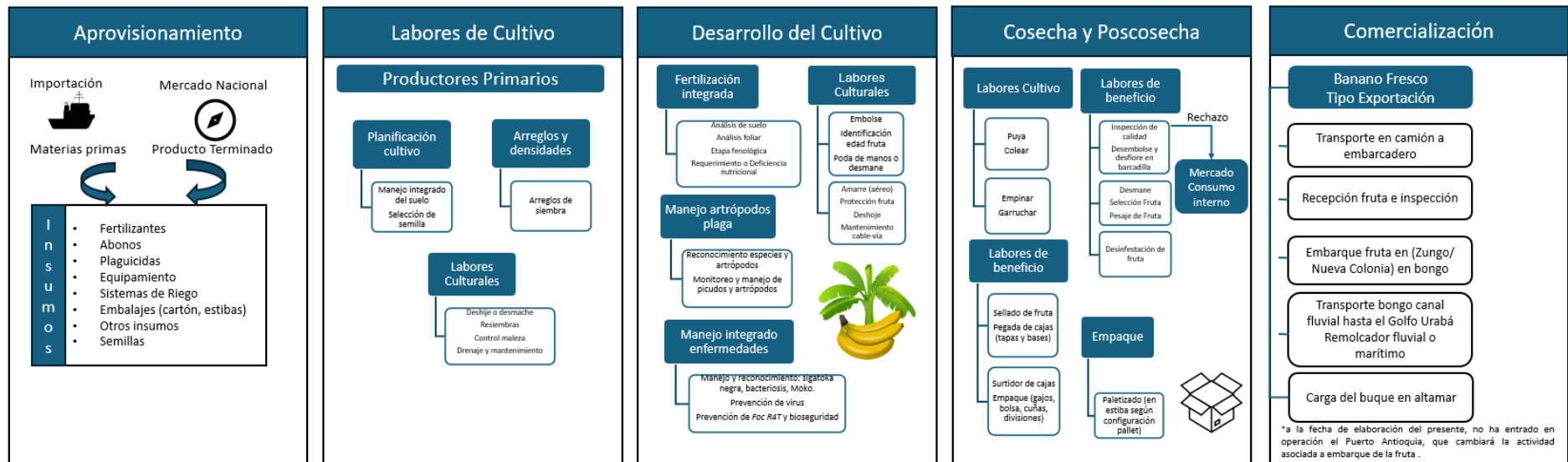
En cuanto a la caracterización del ámbito nacional, se presenta en el

- *Anexo F. Colombia*

6.2. Cadena productiva del Banano

A continuación, la (Figura 11) indica las etapas de la cadena productiva, desde la preparación del terreno y cultivo hasta la comercialización y exportación, identificando actores clave y sus roles en cada etapa. La descripción de cada una de las etapas y actividades que se realizan se detallan en el Anexo G. Cadena Productiva del Banano

Figura 11
Cadena productiva del banano en Urabá



Nota: Elaboración propia, con base en (Salamanca Gómez et al., 2023) y (Martínez Covalada & Peña Marín, 2008)

6.3. Desafíos generales del mercado global de banano

6.3.1. Cambio Climático

Un estudio de pronóstico realizado por Varma and Bebbber toma como referencia datos de 27 países productores de banano para analizar las tendencias y hacer predicciones de la producción de banano bajo el cambio climático. Este sector tiene una alta exposición a los efectos y retos que plantea el cambio climático, que según estudios predicen que para el año 2050 las zonas aptas en los subtrópicos para el cultivo de banano tendrán una reducción de más de 1 millón de km², a su vez, el aumento de temperatura ha contribuido a mejorar la productividad, fenómeno que si se mantiene en el tiempo no sería sostenible (Varma & Bebbber, 2019), lo que indica la necesidad de los países de buscar alternativas para la adaptación al cambio climático.

Amenazas recientes como las sequias y patrones de precipitaciones cada vez menos confiables, fuertes vientos, huracanes y las inundaciones que dejan a su paso son algunas de las señales de alarma que muestra el cambio climático (Banana Link, 2021).

A su vez el cambio climático es uno de los factores responsables de fomentar la propagación de plagas y enfermedades como el *Fusarium TR4*, la *Sigatoka Negra* que es otro de los desafíos (Voora et al., 2023).

6.3.2. Plagas

La gran amenaza que representa la infección por *Foc TR4* que además de atacar a la variedad Cavendish también afecta a cultivares como ‘Gros Michel’, ‘Bluggoe’ (ABB), ‘Prata’ (AAB), ‘Silk’ (AAB), ‘FHIA-21’ (AABB), (Dita et al., 2013). Además, que cerca del 80% de la producción de bananos a nivel mundial proviene de cultivares susceptibles a *Foc TR4*. (Dita et al., 2013). Frente a la amenaza del *Fusarium* es fundamental el fortalecimiento de las medidas preventivas y procedimientos de cuarentena en la contención de la propagación, mejorar las

capacidades de diagnóstico y vigilancia y facilitar la comunicación y gestión de riesgos entre organismos nacionales, interregionales e internacionales.(FAO, 2024).

A su vez hay otros patógenos que no han llegado a la región de Latinoamérica y el Caribe como lo es el Virus del racimo cogolloso del banano (*BBTV*), *Xanthomonas campestris pv. Musacearum*. Estas son de las enfermedades más dañinas que afectan las musáceas a nivel global, representan amenazas para la seguridad alimentaria y representan un gran impacto económico y amenaza potencial para la producción de musáceas en América Latina y el Caribe (ALC); considerando a su vez que los cultivos de esta región tienen todas las condiciones favorables para que se presente este patógeno. (Martínez-Solórzano et al., 2022).

Siempre es importante hacer énfasis en estrategias y campañas de divulgación sobre el conocimiento de los síntomas de *BBTV* a todos los productores, personas de labores agrícolas, control de insectos. (Martínez-Solórzano et al., 2022).

6.3.3. Introducción de nuevas variedades

Teniendo en cuenta la presencia del reportada *Foc TR4* en países como Colombia en 2019 y Perú 2021 y Filipinas, hacen más eminente que los científicos e investigadores estén en la búsqueda de nuevas variedades resistentes a esta enfermedad.

En el caso de ALC es posible que la presencia de *Foc TR4* estimule la importación de materiales genéticos a la región en búsqueda de variedades resistentes que, sin los debidos controles, cuarentenas podrían representar la entrada de otros patógenos como el *BBTV*, como lo expresa

A través de estos materiales de siembra se pueden transmitir de manera eficiente otras enfermedades como las causadas por el complejo *Ralstonia solanacearum* (Moko, Bugtok, Blood disease por *Ralstonia syzygii*), *Xanthomonas campestris pv. musacearum* (Yirgou y Bradbury), *Dickeya paradisiaca*, marchitez por fitoplasmas, el complejo de especies de

Banana streak badnavirus (BSV) y el *Banana bract mosaic potyvirus* (BBrMV); muchos de ellos ausentes en ALC. Algunos de los virus señalados, son clasificados como plagas no reglamentadas en muchos países de África y Asia, por estar bien establecidos en esas regiones.

La existencia del insecto vector del *BBTV* en ALC y la constante importación de material de siembra para renovar áreas afectadas por la enfermedad de *Foc TR4* incrementa el riesgo de la presencia del *BBTV* que de materializarse tendría consecuencias devastadoras. (Martínez-Solórzano et al., 2022).

6.3.4. Brechas tecnológicas

Para la región de ALC, es bastante evidente la brecha tecnológica, tal como lo expresan Martínez-Solórzano et al. (2022):

Es evidente la brecha tecnológica para la identificación, detección y prevención de enfermedades cuarentenarias en los países del ALC, por lo que es necesaria la cooperación multilateral entre países que permitan generar conocimiento básico sobre patógenos locales, tecnologías rápidas y sensibles; además, en vigilancia y monitoreo, cuyo objetivo básico debe estar orientado a proteger los cultivos e incrementar la rentabilidad de los sectores rurales”(p.12)

6.3.5. Alto costo de los fertilizantes y pesticidas

La pandemia COVID-19 dejó impactó de manera significativa la inflación global y la seguridad alimentaria, también dejó disrupciones significativas para las cadenas de valor agrícolas durante 2020 y 2021 lo que llevó al incremento de los precios internacionales de la comida(Hernandez et al., 2024), a su vez el conflicto entre Rusia y Ucrania desató el aumento de los precios globales de la comida, energía, fertilizantes e incluso materiales de empaque usados en

la industria bananera (Voora et al., 2023). En el caso de los fertilizantes, su precio se duplicó en tan solo un año, lo que llevó a los productores a reducir su aplicación, esto tuvo como consecuencia una disminución en la productividad y calidad de la fruta durante 2022 y el primer semestre de 2023 (FAO, 2023b), para el año 2023 los precios mundiales de los fertilizantes mostraron una tendencia a la baja.

Más allá de los precios los productores cada vez se enfrentan a la creciente presión regulatoria del uso de fertilizantes, pesticidas y herbicidas que deriva de la legislación medioambiental, la seguridad de los trabajadores y los límites de residuos de pesticidas permitidos en las frutas (Dita et al., 2013).

Las nuevas iniciativas de la Unión Europea, como el Pacto Verde Europeo (European Green Deal), representan una de las principales prioridades de la región, con el objetivo de convertir a Europa en el primer continente neutral en carbono para 2050. Entre las estrategias clave para lograr esta meta se encuentra la iniciativa "De la Granja a la Mesa" (Farm to Fork Strategy), donde busca asegurar que todos los actores de la cadena alimenticia transformen sus métodos de producción promoviendo el uso de soluciones basadas en la naturaleza, optimización de recursos tecnológicos y digitales a fin de aumentar la resiliencia al cambio climático. Además, pone un fuerte énfasis en la reducción del uso de insumos como pesticidas y fertilizantes, fomentando prácticas agrícolas más sostenibles y responsables (EC, 2020), algunos de los objetivos clave para 2030 incluyen:

- Reducir el uso y riesgo de plaguicidas químicos en un 50%
- Reducir el uso de plaguicidas más peligrosos en un 50%
- Reducir el uso de fertilizantes en un 20%

Como dice Finger (2024) “si bien estos objetivos estratégicos son claros, su traducción en políticas y su aplicación en las prácticas agrícolas son objeto de un intenso debate, lograrlos requiere de cambios significativos en las prácticas y sistemas agrícolas”(p. 265). A su vez, esta política de reducción del uso de pesticidas tiene diversas miradas tanto desde las ventajas como desventajas, por ejemplo, dentro de las ventajas se encuentran: reducir la contaminación de los ecosistemas, reducir la pérdida de la biodiversidad y el impacto a la salud humana (Möhrling et al.,

2020; Tang et al., 2021), mejora de la biodiversidad del suelo y los servicios de polinización (Schneider et al., 2023), y en cuanto a los costos de compra y aplicación de pesticidas que podrían reducirse, por otro lado están las desventajas como efectos indirectos para el ambiente en los que se encuentran la dificultad para aplicar medidas de conservación del suelo, que la transición a prácticas de bajo uso de plaguicidas impacte la producción nacional de alimentos y sin una alternativa adecuada y eficaz reduzca la productividad y niveles de rendimiento de los cultivos, o incremente la mano de obra y el costo de otras alternativas (Finger, 2024); estas estrictas políticas del uso de pesticidas pone en riesgo los sistemas de producción agrícola y alimentarios no solo de Europa sino también a nivel global, incrementan los costos de producción, reducen la productividad y agravan el impacto de los patógenos, todo esto teniendo en cuenta que para el caso de banano al ser un cultivo perene que es menos adaptable y susceptible a menores rendimientos (Finger, 2024).

Lo anterior representa un gran desafío para la industria bananera, considerando que esta región es la mayor importadora de bananos a nivel mundial, con un estimado de 5 millones de toneladas en 2023 (FAO, 2023c), donde desde el Foro Bananero Mundial se ha manifestado esta preocupación y la necesidad de tomar acciones a fin de reducir el uso de pesticidas, encontrar oportunidades y alternativas a fin probar agroquímicos alternativos para reemplazar aquellos que tendrán restricciones de uso en 2025 (WBF, 2023)

6.3.6. Manejo del agua

La agricultura usa cerca del 70% del agua dulce del planeta, extraída de acuíferos, arroyos y lagos, a consecuencia del aumento de la población mundial también se estima un crecimiento en la producción de alimentos en un 70% que impactará directamente en los recursos hídricos (FAO, 2017b). Particularmente, la producción de banano tiene una alta demanda de consumo de agua, que incluso a veces es complementada por sistemas de irrigación a fin de maximizar los rendimientos del cultivo, además de la importancia del suministro de agua durante el ciclo comprendido entre el trasplante a la cosecha, donde incluso un déficit de 100mm de lluvia al mes puede reducir en un 9% el peso del racimo (Panigrahi et al., 2021).

Según Panigrahi et al., 2021 los motores que deben impulsar el cambio en la gestión del agua en las plantaciones bananeras están en el inminente aumento de la población mundial y su presión sobre la creciente escasez de agua y el cambio climático que trae consigo el aumento de temperaturas y la incertidumbre en el nivel de las precipitaciones que afecta directamente a aquellas plantaciones no cuenta con sistemas de riego y que dependen únicamente de la lluvia. La gestión del agua requiere de intervenciones y políticas que faciliten la innovación y transferencia de tecnología.

Los grandes retos a fin de enfrentar el estrés hídrico de las plantaciones requieren considerar

- Es fundamental evaluar tecnologías de riego que se ajusten a las características específicas de cada cultivo, priorizando sistemas de alta eficiencia como el riego por goteo, que alcanza hasta un 95% de eficiencia, en comparación con el 85% de la microirrigación y el 60% de los aspersores aéreos (Eckstein et al., 1998). Estas tecnologías permiten optimizar el uso del agua, reduciendo pérdidas y mejorando la sostenibilidad en la producción agrícola.
- Uso de tecnologías inteligentes: Adoptar sensores de humedad del suelo, estaciones meteorológicas, modelos predictivos y herramientas de apoyo a la decisión.
- Programación eficiente del riego que se ajusten a las demandas hídricas del cultivo, optimizando el nivel de estrés hídrico para mejorar la eficiencia del uso del agua.
- Priorizar la gestión del riego durante fases clave del desarrollo del cultivo (desde la iniciación floral hasta la madurez) para maximizar el rendimiento de la cosecha.

6.3.7. Factores externos y el precio del banano

El precio es un factor clave, debido a que este puede determinar si el productor bananero gana algo al acogerse al cumplimiento e implementación de certificaciones. El precio es un factor sumamente sensible a cambios en la oferta y demanda que se dan tan solo por las preferencias de los clientes con el paso de las estaciones (Voora et al., 2023), así mismo, se ve bastante afectado por las fluctuaciones en la tasa de cambio del dólar americano de los países productores. (UNCTAD, 2016). A lo largo de los años, los minoristas como Walmart, Aldi, Tesco y Lidl han

consolidado un importante poder de mercado en los principales destinos de exportación, como Europa y Estados Unidos. Estos actores desempeñan un papel crucial en la determinación de los precios globales del banano, estableciendo contratos anuales de precio fijo que, en muchos casos, limitan los esfuerzos de los países productores para implementar un precio mínimo sostenible. (Voora et al., 2023). A su vez la guerra de supermercados en Europa (Alemania y Reino Unido) por tener el menor precio lleva al detrimento de los productores agregando una enorme presión a toda la cadena. (UNCTAD, 2016), todo esto teniendo en cuenta que en la distribución de la cadena de valor hay una desproporcionada distribución del valor, donde los minoristas capturan cerca del 40% del valor del precio final por kilogramo, además de controlar relaciones contractuales pueden abastecerse directamente asegurando sus volúmenes, el otro 40% del precio final de venta es captado por el transporte, importadores y proceso de maduración y sólo el 20% es captado por los productores. (Afruibana, 2021; Bananalink, 2017; BASIC, 2015)

6.3.8. Iniciativas del gobierno de los países productores

Es fundamental que los gobiernos, tanto a nivel central como local, implementen alternativas y mecanismos para apoyar a los productores de banano en la adopción de prácticas sostenibles y la protección de precios justos. Entre los principales desafíos se encuentra la necesidad de promover la transferencia de tecnología y el desarrollo de capacidades, un proceso que requiere un alto nivel de compromiso y la participación activa del sector público mediante inversiones en investigación y la difusión de conocimiento hacia los productores (Castro et al., 2015).

Adicionalmente, los gobiernos podrían considerar políticas orientadas a facilitar la transición de los productores hacia el cumplimiento de Normas Voluntarias de Sostenibilidad (NVS) como Rainforest Alliance, Fairtrade, Global G.A.P., y SA8000. Estas normativas, una vez implementadas, podrían ir acompañadas de incentivos financieros, tales como reducciones fiscales, acceso a líneas de crédito preferenciales, y seguros que respalden las operaciones agrícolas (Voora et al., 2023).

6.4. Vigilancia tecnológica aplicada al sector bananero

6.4.1. Revisión académica

El objetivo de esta revisión consiste en integrar el análisis de estudios, publicaciones y hallazgos científicos relacionados con el cultivo del banano, prácticas agrícolas sostenibles, y avances en biotecnología aplicada al sector, a fin de identificar tendencias y avances relevantes en el ámbito académico que podrían impactar la producción de banano, así mismo identificar las tendencias en la agricultura utilizando técnicas de inteligencia artificial que a su vez permitan la identificación de la salud de la planta que comprendan , enfermedades, defectos, madurez, lesiones por frío y humedad. Para esta revisión, se utilizará la metodología PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Yepes-Nuñez et al., 2021), siguiendo las etapas de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión, se utilizará la base de datos Scopus®, Web of Science®, entre otras, y mediante la definición de ecuaciones de búsqueda cuyo resultado será posteriormente analizado con el software Bibliometrix® 4.0 con el fin de facilitar el análisis de la literatura asociada. Se definen dos estrategias de trabajo, como se describen a continuación:

- Se abordará el estudio enfocado en un grupo de países que se caracterizan por estar entre los principales productores de banano a nivel mundial que no son exportadores y su producción es netamente para satisfacer el consumo interno donde destacan India, China, Brasil e Indonesia (Voora et al., 2023) donde respectivamente tienen una participación del mercado de producción de banano global con 29.19%, 9.65%, 6.82% que para la India representa una producción de 35.2 millones de toneladas (Singh et al., 2022). También se identificaron otros grandes productores de África y Asia como lo son Nigeria, Malasia e Indonesia con una producción anual de 8 millones de toneladas, 329 mil toneladas y 9.2 millones de toneladas respectivamente (FAOSTAT, 2022), y se incluyeron países como Estados Unidos, Francia, Reino Unido por destacar como destinos de exportación y consumo de banano.

- Se abordará el estudio enfocado en el grupo conformado por algunos de los principales países exportadores de banano a nivel mundial, a mencionar: Colombia, Filipinas, Ecuador, México, Perú, Costa Rica, Honduras, Republica Dominicana.

En ambas estrategias de búsqueda fueron definidos los siguientes criterios para la selección y priorización de publicaciones científicas:

- Publicados entre 2014 y 2023.
- Idioma de publicación inglés y español.
- Tratarse de artículos más no de revisiones o capítulos de libro.
- Que incluyan nuevas técnicas, métodos aplicados al cultivo del banano
- Que incluyan hallazgos científicos relacionados con el cultivo del banano, prácticas agrícolas sostenibles, y avances en biotecnología.
- Que incluyan casos de éxito en modificaciones genéticas, prácticas agrícolas sostenibles
- Desarrollos de variedad resistentes a enfermedades.
- Que se estudie las ventajas de la IA en aplicaciones derivadas para el sector agrícola.

A su vez, fue importante definir unos criterios de exclusión en la búsqueda, que son:

- Publicaciones en idioma diferente al inglés o español.
- Banano orgánico.
- Artículos que no tengan Open Access.
- Elaboración de alimentos a partir de aplicaciones de banano.
- Técnicas para el secado del banano y aplicaciones alimenticias.
- Estudios que indiquen el impacto en salud humana por el uso de pesticidas, herbicidas y otros.
- Beneficios para la salud como diabetes, enfermedades cardiovascular, osteoporosis, entre otras que tiene los residuos del banano.
- Artículos que traten del *Fusarium F. S.P* cuya fecha de publicación sea inferior al año 2018.

Es importante aclarar que en bases de datos y ecuaciones de búsqueda fueron empleados los mismos filtros, la **Tabla 7** en este estudio se obtuvieron para la base de datos Scopus 1471 resultados y para Web of Science 99 resultados, entre los cuales se incluyen artículos y artículos de revisión.

Tabla 7
Ecuaciones de búsqueda y criterios

Fuente de información	Palabras clave	Ecuación de búsqueda	Resultados
Scopus		((TITLE-ABS-KEY (banano OR "Musa spp." OR "banana") AND ALL ("technological innovation" OR "Emerging technology" OR "smart agriculture" OR "precision agriculture" OR "automation" OR "artificial intelligence" OR "AI" OR "sustainability" OR "genetic engineering" OR " disease resistance" AND ("agriculture" OR "farming" OR " farming" OR "plantation"))) AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2024 AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "India") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "China") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "United States") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Malaysia") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Brazil") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Indonesia") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "France") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Uganda") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "United Kingdom") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Australia") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Nigeria")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))	1471
Web Of Science		TS=(banano OR "Musa spp." OR banana)	99

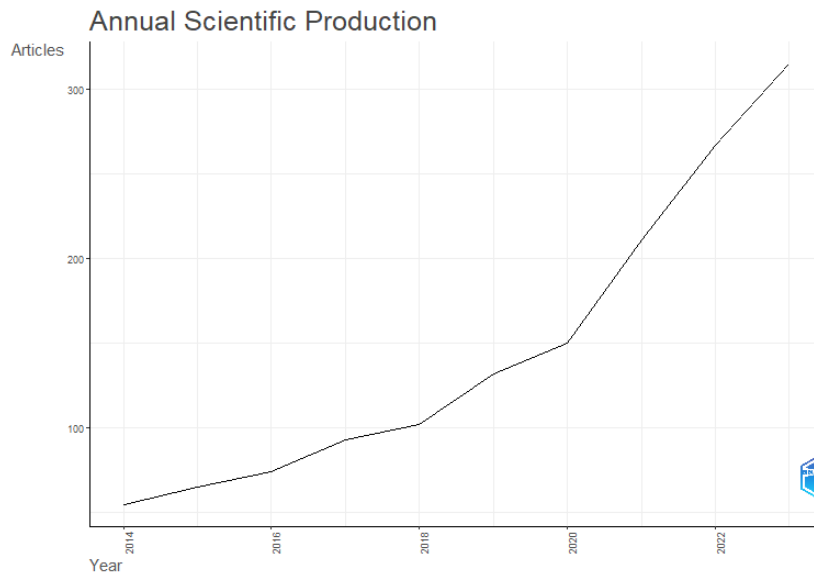
		AND TS=("technological innovation" OR "emerging technology" OR "smart agriculture" OR "precision agriculture" OR automation OR "artificial intelligence" OR AI OR sustainability OR "genetic engineering" OR "disease resistance") AND TS=(agriculture OR farming OR plantation)	
--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos de la búsqueda antes de proceder con la selección de artículos que fueron descargados de ambas bases de datos en formato Excel, se llevó a cabo un proceso de depuración y eliminación de documentos duplicados con el software RStudio, lo que permitió eliminar un total de 43 registros duplicados, con estos resultados, se procedió a realizar un análisis bibliométrico utilizando la herramienta Bibliometrix a fin de encontrar las principales métricas que permiten entender dicha estructura del conocimiento, en especial a fin de revisar las comportamientos de la producción científica durante el periodo de tiempo establecido, autores destacados y fuentes de publicación, como se muestra a continuación con las siguientes métricas.

La producción científica asociada con las principales tendencias y avances tecnológicos, métodos, maquinaria y tendencias que se están aplicando a nivel internacional para el cultivo del banano muestra un alto interés con un total, donde en la (**Figura 12**) se evidencia un crecimiento fuerte en el periodo 2014 a 2018, a partir del año 2019 se muestra de manera exponencial la producción científica asociada a esta temática.

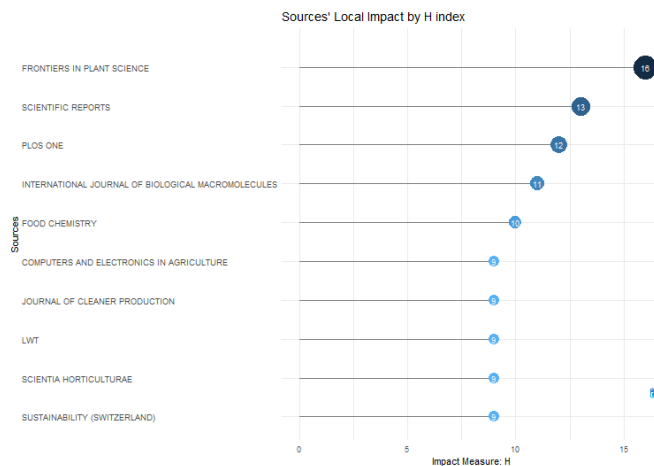
Figura 12
Producción científica (2014-2023)



Nota: elaboración propia con el software Bibliometrix

Entre las principales revistas que publican documentos relacionadas con la temática de búsqueda se encuentran *Frontiers in Plant Science*, *Scientific Reports*, *Plos One*, *International Journal of Biological Macromolecules*, *Food Chemistry* y *Sustainability (Suiza)* como se muestra en la (Figura 13).

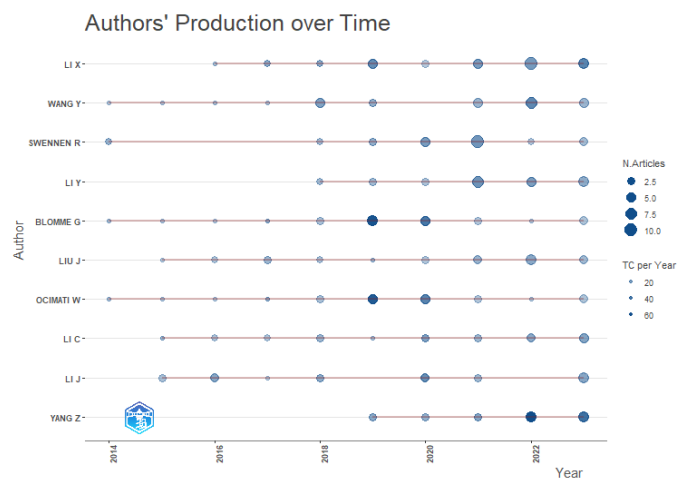
Figura 13
Impacto Local de las fuentes



Nota: elaboración propia con el software Bibliometrix

Así mismo, entre los principales autores destacan Li X con más de 34 artículos, seguido de Wang Y con 30 publicaciones y, finalmente Swennen con 28 artículos, ver **(Figura 14)**. Estos autores con sus investigaciones destacan como principales áreas de interés el estudio de enfermedades del banano particularmente *Foc TR4*, técnicas de detección de enfermedades con procesamiento de imágenes hiperespectrales y métodos para la preservación y calidad del banano postcosecha.

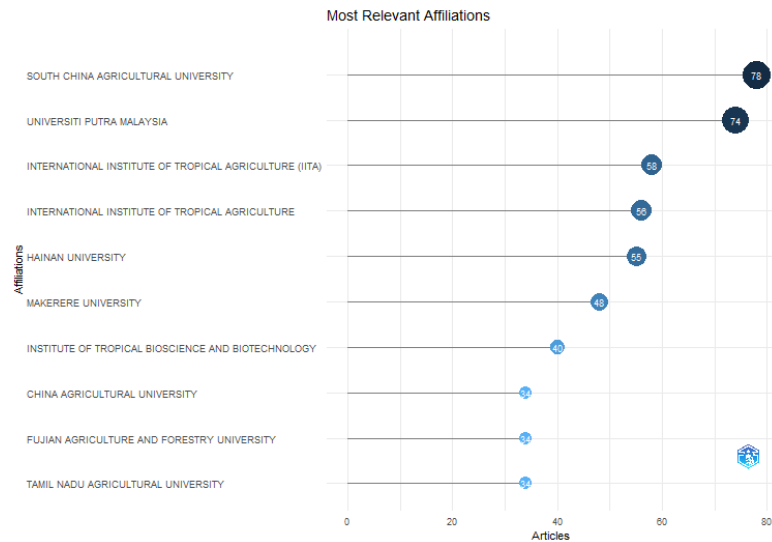
Figura 14
Producción de autores por el tiempo



Nota: elaboración propia con el software Bibliometrix

Los investigadores se encuentran principalmente en universidades de la República Popular China, donde destacan: South China Agricultural University, Universiti Putra Malaysia, International Institute Of Tropical Agriculture (Iita), Hainan University. Identificando como universidades de China y Malasia lideran estos temas de investigación sin dejar de lado al IITA como organización para la investigación y desarrollo para la solución de problemas de hambre, pobreza y degradación de recursos naturales del África, como se muestra en la **(Figura 15)**.

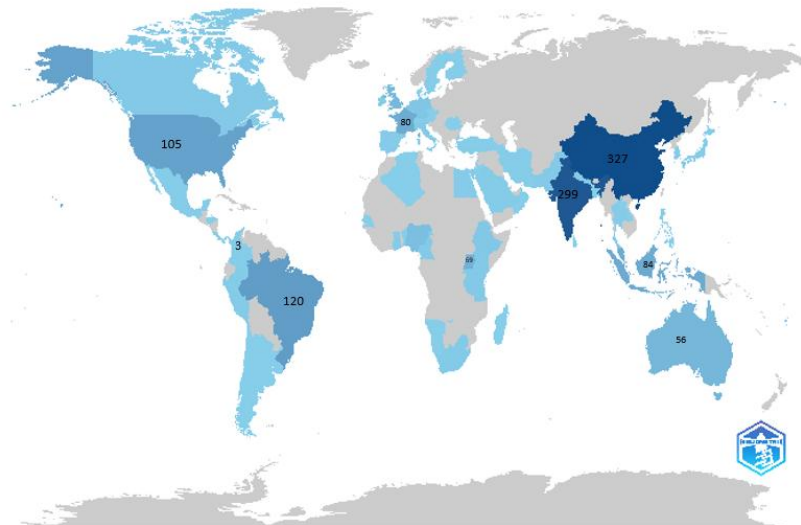
Figura 15
Afiliaciones más relevantes



Nota: elaboración propia con el software Bibliometrix

Es importante mencionar que los países que vinculan mayor número de investigadores en este tema son: República Popular China, India, Brasil, Estados Unidos, Indonesia y Uganda, como se muestra en la (**Figura 16**).

Figura 16
Países más relevantes



Nota: elaboración propia con el software Bibliometrix

Vale aclarar que este estudio presenta limitaciones relacionadas con la heterogeneidad en los diseños de los estudios incluidos y posibles sesgos de publicación derivados de la selección de artículos en inglés y español. Además, la ausencia de metaanálisis puede limitar la generalización de algunos hallazgos. Debido a la heterogeneidad de los estudios incluidos (en términos de diseño, población y resultados), no se realizó un metaanálisis formal. Sin embargo, se utilizaron análisis narrativos y temáticos para sintetizar los hallazgos clave.

6.4.2. *Revisión Tecnológica Patentes*

El análisis de patentes tiene como objetivo examinar las tecnologías actuales tanto a nivel nacional como internacional, con el fin de identificar tecnologías emergentes clave y los principales factores de cambio en el entorno tecnológico. Para este fin se realizó la búsqueda en la base de datos de LENS, a fin de identificar las tendencias en los siguientes temas:

- Mejora genética
- Control de plagas y enfermedades
- Técnicas de cultivo
- Procesamiento poscosecha

A continuación, en la **Tabla 8** se muestra la ecuación de búsqueda empleada:

Tabla 8

Ecuaciones de búsqueda para patentes en LENS

Ecuación de búsqueda	Resultados
(("banana Cavendish" OR "Musa acuminata" OR "Cavendish banana") AND ("genetic improvement" OR "genetic modification" OR "genetic engineering" OR "genetic resistance" OR "genome editing" OR CRISPR) OR ("pest control" OR "disease resistance" OR "Fusarium wilt" OR "TR4" OR "Panama disease" OR "Black Sigatoka" OR "pesticide" OR "biocontrol") OR ("cultivation techniques" OR "agricultural practices" OR "irrigation" OR "fertilization" OR "soil management" OR "sustainable farming") OR ("post-harvest processing" OR "post-harvest treatment" OR "storage" OR "ripening" OR "packaging" OR "shelf life" OR "preservation"))	1429

Nota: Elaboración propia. Consulta realizada LENS el 05/02/2025

De los resultados arrojados por la ecuación de búsqueda se incluyen todas las situaciones jurídicas posibles de las patentes, desde patentes activas, pendientes, expiradas, discontinuadas (retiradas o rechazadas). Para objeto de esta vigilancia tecnológica, serán incluidas únicamente las patentes activas, inactivas y expiradas como se muestra en la **Tabla 9**.

Tabla 9

Selección de patentes según situación jurídica

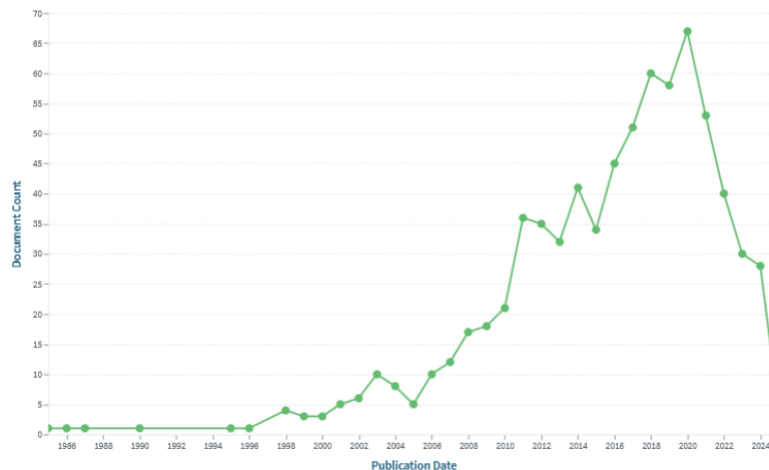
Situación jurídica patentes	Resultados
Activas	524
Inactivas	112
Expiradas	106
Cantidad patentes	742

Nota: Elaboración propia. Consulta realizada el 05/02/2025

Como se muestra en la (Figura 17) la dinámica de publicación muestra una tendencia en crecimiento desde el año 1998 hasta el 2004, a partir de ese año se experimentó un leve decrecimiento que luego presentó una tendencia de crecimiento exponencial en el número de patentes hasta el año 2012, con una caída significativa pero que logró un comportamiento en crecimiento hasta el año 2020 y posterior tendencia a la baja.

Figura 17

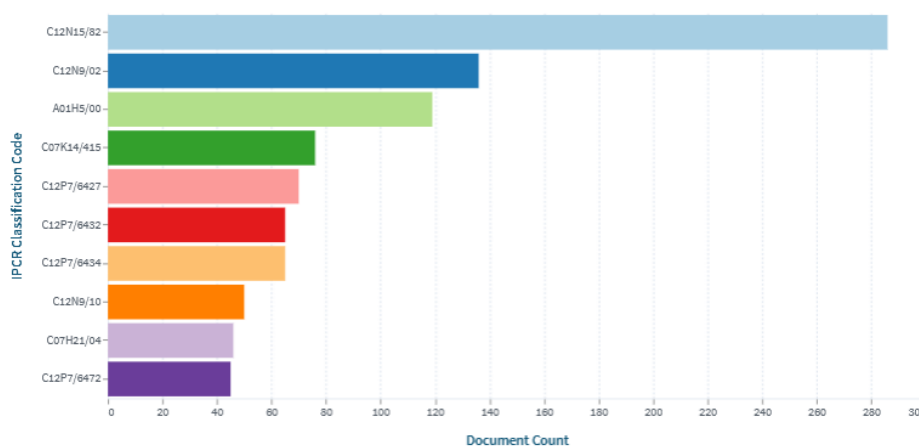
Número de patentes por año



Nota: Resultados base de datos de patentes LENS (2025), Consulta realizada el 05/02/2025

A nivel global, la mayoría de las patentes están relacionadas con la biotecnología e ingeniería genética en plantas-vectores o sistemas de expresión adaptados para plantas (C12N15/82), seguidas de biotecnología de enzimas y preparación (C12N9/02), botánica aplicada y la mejora de las partes de las plantas (A01H5/00), (C07K14/415) péptidos o proteínas de origen vegetal que incluyen desde la modificación de péptidos y proteínas, aplicaciones biotecnológicas (mejora de cultivos, resistencia a enfermedades) o la modificación de péptidos y proteínas, (C12P7/6427) específico de la producción de polisacáridos (fermentación o uso de enzimas) aplicación para biomateriales, la cantidad de patentes por código IPC se muestra en la **(Figura 18)**.

Figura 18
Códigos IPC y cantidad de patentes



Nota: Resultados base de datos de patentes LENS (2025). Consulta realizada el 05/02/2025

A continuación, la **Tabla 10** muestra el tipo de patentes asociadas a la tecnología según el código IPC

Tabla 10
Patentes según tecnología código IPC

Código IPC	Tecnologías	Tipo de patentes
C12N15/82	Biotecnología e ingeniería genética en plantas-vectores o sistemas de expresión adaptados para plantas	<ul style="list-style-type: none"> -Identificación de genes de resistencia de parientes silvestres del banano y su uso en el control del mal de Panamá. -Composiciones y métodos que confieren resistencia a enfermedades fúngicas. -Genes de resistencia del banano y sus usos. -Banano transgénico resistente a enfermedades. -Proteínas Mads Box y mejora de las características agronómicas de las plantas -Resistencia de las plantas al vCogollo racimoso del banano
C12N9/02	Biotecnología de enzimas y preparación	<ul style="list-style-type: none"> - ADN relacionado con la maduración del banano. -Microorganismos para la producción de feromonas de insectos y compuestos relacionados. -Hidroxifenilpiruvato dioxigenasas resistentes a herbicidas.
A01H5/00	Botánica aplicada y la mejora de las partes de las plantas	<ul style="list-style-type: none"> -Tratamiento de plantas de banano y papa con una nueva composición antifúngica. -Método para la producción de plantas de banano con tolerancia a Foc TR4.

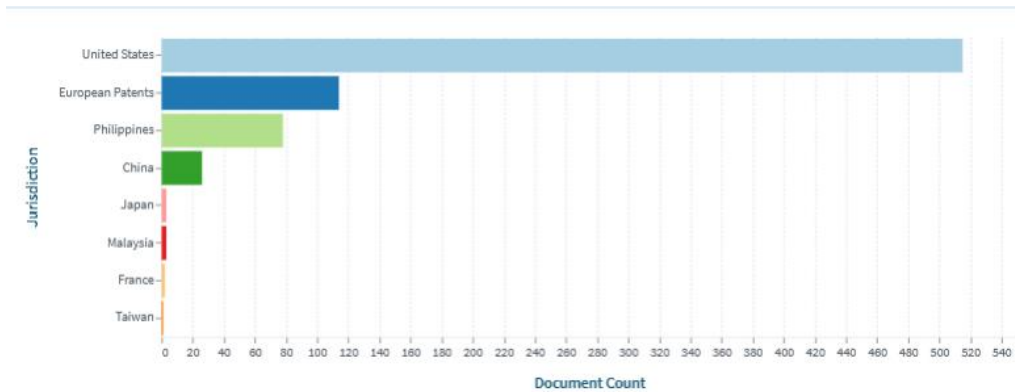
		<p>-Plantas con características mejoradas relacionadas con el rendimiento y/o mayor resistencia al estrés abiótico, y un método para obtenerlas.</p> <p>-Método de verificación de la función del gen del factor de transcripción de tolerancia al frío de la fruta del banano</p>
C07K14/415	<p>Péptidos o proteínas de origen vegetal que incluyen desde la modificación de péptidos y proteínas, aplicaciones biotecnológicas (mejora de cultivos, resistencia a enfermedades) o la modificación de péptidos y proteínas</p>	<p>-Identificación de genes de resistencia de parientes silvestres del banano y su uso en el control del mal de Panamá.</p> <p>-Composiciones y métodos que confieren resistencia a enfermedades fúngicas.</p> <p>-Aplicación del factor de transcripción bZIP del banano en la regulación y control de la formación de la calidad en el proceso de desarrollo del fruto y construcción del vector de expresión del factor de transcripción bZIP del banano.</p> <p>-Plantas transgénicas con mayor tolerancia al aluminio.</p>

Nota: Elaboración propia según resultados base de datos de patentes LENS (2025), Consulta realizada el 05/02/2025

Principales países

Los principales actores en la producción de patentes son Estados Unidos, Unión Europea, Filipinas y China, como se muestra en la **(Figura 19)**.

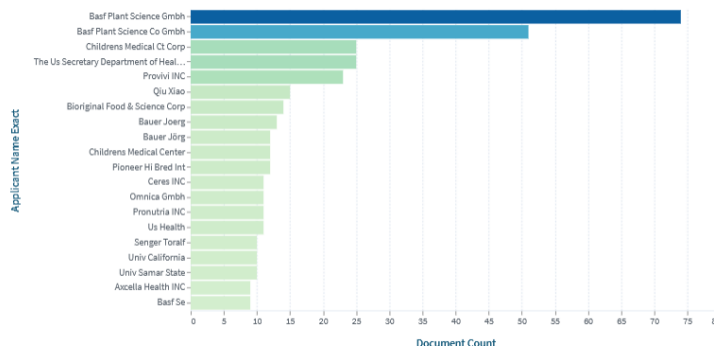
Figura 19
Principales oficinas de registro de patentes



Nota: Resultados base de datos de patentes LENS (2025). Consulta realizada el 05/02/2025

La **(Figura 20)** muestra los principales aplicantes en el registro de patentes, donde se destaca BASF Plant Science empresa líder en actividades de biotecnología vegetal, Provini Inc empresa que aplica tecnologías de vanguardia para una protección de cultivos más segura, asequible y sostenible, seguido de Bioriginal Food & Science Corp.

Figura 20
Principales aplicantes de registro de patentes



Nota: Resultados base de datos de patentes LENS (2025). Consulta realizada el 05/02/2025

6.4.3. *Revisión Tecnológica en Colombia*

Se realizó la consulta en el portal de la Superintendencia de Industria y Comercio, donde se encontraron varias patentes con las siguientes situaciones jurídicas: abandonada (1), caducada (4), bajo examen de fondo (6), concedidas (5). Haciendo énfasis en las patentes concedidas, se encuentran las siguientes como se muestra a continuación en la **Tabla 11**.

Tabla 11
Patentes registradas en Colombia

Número de la patente	Título de la Patente	Solicitante / Titular de la patente	Fecha de Concesión	Clasificación IPC.
08055808	Procedimiento para la producción de jarabe azucarado por degradación de materiales amiláceos y lignocelulósicos de la planta de banano	Universidad Nacional De Colombia, Bogotá, D.C.	26 sept. 2012	C13K 1/00; C12P 19/02
05036295	Cinta elástica de caucho natural para el aprovechamiento optimo del fruto de banano plátano en la planta	Rubber Technologies S.A., Villa Nueva, Guatemala	29 ene. 2010	A23N 15/06; C08L 13/02

NC2017/0002454	Procedimiento de obtención y preparado de fibra de vástago de banano y plátano para elaboración de recipientes biodegradables.	Carlos Alberto Mendoza Barragan, Bogotá, D.C.	10 sept. 2019	B27J 7/00; D01B 1/10
NC2019/0006323	Dispositivo mecánico manual para el corte y desinfección en el proceso de deshije, descoline o desmache en cultivos de plátano y banano	Universidad de Manizales	30 nov. 2020	A01G 7/06; A01G 17/08; A01G 3/00; A01G 3/08
NC2019/0014469	Método para aumentar la vida útil del banano que comprende editar un gen involucrado en la ruta de biosíntesis de etileno	Tropic Biosciences UK Limited, Norwich Research Park, Innovation Centre	30 ene. 2023	C12N 15/82

Nota: Elaboración propia, consulta SIC (2025). Consulta realizada el 05/02/2025

Se hace evidente tanto la participación de Universidades y empresas del sector privado para el registro de patentes, donde se encuentran desde producción de alimentos a bases de la planta de banano, aprovechamiento de residuos de banano para elaboración de empaques, dispositivos y

herramientas tecnológicas manuales que ayudan en los procesos del cultivo como el desmache y los procesos de mejoramiento genético a fin de aumentar la vida útil del banano.

6.5. Análisis de brechas

Con el objetivo de identificar las diferencias entre el estado actual y el estado deseado de Colombia como exportador de banano, se realizó un análisis de brechas comparando los resultados actuales del país con los del líder en la industria. Para ello, se tomaron como referencia únicamente aquellos países que destacan a nivel mundial como exportadores de banano.

La evaluación se llevó a cabo utilizando una escala de 1 a 10, donde 1 representa la condición menos favorable y 10 la óptima. Las siguientes variables fueron obtenidas a partir de la caracterización del contexto internacional, así como de la revisión tecnológica y académica. A continuación, la **Tabla 12** muestra los valores para cada una de las variables para Colombia y el país líder exportador.

Tabla 12

Brechas asociadas al cultivo y producción de banano

Variable	Colombia	País líder *Solo exportadores
Área Cosechada	105574 ha	185023 ha (Filipinas)
Producción	2554287,17 ton	7198482 ton (Ecuador)
Rendimiento	24194,3 kg/ha	56884,3 kg/ha (Guatemala)
Distancia al principal destino de exportación	8000 km	2000km (Guatemala)
Valor exportaciones *Unidad 1000USD	USD 810754	USD 2677329 (Ecuador)
Número patentes registradas	5	93 (Filipinas)
Producción científica	42	42 (Colombia)

Nota: Elaboración propia tomado de FAO. FAOSTAT Cultivos y productos de ganadería (2025)

Con estos resultados se procedió a hacer la consolidación de brechas como se muestra en la **Tabla 13**, para las que fue asignada una calificación normalizada, donde el país líder obtiene la calificación optima (10) y para el caso de Colombia se califica según esta.

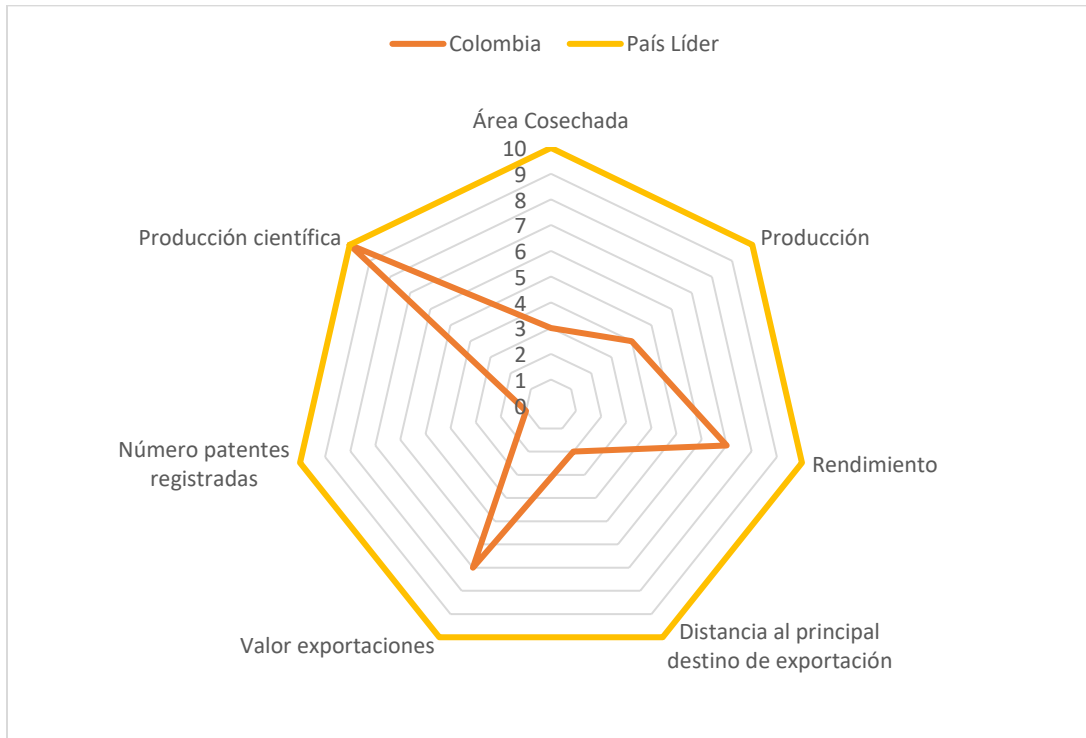
Tabla 13
Consolidación de brechas con calificación normalizada

Variable	Colombia	País líder *Solo exportadores	Calificación normalizada		Brecha
			Colombia	País Líder	
Área Cosechada	105574 ha	185023 ha (Filipinas)	3	10	7
Producción	2554287,17 ton	7198482 ton (Ecuador)	4	10	6
Rendimiento	24194,3 kg/ha	56884,3 kg/ha (Guatemala)	7	10	3
Distancia al principal destino de exportación	8000 km	2000km (Guatemala)	2	10	8
Valor exportaciones *Unidad 1000USD	USD 810754	USD 2677329 (Ecuador)	7	10	3
Número patentes registradas	5	93 (Filipinas)	1	10	9
Producción científica	42 publicaciones *Según ecuación de búsqueda en Scopus	42	10	10	0

Nota: Elaboración propia tomado de FAO. FAOSTAT Cultivos y productos de ganadería (2025).

La representación gráfica de esta calificación normalizada de brechas se presenta en la (Figura 21) en forma de radar.

Figura 21
Brechas asociadas al cultivo y producción de banano respecto al líder mundial exportador



Nota: Elaboración propia.

En cuanto al área cosechada Colombia tiene una superficie significativamente menor que Filipinas, lo que sugiere que Filipinas supera a Colombia en cerca de un 75%, los valores de área cosechada según consulta en Food and Agriculture Organization of the United Nations (2025). Es importante mencionar que Filipinas se ha destacado a lo largo de los años como uno de los principales exportadores y productores a nivel mundial (DOA, 2022).

Ecuador que se destaca por ser el mayor exportador a nivel mundial de banano, además de ser el quinto producto a nivel mundial teniendo en cuenta países no exportadores (FAO, 2023b), en comparativa, Ecuador produce aproximadamente 2,8 veces más banano que Colombia, esto se

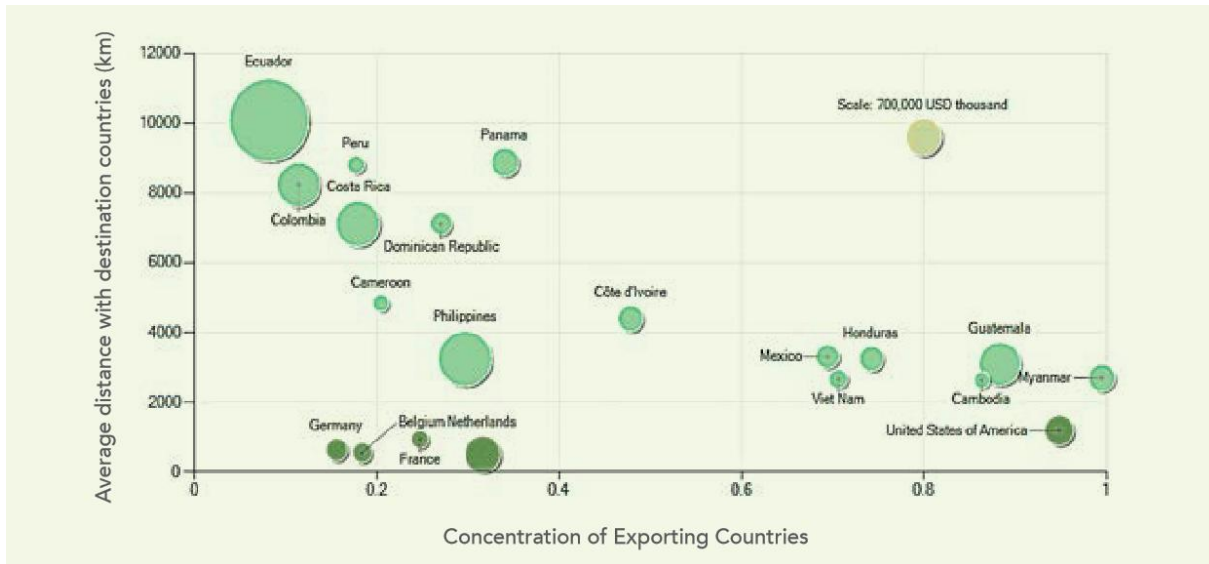
refleja en que Ecuador tiene un área cosechada superior a Colombia, y también Ecuador ha aprovechado el crecimiento positivo del mercado europeo.

En cuanto al Rendimiento (kg/ha), sin duda Guatemala es el líder a nivel mundial con unas 56.88 kg/ha, casi que duplicando el rendimiento de Colombia que es de 32,6kg/ha. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2025). El rendimiento del cultivo en Guatemala es notablemente alto debido a una combinación de factores climáticos, manejo agronómico y condiciones topográficas que permiten un crecimiento óptimo de la fruta (Rodas Serrano, 2013)

La variable “Distancia al principal destino de exportación” se puede evidenciar en la **(Figura 22)** que muestra la concentración de los países exportadores y distancia media de los mercados de importación de Banano Cavendish (DOA, 2022). En el caso de Guatemala su principal destino de exportación está a 2000km mientras que para Colombia está a 6000km lo que es unas cuatro veces más lejos.

Figura 22

Distancia al principal destino de exportación



Nota: Tomado de Philippine Banana Industry Roadmap 2021-2025 (DOA, 2022)

Para la variable valor de las exportaciones, Ecuador es el líder con un valor en miles de USD 2677329 mientras que para Colombia en miles de USD 810754, esta diferencia radica en lo siguiente: Ecuador tiene un área superior cosechada en un 57% de banano frente a Colombia (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2025), además es el principal exportador mundial de banano que se debe en parte a su gran capacidad productiva anual, que alcanza los 6.7 millones de toneladas métricas (Vallejo Vera & Morán Murillo, n.d.).

En cuanto al variable de patentes registradas, Filipinas es el país líder con cerca de 93 patentes, en el caso de Colombia son unas 5, donde es evidente una brecha de unas 88 patentes que indica que Filipinas registra unas 18 veces más que Colombia, esto podría reflejar que en Colombia hay un menor apoyo a las actividades de investigación y desarrollo en comparación con Filipinas.

La variable de producción científica se hizo únicamente en comparación con los países líderes en exportación de banano, se destaca que Colombia y Filipinas son los líderes en producción científica, para llegar a este resultado, se hizo la consulta en la base de datos Scopus con la ecuación de búsqueda "TITLE-ABS-KEY ("banana" OR "Musa spp" OR "cavendish"). En el caso de

Colombia sería muy importante aprovechar este capital intelectual para mejorar otros indicadores ejemplo: transferencia tecnológica a sectores productivos e incrementar las capacidades para la generación de patentes.

De las anteriores variables se pueden identificar unas áreas de mejora que podrían potenciar el sector bananero en Colombia, donde cada vez más se fomenten y se fortalezcan los programas de vinculación entre el sector productivo la academia a fin de hacer del proceso de investigación y desarrollo un aliado para la mejora agrícola aprovechando el capital intelectual que tienen tanto el sector privado como el público.

6.6. Variables Identificadas del proceso de vigilancia tecnológica

Luego de realizar la vigilancia tecnológica que incluyó la revisión académica y tecnológica se definieron las siguientes líneas de clasificación, que incluyen nuevas tendencias, avances en biotecnología, agricultura de precisión, mejora genética, integración de tecnologías emergentes (IA, IoT, robótica), entre otras, que serán claves para evaluar su pertinencia en la incorporación en el contexto local de la producción bananera, la clasificación se muestra en la **Tabla 14**.

Tabla 14
Categorías de clasificación

Categorías	Descripción
Integración de tecnologías Emergentes (IA, IoT, robótica)	Comprende el uso de algoritmos avanzados, redes neuronales y técnica de procesamiento de datos para automatizar tareas, analizar información y tomar decisiones en el todo el proceso productivo del banano.
Sostenibilidad y control biológico de plagas y enfermedades	Comprende el desarrollo, aplicación de prácticas y tecnologías que buscan promover y lograr la sostenibilidad ambiental, a fin de reducir el uso de químicos usados para el fomentar el control natural de plagas y enfermedades.
Mejora genética	Incluye la aplicación de técnicas biotecnológicas y genéticas para desarrollar variedades de banano más resistentes a enfermedades, condiciones climáticas adversas y con mayor calidad.
Tecnologías para el cultivo, poscosecha	Comprende las innovaciones en tratamientos y procesos aplicados a lo largo de las diferentes etapas de producción del banano después de la cosecha para prolongar la vida útil del banano, mantener su calidad y reducir pérdidas.
Agricultura de precisión	Comprende la implementación de tecnologías como sensores, drones, robótica y sistemas de información geográfica (SIG) para optimizar el uso de recursos y mejorar la productividad en el cultivo de banano. Sistemas que optimicen el uso de agua, recursos y respondan a la disminución de costos y disminución del impacto ambiental.

Nota: elaboración propia proceso de vigilancia tecnológica

Una vez elaborado el cuestionario y llevada a colación la estrategia para vincular a los expertos académicos nacionales e internacionales en este ejercicio de revisión, evaluación y validación de las variables identificadas, se procedió a enviar una invitación personalizada a cada experto por medio de correo electrónico. En dicha invitación se solicitaba su participación y el diligenciamiento del cuestionario, se contó con la participación de 22 expertos nacionales e internacionales, donde a continuación, se detalla el perfil de los expertos:

6.6.1. Perfil de los Expertos

De los 22 expertos que participaron en este estudio son de los siguientes países: Colombia, Ecuador, España, Perú, México, Filipinas, Costa Rica, India y Venezuela. Los expertos están vinculados a entidades de carácter privado, corporaciones de investigación del orden público y privado, grupos de investigación de universidades, de las cuales se destacan las siguientes afiliaciones: Agrosavia, Universidad Nacional de Colombia, Universidad de Costa Rica, Universidad de Costa Rica, De la Salle University, Centro de Investigaciones Biológicas del Norte, Bannari Amman Institute of Technology, Alliance of Bioersity International and CIAT, Tecnológico Nacional de México, Universidad de El Salvador, Universidad de Cordoba, entre otras. Con estudios acerca de las principales enfermedades del banano, desarrollo de herramientas tecnológicas basadas en sensores para el control poscosecha, sistemas de clasificación por imágenes para la detección de enfermedades, IA para detectar el estado de madurez de la fruta, tratamientos para el control biológico como alternativa al uso de fertilizantes químicos, desarrollo de bioestimulantes, robots para el cultivo, entre otras.

Tras responder las preguntas de afiliación e institución, los expertos accedían al cuestionario, el cual estaba estructurado en dos bloques. El primer bloque, como se muestra en la **Tabla 15** contenía cinco preguntas en las que, por cada categoría, se pedía al experto calificar su importancia actual e importancia futura.

Tabla 15
Categorías, tendencias

Categoría	Tendencias
Integración de tecnologías Emergentes (IA, IoT, robótica)	Uso de redes neuronales convolucionales (CNN) para análisis de imágenes.
	Desarrollo de aplicaciones móviles con IA para monitoreo agrícola.
	Automatización de procesos con algoritmos como YOLO y Fuzzy Logic
	Uso de Deep Learning para análisis avanzado de imágenes.
	Integración de IA con IoT para agricultura inteligente
	Control biológico de plagas y enfermedades

Sostenibilidad y control biológico de plagas y enfermedades	Desarrollo de bioestimulantes y fertilizantes ecológicos.
	Reducción del uso de fungicidas químicos.
	Aprovechamiento de residuos orgánicos.
	Desarrollo de agentes biológicos para el control de enfermedades.
Mejora genética	Resistencia a enfermedades y condiciones climáticas adversas.
	Desarrollo de cultivos más resistentes y de mayor calidad.
	Uso de biotecnología para la mejora genética.
	Mejora de la calidad y vida útil del banano.
	Desarrollo de cultivos resistentes al cambio climático.
Tecnologías para el cultivo, poscosecha	Prolongación de la vida útil del banano
	Innovación en cadena de frío y transporte.
	Reducción del uso de fungicidas químicos.
	Desarrollo de tratamientos poscosecha sostenibles.
	Innovación en empaques y almacenamiento.
Agricultura de precisión	Monitoreo en tiempo real con sensores IoT y drones.
	Uso de sistemas de información geográfica (SIG) para optimización.
	Robótica para automatización de tareas agrícolas.
	Uso de vehículos aéreos no tripulados (drones) para monitoreo.
	Integración de sensores avanzados para agricultura inteligente.

Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

El bloque 2 del cuestionario consistió en la evaluación y calificación de los temas relevantes para cada tendencia dentro de cada categoría con un total de cinco (5) preguntas, utilizando una escala de Likert de cero (0) a cuatro (4) para determinar su probabilidad de ocurrencia en el año 2040, como se muestra en la **Tabla 16**.

Tabla 16*Categorías, tendencias, temas relevantes posibles variables*

VARIABLES TECNOLÓGICAS		
Categoría	Tendencias	Temas Relevantes
Integración de tecnologías Emergentes (IA, IoT, robótica)	Uso de redes neuronales convolucionales (CNN) para análisis de imágenes.	Detección de madurez de la fruta con imágenes hiperespectrales y RGB.
		Clasificación de racimos y detección de enfermedades (Foc TR4, Sigatoka negra).
		Predicción de cambios climáticos y gestión nutricional.
		Análisis de suelos y raíces
		Detección de deficiencias nutricionales mediante VGGNet19 y XceptionNet.
Integración de tecnologías Emergentes (IA, IoT, robótica)	Desarrollo de aplicaciones móviles con IA para monitoreo agrícola.	Aplicaciones para identificar deficiencias de nutrientes y detectar enfermedades.
		Monitoreo de plagas e infecciones en tiempo real.
		Identificación de suelos aptos para cultivo
		Clasificación eficiente de banano poscosecha
Integración de tecnologías Emergentes (IA, IoT, robótica)	Automatización de procesos con algoritmos como YOLO y Fuzzy Logic.	Detección de temprana de enfermedades fúngicas y clasificación de imágenes
		Clasificación automática de imágenes para identificar malezas y calidad del banano.
		Detección de artrópodos con sensores hiperespectrales.
Integración de tecnologías Emergentes (IA, IoT, robótica)	Uso de deep learning para análisis avanzado de imágenes.	Detección de enfermedades con imágenes hiperespectrales
		Clasificación de banano poscosecha con redes de transferencia.
		Análisis de hojas para detectar deficiencias nutricionales
		Detección de madurez y tamaño de la fruta

		Clasificación de los racimos poscosecha
Integración de tecnologías Emergentes (IA, IoT, robótica)	Integración de IA con IoT para agricultura inteligente	Monitoreo de variables climáticas y del suelo.
		Predicción de necesidades de agua y nutrientes
		Alertas tempranas para condiciones fuera de rangos óptimos
		Automatización de sistemas de riego y fertilización
		Optimización de la productividad mediante análisis de datos en tiempo real
Sostenibilidad y control biológico de plagas y enfermedades	Control biológico de plagas y enfermedades	Uso de agentes biológicos como <i>Trichoderma</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , y hongos filoplánicos.
		Desarrollo de fungicidas naturales (RNAi, extractos de plantas)
		Desarrollo de biocontroladores para enfermedades poscosecha
		Uso de <i>Achromobacter xylosoxidans</i> para control de manchas foliares.
		Desarrollo de biocontroladores para manejo de enfermedades como la Sigatoka negra y Foc TR4.
Sostenibilidad y control biológico de plagas y enfermedades	Desarrollo de bioestimulantes y fertilizantes ecológicos.	Uso de residuos orgánicos (biochar, lodos de depuradora) para mejorar el crecimiento y resistencia de las plantas.
		Aprovechamiento de pseudotallo como absorbente ecológico.
		Desarrollo de bioestimulantes derivados de <i>Trichoderma</i> y micorrizas.
		Uso de compuestos de silicato para mejorar resistencia a patógenos.
		Desarrollo de fertilizantes bioecológicos a partir de desechos orgánicos.
Sostenibilidad y control biológico	Reducción del uso de fungicidas químicos.	Tratamientos poscosecha con agua caliente, plasma frío, y extractos naturales.

de plagas y enfermedades		Uso de microcápsulas de citral y ácido salicílico para controlar enfermedades.
		Tratamientos con agua oxidante electrolizada.
		Uso de sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) para prolongar la vida útil.
		Desarrollo de fungicidas naturales basados en RNAi.
Sostenibilidad y control biológico de plagas y enfermedades	Aprovechamiento de residuos orgánicos.	Uso de pseudotallo como absorbente ecológico.
		Desarrollo de bioestimulantes a partir de residuos de banano.
		Uso de lixiviados del pseudotallo como fungicida.
		Aprovechamiento de cáscaras de cacao y tallos de banano para biochar.
		Desarrollo de fertilizantes a partir de lodos de depuradora.
Sostenibilidad y control biológico de plagas y enfermedades	Desarrollo de agentes biológicos para el control de enfermedades.	Uso de <i>Piriformospora indica</i> y <i>Streptomyces morookaensis</i> para control de manchas foliares.
		Desarrollo de hongos filoplánicos para control de Foc TR4.
		Uso de <i>Trichoderma ghanense</i> para aclimatación de plantas.
		Desarrollo de biofungicidas con esporas de <i>Bacillus subtilis</i> .
		Uso de extractos naturales cítricos para control de pudrición poscosecha.
Mejora genética	Resistencia a enfermedades y condiciones climáticas adversas.	Mejora de resistencia a Foc TR4, Sigatoka negra, sequía, y estrés salino.
		Uso de especies silvestres resistentes y biomarcadores.
		Desarrollo de cultivos resistentes al frío mediante ubiquitinación.
		Mejora de la tolerancia al estrés abiótico.
		Uso de RGA2 como factor clave en la resistencia a enfermedades.

Mejora genética	Desarrollo de cultivos más resistentes y de mayor calidad.	Mejora de la calidad, esterilidad, y tolerancia al estrés abiótico.
		Resistencia al frío mediante técnicas de ubiquitinación.
		Desarrollo de bananos con mayor vida útil.
		Mejora de la resistencia a la sequía y altas temperaturas.
		Desarrollo de bananos con mayor contenido de nutrientes.
Mejora genética	Uso de biotecnología para la mejora genética.	Aplicación de RNAi y ADN extracelular (eDNA) para aumentar la resistencia a enfermedades.
		Desarrollo de biomarcadores para la supresión de enfermedades.
		Uso de técnicas de edición genética para mejorar la resistencia a enfermedades.
		Desarrollo de bananos con mayor resistencia a plagas.
		Uso de especies silvestres para mejorar la resistencia genética.
Mejora genética	Mejora de la calidad y vida útil del banano.	Desarrollo de bananos con mayor resistencia a enfermedades poscosecha.
		Mejora de la calidad del banano para exportación.
		Desarrollo de bananos con mayor tolerancia al transporte.
		Mejora de la resistencia a enfermedades fúngicas.
		Desarrollo de bananos con mayor contenido de nutrientes.
Mejora genética	Desarrollo de cultivos resistentes al cambio climático.	Mejora de la resistencia a sequía, salinidad, y altas temperaturas.
		Desarrollo de bananos con mayor tolerancia al estrés abiótico.
		Uso de técnicas genéticas para mejorar la resistencia al frío.
		Desarrollo de bananos con mayor resistencia a inundaciones.
		Mejora de la resistencia a enfermedades causadas por cambios climáticos.

Tecnologías para el cultivo, poscosecha	Prolongación de la vida útil del banano	Tratamientos con agua caliente, plasma frío, y extractos naturales.
		Uso de microcápsulas de citral y ácido salicílico para controlar pudriciones.
		Tratamientos con agua oxidante electrolizada.
		Uso de sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) para prolongar la vida útil.
		Tratamientos con extractos naturales de coco.
Tecnologías para el cultivo, poscosecha	Innovación en cadena de frío y transporte.	Técnicas como PEF (Pulsed Electric Fields) y tratamiento con ácido araquidónico para mitigar daños por frío.
		Uso de agua hidrogenada para prolongar la vida útil.
		Optimización del transporte con cadena de frío.
		Tratamientos poscosecha con plasma frío.
		Uso de técnicas de enfriamiento rápido para preservar la calidad.
Tecnologías para el cultivo, poscosecha	Reducción del uso de fungicidas químicos.	Tratamientos poscosecha sostenibles que reemplazan fungicidas químicos.
		Uso de extractos naturales y técnicas de oxidación electrolizada.
		Desarrollo de fungicidas naturales basados en RNAi.
		Uso de microcápsulas de citral para controlar enfermedades.
		Tratamientos con extractos acuosos de plantas.
Tecnologías para el cultivo, poscosecha	Desarrollo de tratamientos poscosecha sostenibles.	Uso de agua caliente y plasma frío para controlar enfermedades.
		Tratamientos con extractos naturales de coco y citral.
		Uso de ácido salicílico combinado con chitosán para prolongar la vida útil.
		Tratamientos con agua oxidante electrolizada.

		Uso de sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) para controlar pudriciones.
Tecnologías para el cultivo, poscosecha	Innovación en empaques y almacenamiento.	Uso de empaques biodegradables para prolongar la vida útil.
		Desarrollo de técnicas de almacenamiento con atmósfera controlada.
		Uso de recubrimientos naturales para proteger el banano.
		Optimización de condiciones de almacenamiento para reducir pérdidas.
		Uso de técnicas de encerado para prolongar la vida útil.
Agricultura de precisión	Monitoreo en tiempo real con sensores IoT y drones.	Automatización de sistemas de riego y fertilización.
		Identificación de patrones de productividad y estado de las plantaciones.
		Detección de condiciones climáticas adversas.
		Monitoreo de composición de mezclas gaseosas.
		Análisis químico del suelo (macronutrientes y pH).
Agricultura de precisión	Uso de sistemas de información geográfica (SIG) para optimización.	Optimización del uso de recursos como agua y fertilizantes.
		Análisis de suelos y condiciones climáticas.
		Identificación de suelos predispuestos a enfermedades.
		Planificación de cultivos basada en datos geográficos.
		Monitoreo de la salud de las plantas.
Agricultura de precisión	Robótica para automatización de tareas agrícolas.	Robots para cosecha de racimos, creación de agujeros de cultivo, y corte de capullos.
		Automatización de procesos de fertilización y riego.
		Uso de robots para la detección de malezas.
		Segmentación de coronas para cosecha automatizada.
		Robots para monitoreo de cultivos.

Agricultura de precisión	Uso de vehículos aéreos no tripulados (drones) para monitoreo.	Identificación de patrones que influyen en la productividad.
		Monitoreo del estado de las plantaciones.
		Detección temprana de enfermedades y plagas.
		Análisis de suelos y condiciones climáticas.
		Optimización de la distribución de recursos.
Agricultura de precisión	Integración de sensores avanzados para agricultura inteligente.	Sensores hiperspectrales para detección de artrópodos.
		Sensores de compuestos orgánicos volátiles (VOC) para detección de madurez.
		Sensores de pH y macronutrientes para análisis del suelo.
		Sensores de clima para alertas tempranas.
		Sensores de humedad y temperatura para optimización del riego.

Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

6.6.2. Análisis de resultados

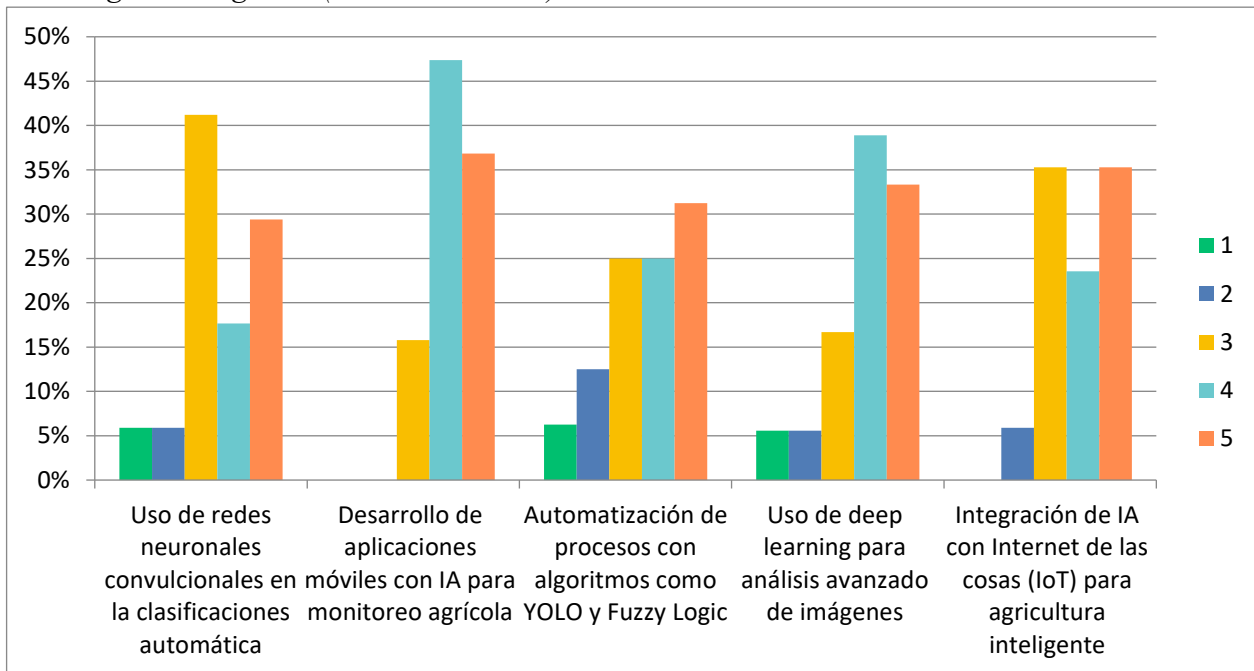
A continuación, se detallan los resultados obtenidos de la aplicación del cuestionario a los diferentes expertos.

6.6.2.1. Resultados Bloque 1

Pregunta 1 solicitaba calificar los temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Integración de tecnologías emergentes (IA, IoT, robótica). En cuanto a la importancia actual los expertos destacan que es el Desarrollo de aplicaciones móviles con IA para el monitoreo agrícola con un 47,37% donde se podría observar como una de las opciones más valoradas en el presente, también es evidente la importancia actual del Uso de Deep Learning para análisis avanzado de imágenes con un 38,89%, destacan la importancia de Integración de IA con Internet de las cosas (IoT) para agricultura inteligente con un 35,29%. como se muestra en (**Figura 23**). Lo anterior refleja el consenso de los expertos en que estas tecnologías ya son percibidas como importantes en el presente.

Figura 23

Importancia actual temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Integración de tecnologías emergentes (IA, IoT, robótica)



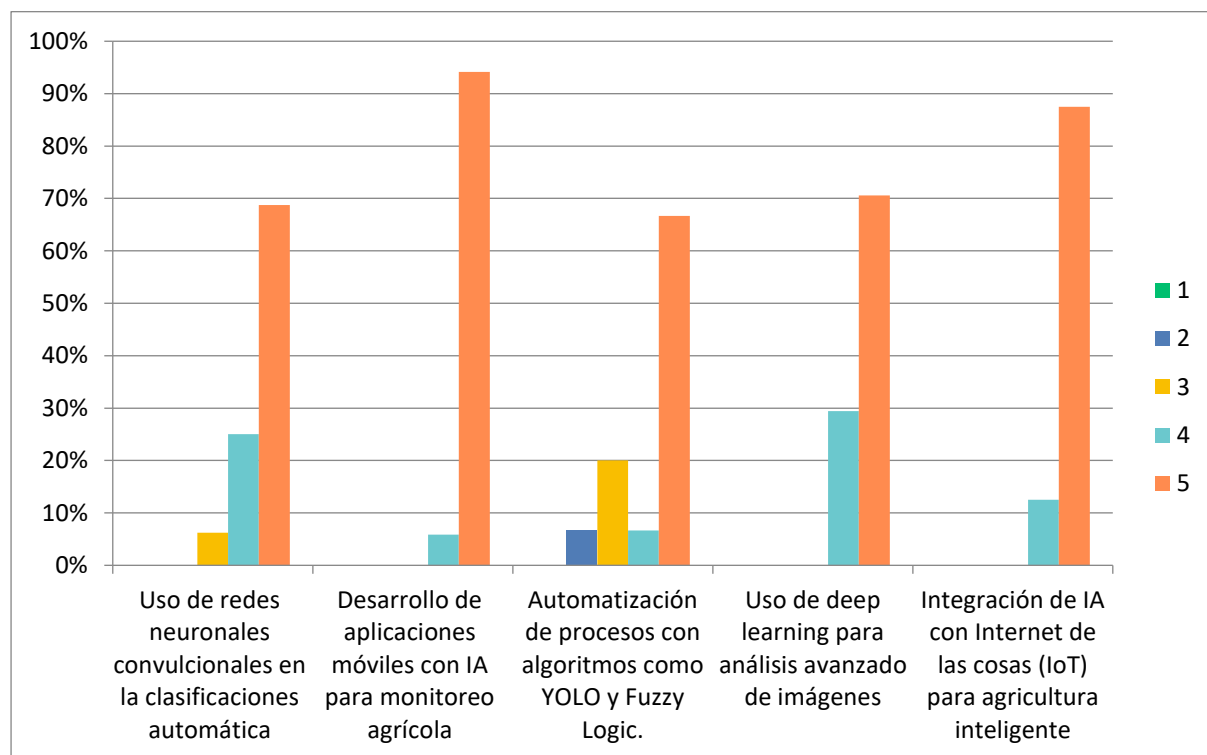
Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

En cuanto a la importancia futura, se destaca con un 94,12% al Desarrollo de Aplicaciones móviles con IA para el monitoreo agrícola convirtiéndola en la temática más valorada para el futuro, seguida de la Integración de IA con Internet de las cosas (IoT) para agricultura inteligente con un 87,5% muestra también muy fuerte y clave para el futuro y un 70,59% al Uso de deep learning para análisis avanzado de imágenes como se muestra en la (Figura 24).

Lo que lleva a identificar que a futuro IA y IoT son los ejes centrales, donde destacan especialmente el desarrollo de aplicaciones móviles con IA, la integración de IA+IoT y el uso de deep learning, todos con más de un 70 %. Esto teniendo en cuenta que a hoy estas tecnologías ya tienen su aceptación y aplicación, lo que permite manifestar que su adopción se intensificará de manera notable en los próximos años, y serán importantes para el desarrollo del sector bananero en Antioquia.

Figura 24

Importancia futura temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Integración de tecnologías emergentes (IA, IoT, robótica)

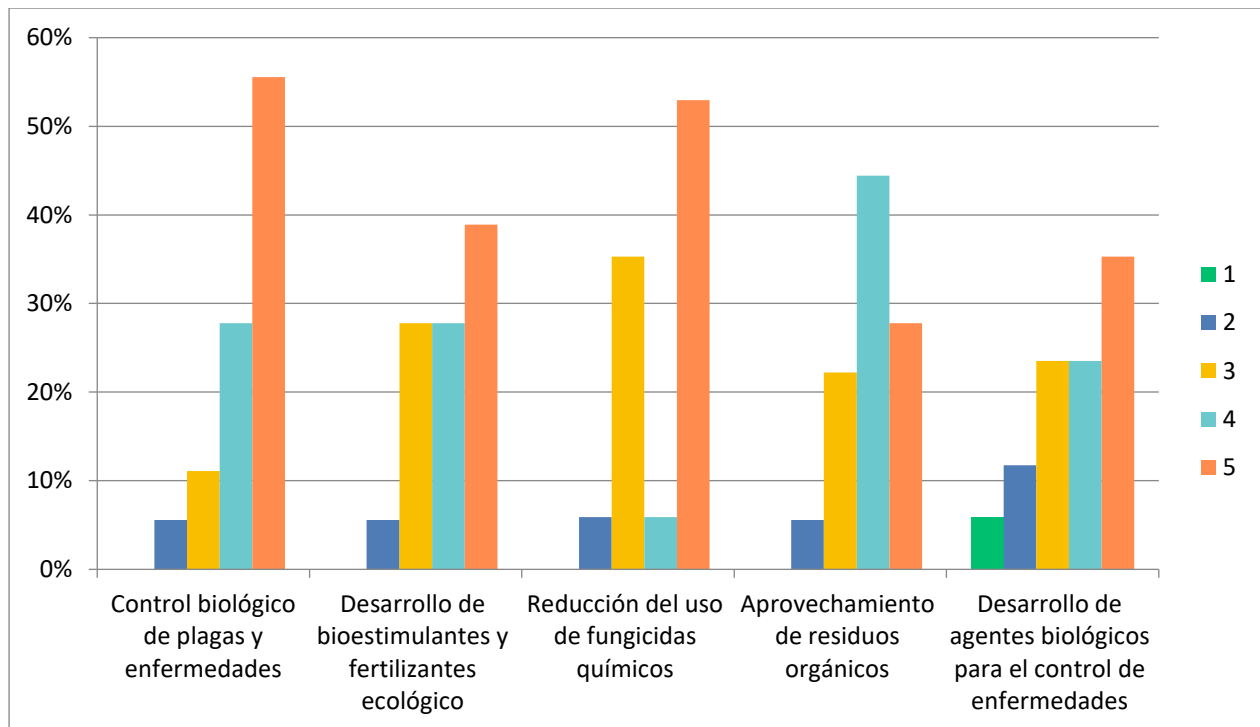


Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

Pregunta 2 solicitaba calificar los temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Sostenibilidad y Control biológico de plagas y enfermedades. En cuanto a la importancia actual los expertos destacan que es Control biológico de plagas y enfermedades con un 55,56%, la Reducción del uso de fungicidas químicos con 52,94% evidenciando la preocupación significativa por sustituir o reducir estos insumos, luego el Aprovechamiento de residuos orgánicos con 44,44%, seguidos del desarrollo de bioestimulantes y fertilizantes ecológicos con un 38,29% y en último lugar el desarrollo de agentes biológico para el control de enfermedades con una 35,29%. Dejando evidente que la mayoría de estos temas son relevantes y vistas con bastante estima en la actualidad, como se muestra en la (**Figura 25**).

Figura 25

Importancia actual temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Sostenibilidad y Control biológico de plagas y enfermedades.

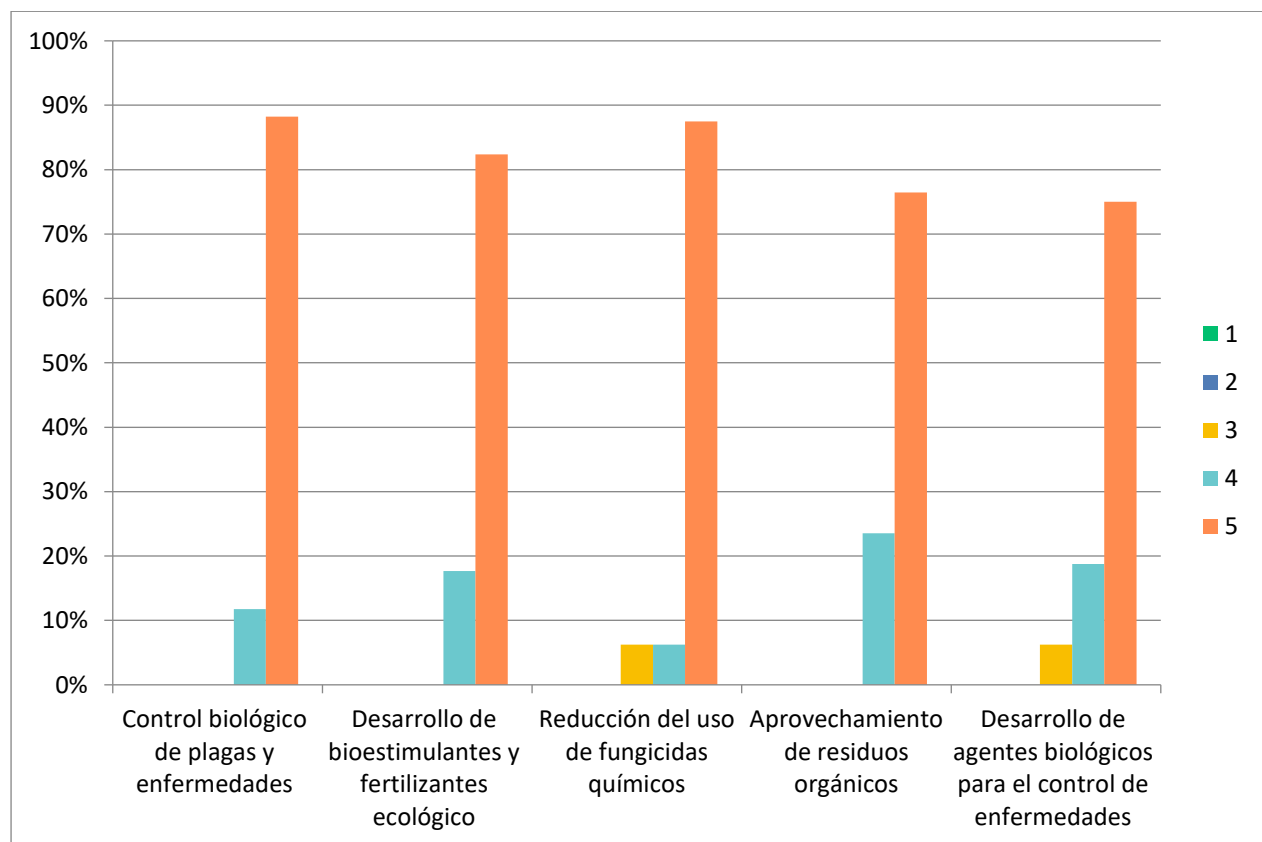


Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

En cuanto a la importancia futura, los expertos coinciden en que temas como control biológico de enfermedades 88,24%, reducción del uso de fungicidas químicos 87,5%, desarrollo de bioestimulantes y fertilizantes ecológicos 82,35%, aprovechamiento de residuos orgánicos 76,47%, desarrollo de agentes biológicos para el control de enfermedades 75%, son temas que deben ser foco en la investigación del sector. Donde un eje estratégico en el futuro está en el control biológico de enfermedades respaldado por los esfuerzos necesarios para limitar y hacer un cambio contundente en el uso de químicos convencionales, a su vez la valoración de los residuos orgánicos que promueve un enfoque hacia la sostenibilidad, economía circular y serán indispensables para la competitividad del sector. como se muestra en la (Figura 26).

Figura 26

Importancia Futura temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Sostenibilidad y Control biológico de plagas y enfermedades.

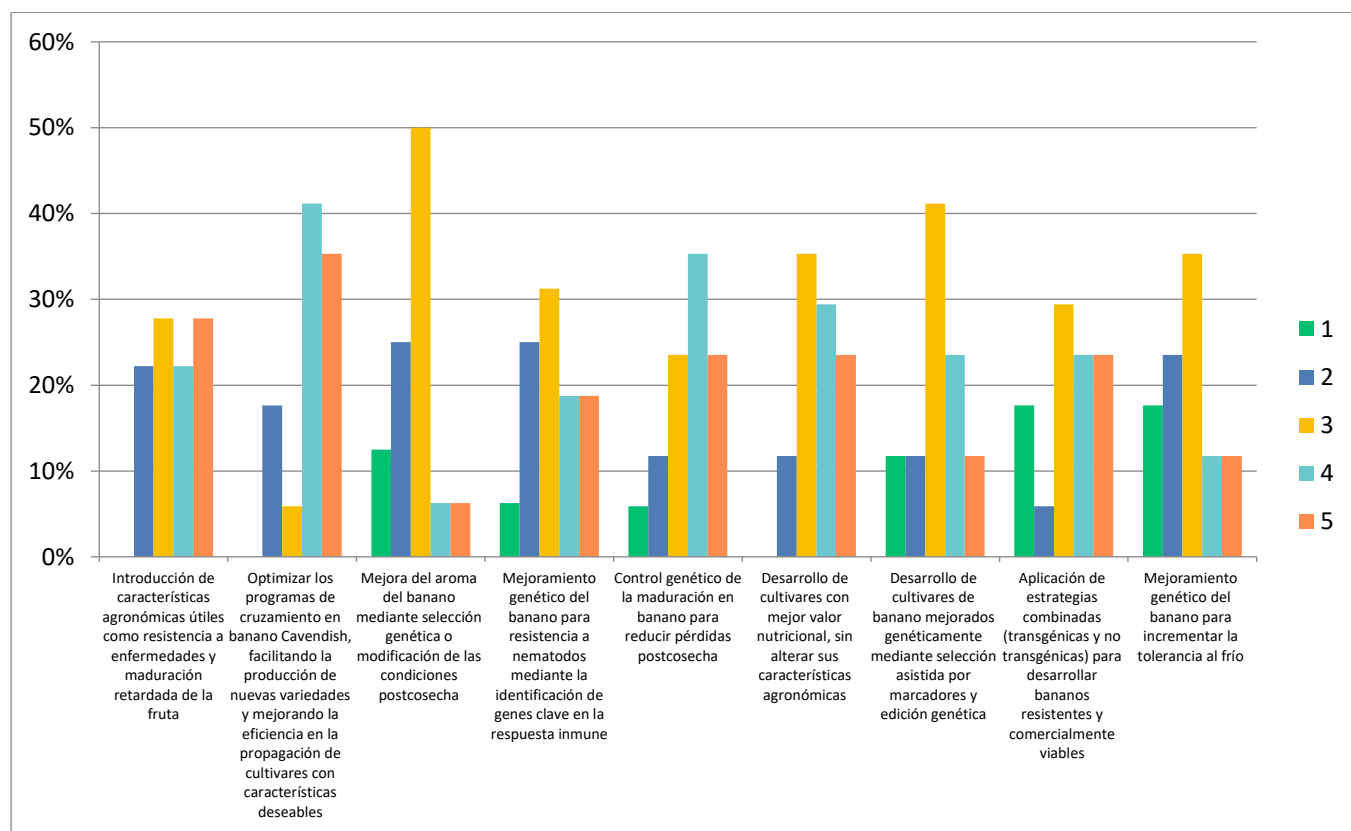


Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

Pregunta 3 solicitaba calificar los temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Mejora Genética. En cuanto a la importancia actual los expertos destacan con un nivel elevado optimizar programas de cruzamiento en banano Cavendish 41,18%, seguido de control genético de la maduración 35,29% con una importancia media actual, el desarrollo de cultivares con mejor valor nutricional 29,41% muestra un interés en mejorar la calidad nutricional. Algunas de las temáticas que en la actualidad no son tan prioritariamente percibidas son: el desarrollo de cultivares mejorados genéticamente (selección asistida, edición genética, el mejoramiento genético para incrementar tolerancia al frío y el mejoramiento genético para resistencia a nematodos, como se muestra en la (Figura 27).

Figura 27

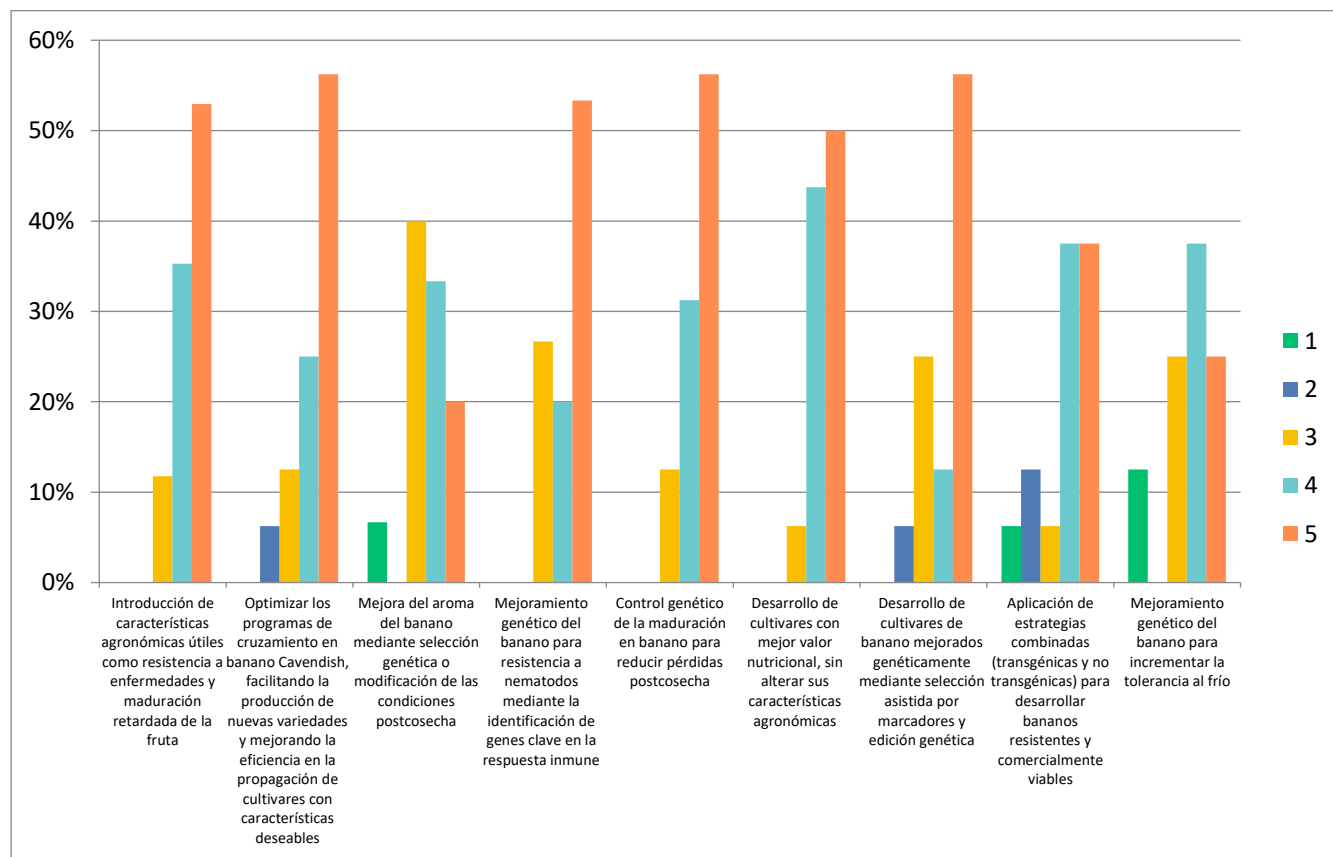
Importancia actual temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Mejora Genética



Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

En cuanto a la importancia futura, se puede apreciar como los expertos expresan que es necesario hacer saltos significativos en cuanto a los temas vinculados a la mejora genética. Optimizar los programas de cruzamiento con un 52,25% será uno de los factores determinantes, a su vez, el mejoramiento genético para resistencia a nematodos 53,33% muestra un alza relevante en su prioridad futura, el Control genético de la maduración 56,25% se resalta como potencial para reducir las pérdidas poscosecha, el desarrollo de cultivares de banano con mejor valor nutricional 50% es visto como interesante a fin de introducir calidad nutricional a futuro, el desarrollo de cultivares mejorados genéticamente 56,25% destaca a futuro la valoración de la ingeniería genética. En comparación con la importancia actual las anteriores temáticas reflejan un salto significativo y muestran un consenso que serán estrategias fundamentales para enfrentar enfermedades, mejorar la calidad del producto y adaptar el banano a condiciones climáticas cambiantes, como se muestra en la (Figura 28).

Figura 28
Importancia futura temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Mejora Genética

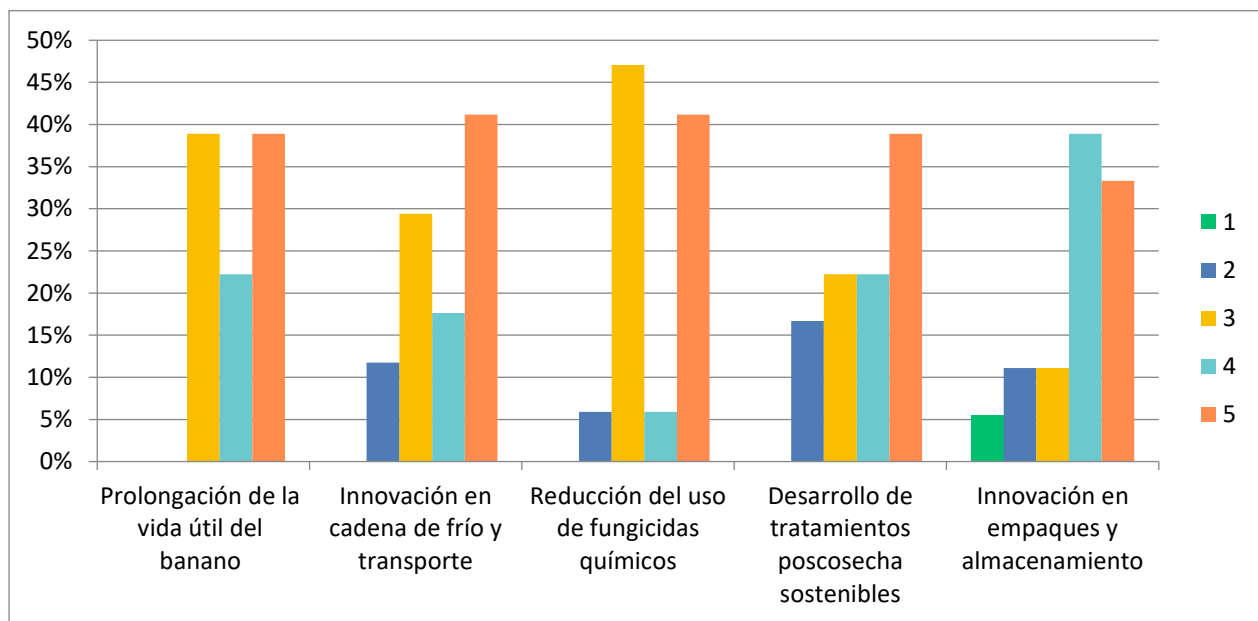


Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

Pregunta 4 solicitaba calificar los temas o tecnologías más relevantes relacionados con las tecnologías para el cultivo y poscosecha. En cuanto a la importancia actual los expertos destacan: la innovación en cadena de frío y transporte y la reducción del uso de fungicidas químicos con un 41,18%, el desarrollo de tratamientos poscosecha sostenibles y la innovación en empaques y almacenamiento ambas con 38,89%. Dejan ver que en la actualidad la modernización en la poscosecha y la búsqueda de prácticas más limpias son relevantes, como se muestra en la (**Figura 29**).

Figura 29

Importancia actual temas o tecnologías más relevantes relacionados con tecnologías para el cultivo y poscosecha



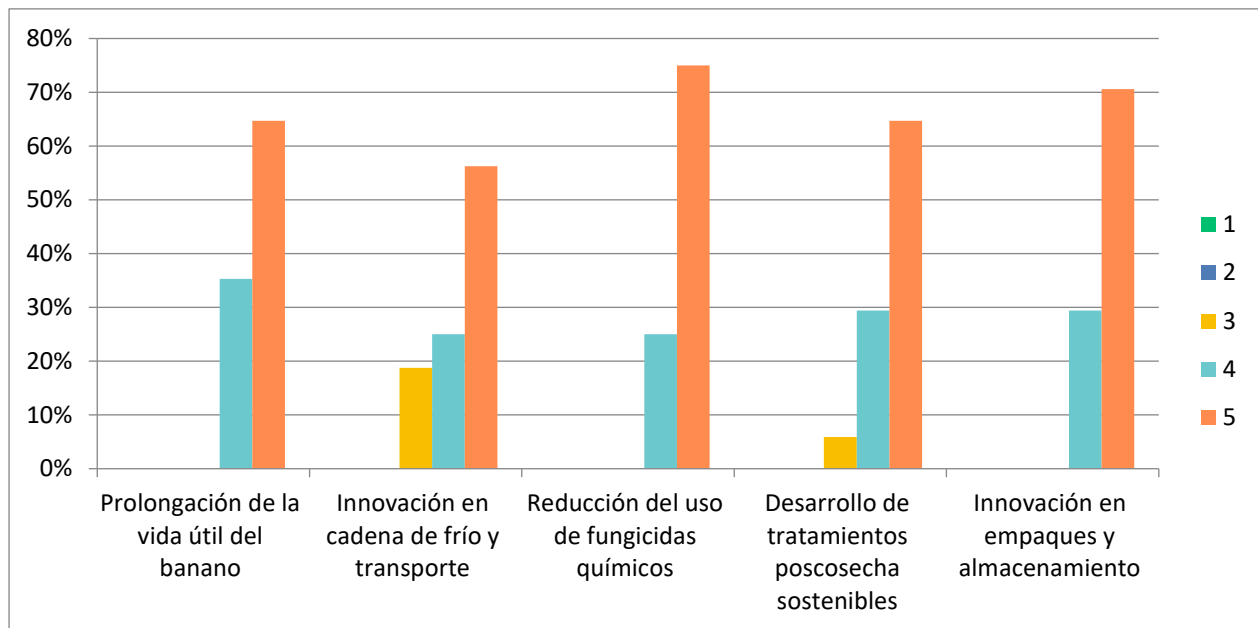
Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

En cuanto a la importancia futura, los expertos indican con un 75% que son los esfuerzos para la Reducción del uso de fungicidas químicos mostrando un consenso casi total en la necesidad de reemplazar o minimizar estos insumos, seguido de un 70,59% en innovación en empaques y almacenamiento que esta alineado a la estrategia esencial para extender la vida útil y cumplir con estándares ambientales, el desarrollo de tratamientos poscosecha sostenible 64,71% indica que es necesario potenciar las practicas sostenibles y circulares; es evidente que a futuro hay una visión

unánime sobre la necesidad de evolucionar en sistemas de conservación y logística que optimicen la calidad del banano, reduzcan costos y minimicen la huella ambiental, como se muestra en la (Figura 30).

Figura 30

Importancia futura temas o tecnologías más relevantes relacionados con tecnologías para el cultivo y poscosecha

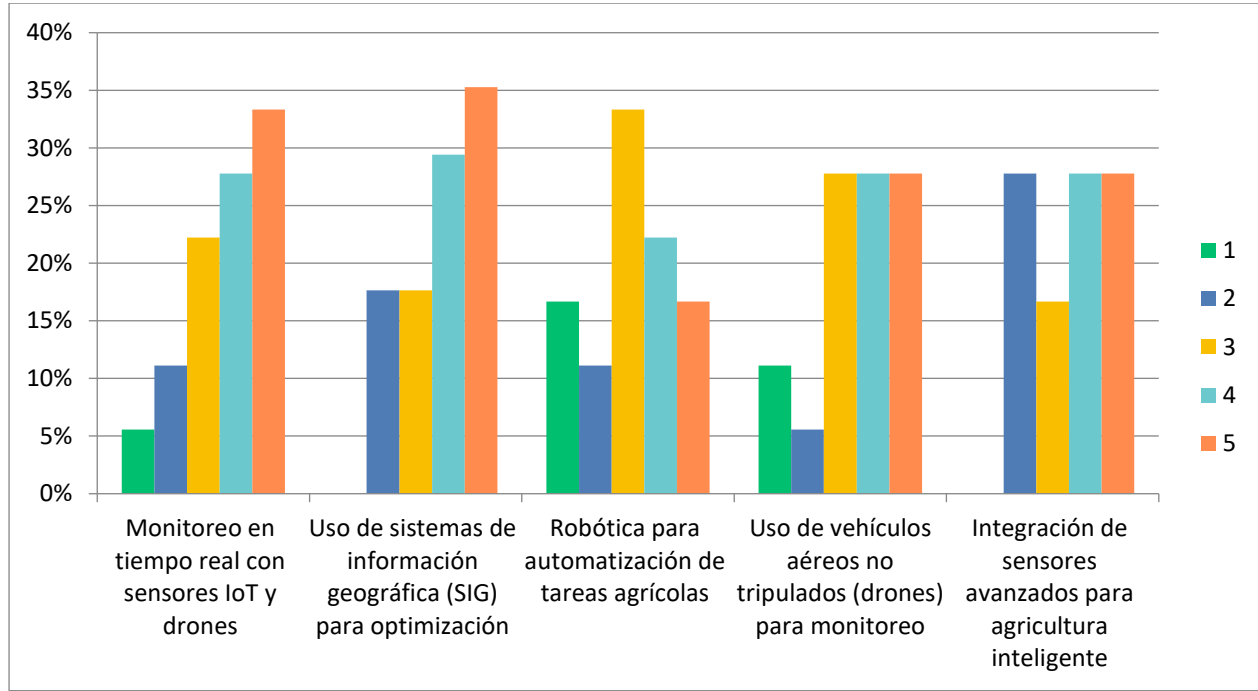


Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

Pregunta 5 solicitaba calificar los temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Agricultura de Precisión. En cuanto a la importancia actual el uso de sistemas de información geográfica (SIG) para optimización 35,29%, se reconoce el potencial del monitoreo en tiempo real con sensores IoT y drones en un 33,33%, una relevancia media tal vez limitada por factores de costo y know how en cuanto a la integración de sensores avanzados para agricultura eficiente con un 27,78% y el uso de vehículos aéreos no tripulados para el monitoreo con 27,78%. En cuanto a la robótica para automatización de tareas agrícolas se encuentra una percepción dividida tal vez por costos y la complejidad de implementación, ver la (Figura 31).

Figura 31

Importancia actual temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Agricultura de Precisión.

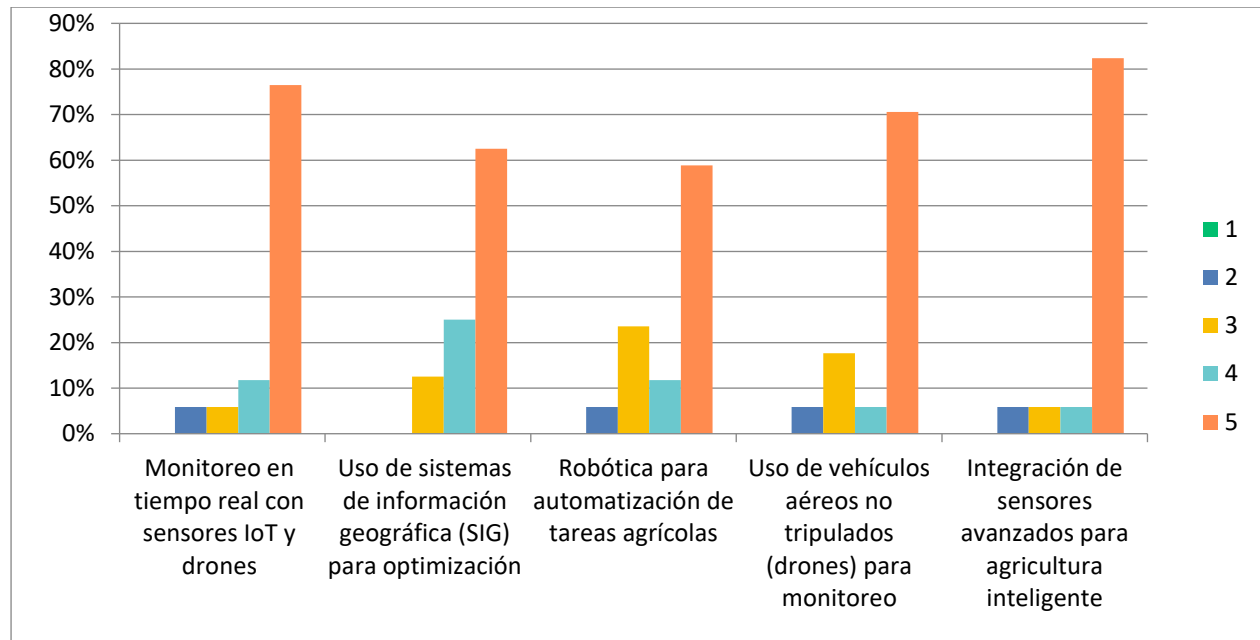


Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

En cuanto a la importancia futura, los expertos indican con un 82,35% que los esfuerzos se deben concentrar en la integración de sensores avanzados, con un 76,47% en el monitoreo en tiempo real con sensores IoT y drones mostrando un amplio consenso que será crucial a futuro, con un 70,59% el uso de vehículos aéreos no tripulados (drones) para monitoreo, en cuanto a la robótica para automatización de tareas agrícolas adquiere importancia 58,82%, como se muestra en la **(Figura 32)**. A futuro se muestra como factor determinante la expectativa para lograr una transformación digital del sector, donde el monitoreo en tiempo real y sensores avanzados se perfilan como pilares para la toma de decisiones, la detección de plagas, la optimización de riego y fertilización, entre otras ventajas mostrando como los escenarios de alta automatización y su adopción masiva permitan la eficiencia, precisión y serán determinantes para mantener la posición de competitividad y sostenibilidad.

Figura 32

Importancia futura temas o tecnologías más relevantes relacionados con la Agricultura de Precisión.



Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

6.6.2.2. Resultados Bloque 2

En esta sección los expertos evaluaron la probabilidad de ocurrencia al 2040 de algunas tecnologías, de las que se destacaron:

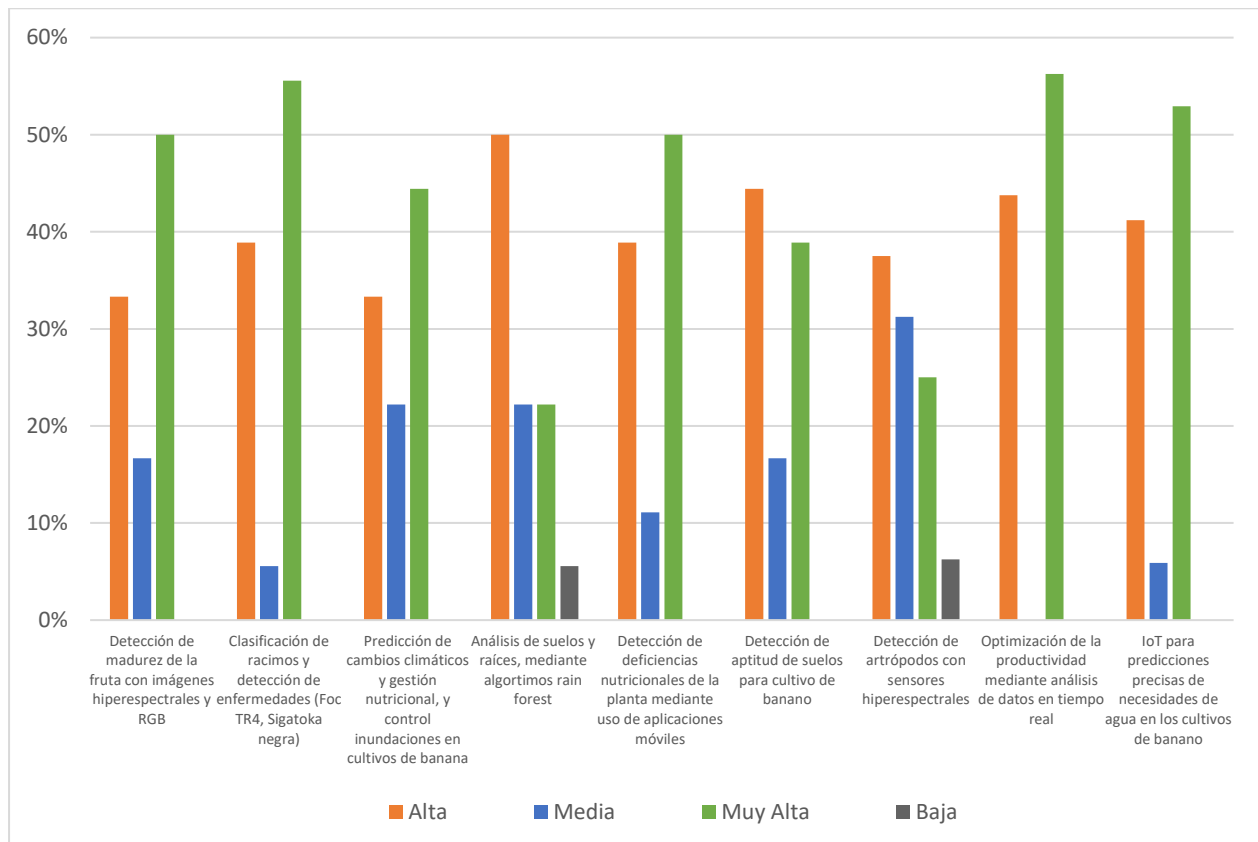
Pregunta 6: Probabilidad de ocurrencia a 2040 de Integración de tecnologías emergentes (IA, IoT, Robótica)

Los expertos coinciden en que las siguientes tienen una mayor probabilidad de ocurrencia:

- Clasificación de racimos y detección de enfermedades (Foc TR4, Sigatoka negra)
- Detección de madurez de la fruta con imágenes hiperespectrales y RGB
- Detección de deficiencias nutricionales de la planta mediante uso de aplicaciones móviles
- IoT para predicciones precisas de necesidades de agua en los cultivos de banano.

Se puede destacar que, de las propuestas en IA, IoT y robótica se perciben con alta certidumbre de convertirse en realidad, respaldando la idea de que la automatización y el análisis de datos jugarán un papel clave en la modernización del sector bananero. Lo anterior se muestra en la (Figura 33).

Figura 33
Integración de Tecnologías Emergentes (IA, IoT, robótica) y probabilidad de ocurrencia a 2040



Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

Este análisis de probabilidad de ocurrencia de tecnologías se sustenta con los resultados presentados en las (Figura 23 y Figura 24) donde la adopción de herramientas de análisis de datos en tiempo real, la clasificación de racimos y detección de enfermedades, muestran una panorámica clara para el sector, donde se valora la IA y la automatización para dar respuesta a los desafíos fitosanitarios y que tendrán un papel imprescindible donde debe ser inminente su aplicación, se

deben planificar y serán claves procesos de innovación para facilitar la implementación exitosa de estas tecnologías para impulsar el crecimiento del sector.

Pregunta 7: Probabilidad de ocurrencia a 2040 de tecnologías para el control biológico de enfermedades y sostenibilidad

Los expertos coinciden en que las siguientes tienen una mayor probabilidad de ocurrencia, tendencias dominantes:

- Desarrollo de fertilizantes bioecológicos a partir de desechos orgánicos.
- Desarrollo de fungicidas naturales (RNAi, extractos de plantas).
- Uso de residuos orgánicos (biochar, lodos de depuradora) para mejorar el crecimiento y resistencia de las plantas.
- Desarrollo de biofungicidas con esporas de *Bacillus subtilis*.

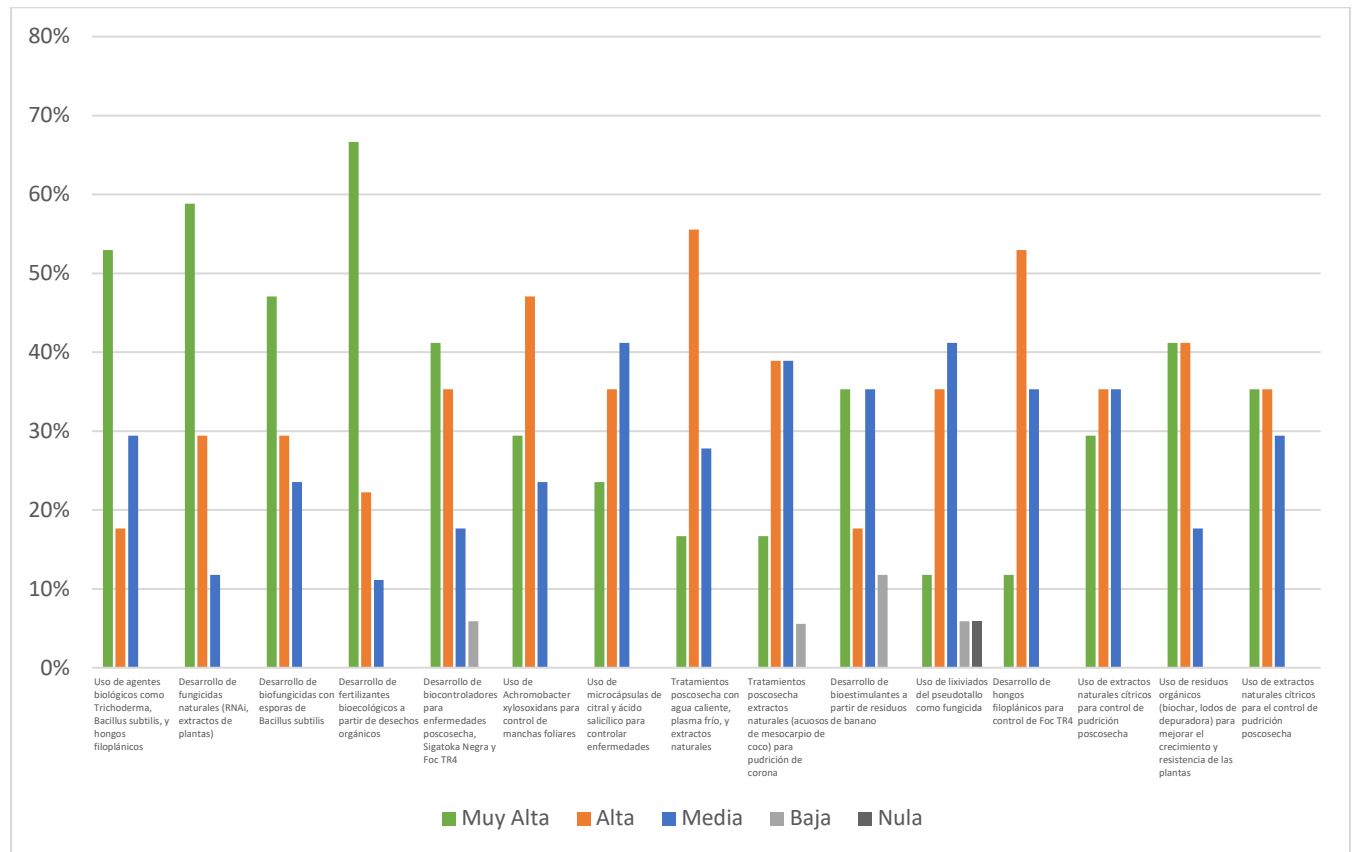
Los expertos coinciden en que las tecnologías con menor probabilidad de ocurrencia son, áreas incertidumbre:

- Uso de lixiviados del pseudotallo como fungicida
- Tratamientos poscosecha con extractos de mesocarpio de coco

Se resalta la proyección de una agricultura más verde y circular. Algunas tecnologías más específicas como el uso de microcápsulas, extractos naturales cítricos para pudrición poscosecha a pesar de presentar un pronóstico favorable, pueden tener cierta variabilidad en cuanto a la velocidad y amplitud de adopción. Lo anterior se muestra en la (**Figura 34**).

Figura 34

Integración de tecnologías de Control Biológico y probabilidad de ocurrencia a 2040



Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

Este análisis de probabilidad de ocurrencia de tecnologías se sustenta con los resultados presentados en las (Figura 25 y Figura 26), donde es evidente la fuerte expectativa de adopción de tecnologías y prácticas que busquen un manejo más ecológico y sostenible del cultivo del banano, donde el control biológico, la reducción de químicos y el aprovechamiento de residuos orgánicos; que muestran una alta factibilidad de que se puedan consolidar con rapidez todo esto impulsado por la necesidad de garantizar estrategias sostenibles en términos de mercados cada vez más exigentes en términos de una producción más limpia.

Pregunta 8: Probabilidad de ocurrencia a 2040 de tecnologías para la mejora genética

Los expertos coinciden en que las siguientes tienen una mayor probabilidad de ocurrencia:

- Desarrollo de híbridos resistentes al Foc TR4 como alternativas al Cavendish. Por la criticidad que presenta la amenaza el Foc TR4 y la confianza en soluciones híbridas.
- Aplicación de CRISPR/Cas9 para mejorar contenido nutricional en banano como beta-caroteno (vitamina A). CRISPR como herramienta viable para biofortificación que requiere regulación.

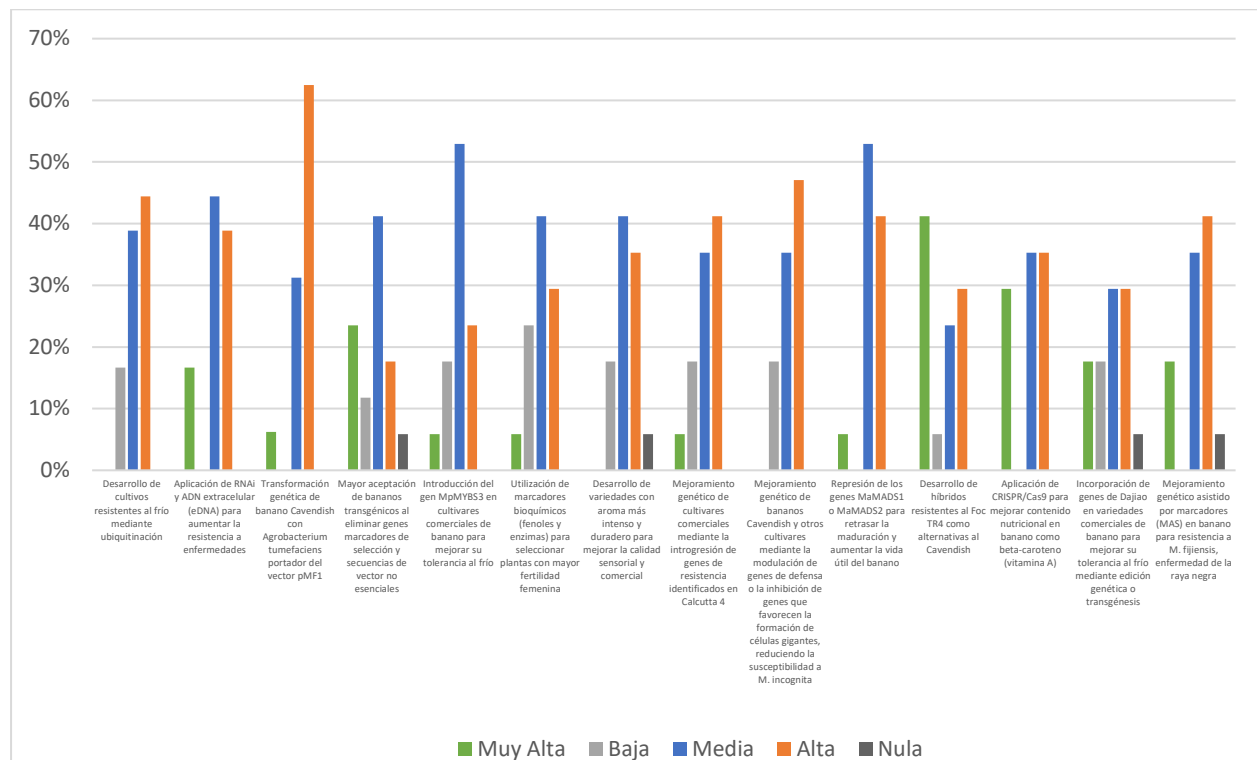
Los expertos coinciden en que las tecnologías con menor probabilidad de ocurrencia son, áreas incertidumbre:

- Desarrollo de cultivos resistentes al frío mediante ubiquitinación
- Introducción del gen MpMYBS3 para tolerancia al frío
- Variedades con aroma más intenso

A futuro destaca la necesidad de continuar priorizando la adopción de variedades mejoradas de manera prioritaria. Lo anterior se muestra en la (

Figura 35).

Figura 35
Integración de tecnologías de Mejora Genética y probabilidad de ocurrencia a 2040



Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

Este análisis de probabilidad de ocurrencia de tecnologías se sustenta con los resultados presentados en las (Figura 27 y Figura 28) donde la biotecnología y el mejoramiento genético se deben centrar en alternativas para enfrentar las enfermedades críticas (Foc TR4), reducir pérdidas poscosecha y mejorar la calidad del fruto, donde las herramientas de ingeniería genética serán muy relevantes en la evolución de las variedades comerciales de banano.

Pregunta 9: Probabilidad de ocurrencia a 2040 de tecnologías para el cultivo y cosecha

Los expertos coinciden en que las siguientes tienen una mayor probabilidad de ocurrencia:

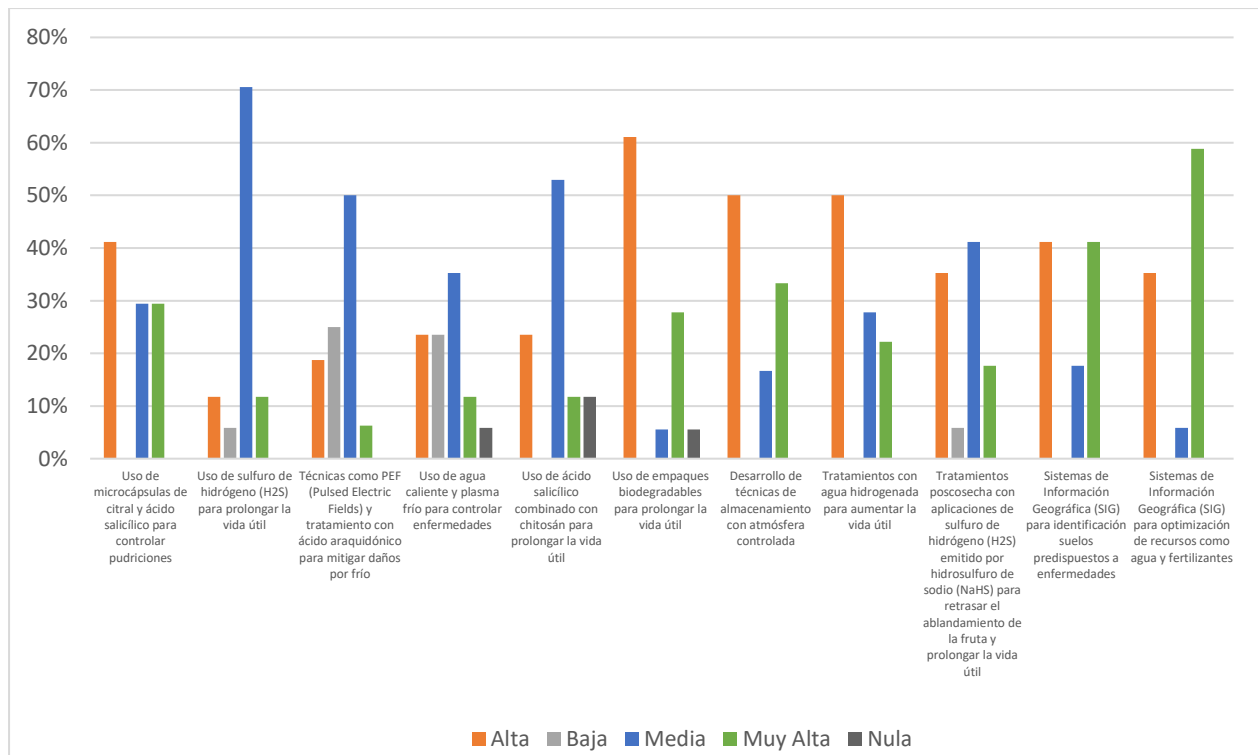
- Sistemas de Información Geográfica (SIG) para optimización de recursos como agua y fertilizantes y para la identificación suelos predispuestos a enfermedades
- Uso de empaques biodegradables para prolongar la vida útil.

Los expertos coinciden en que las tecnologías con menor probabilidad de ocurrencia son, áreas incertidumbre:

- El uso sulfuro de hidrógeno (H2S)
- Técnicas como PEF (Pulsed Electric Fields) y tratamiento con ácido araquidónico para mitigar daños por frío o técnicas de campos eléctricos pulsados evidencian una

A futuro se ven como esenciales la adopción de los SIG, y la adopción de métodos para reducir fungicidas, prolongar la vida del fruto y mejorar la cadena de valor poscosecha. Lo anterior se muestra en la (Figura 36).

Figura 36
Integración de tecnologías para el cultivo y cosecha y probabilidad de ocurrencia a 2040



Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

Este análisis de probabilidad de ocurrencia de tecnologías se sustenta con los resultados presentados en las (Figura 29 y Figura 30), donde hay un amplio consenso sobre la adopción de

herramientas digitales de georreferenciación y analítica, a su vez se confirma la tendencia a implementar tecnologías innovadoras como empaques biodegradables y de atmósferas controladas que reduzcan la dependencia de químicos y favorezcan la prolongación de la vida útil del banano

Pregunta 10: Probabilidad de ocurrencia a 2040 de tecnologías para la agricultura de precisión

Los expertos coinciden en que las siguientes tienen una mayor probabilidad de ocurrencia:

- Sensores de pH y macronutrientes para análisis del suelo y monitoreo climático y alertas.
- Sensores RECEP- para automatizar sistemas de riego, fertilización y monitoreo de cultivos.
- Fertirrigación por goteo.
- Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) para monitoreo plantaciones, detección temprana enfermedades y plagas y la optimización de recursos.

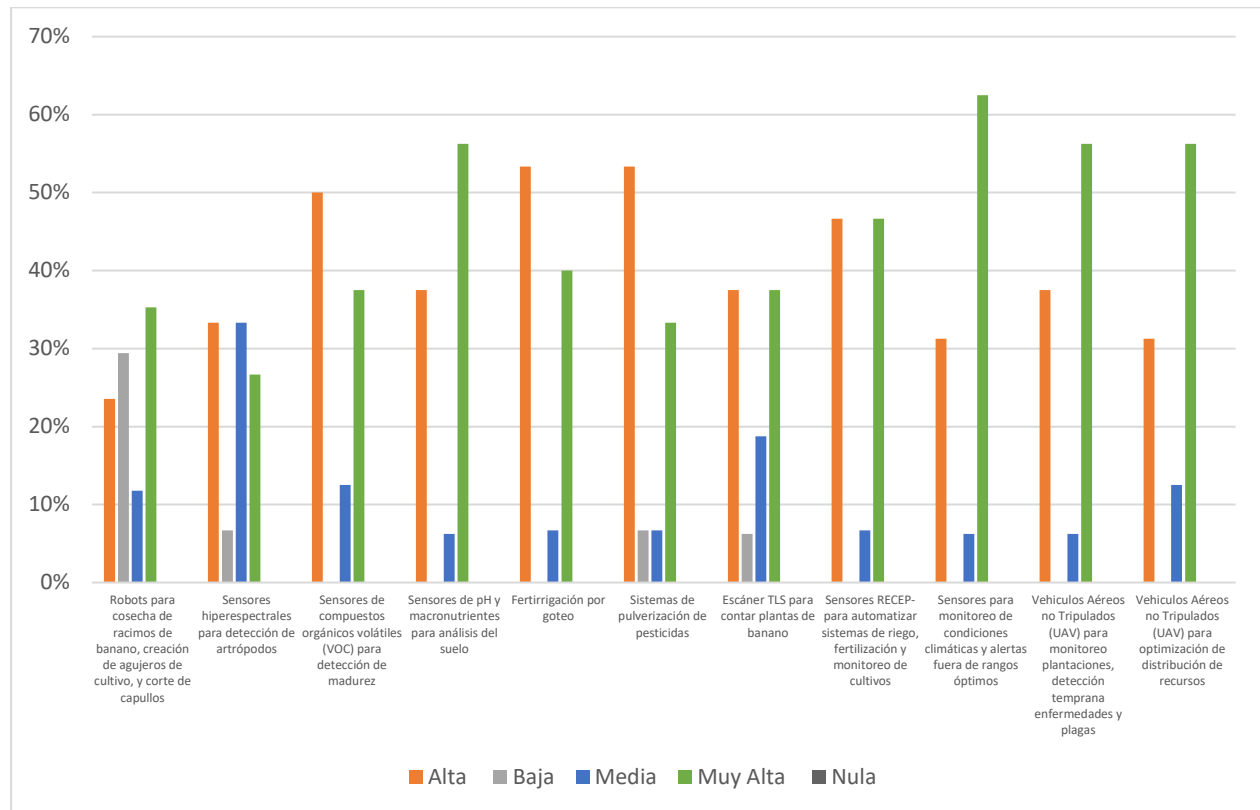
Los expertos coinciden en que las tecnologías con menor probabilidad de ocurrencia son, áreas incertidumbre:

- Robots para cosecha de racimos de banano, creación de agujeros de cultivo, y corte de capullos (comprendería una alta inversión económica y representaría un reto la adaptabilidad a terrenos complejos).

Lo anterior se muestra en la (**Figura 37**).

Figura 37

Integración de tecnologías para Agricultura de Precisión y probabilidad de ocurrencia a 2040



Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

Este análisis de probabilidad de ocurrencia de tecnologías se sustenta con los resultados presentados en las (Figura 31 y Figura 32), el monitoreo en tiempo real con sensores IoT y drones, las herramientas para recolección y análisis de datos y la automatización en algunas de las labores sean de una adopción casi generalizada, mostrando la agricultura de precisión como una tendencia firme, impulsada por la necesidad de eficiencia, sostenibilidad y respuestas más ágiles ante las variaciones del entorno productivo.

6.6.3. Apreciaciones de los resultados bloque 1 y bloque 2

A partir del proceso de vigilancia tecnológica realizado y las respuestas entregados por los expertos y sus resultados consolidados como se muestra en las (**Figura 23, Figura 24, Figura 25, Figura 26, Figura 27, Figura 28, Figura 29, Figura 30, Figura 31 y Figura 32**), permiten concluir que la mayoría de los temas propuestos alcanzaron calificaciones de relevancia y/o probabilidad de adopción bastante elevadas, de modo que efectivamente fueron validados como tendencias de alta importancia y que su impacto será clave para el sector bananero antioqueño hacia 2040. A su vez, se encontró que algunas tecnologías concretas presentan niveles de aceptación más moderados, lo que indica una validación parcial o la necesidad de mayor investigación y/o socialización antes de su incorporación plena.

6.6.3.1. *Temáticas y tecnologías altamente validadas por los expertos*

A continuación, en la **Tabla 17** se resumen las tecnologías por temática que fueron clasificadas por los expertos con mayor consenso y probabilidad de ocurrencia.

Tabla 17
Tecnología altamente validada por expertos

Categoría	Tecnología altamente validada por expertos
Integración de tecnologías emergentes (IA, IoT, robótica)	Clasificación de racimos y detección de enfermedades (Foc TR4, Sigatoka negra)
	Detección de madurez de la fruta con imágenes hiperespectrales y RGB
	Detección de deficiencias nutricionales de la planta mediante uso de aplicaciones móviles
	IoT para predicciones precisas de necesidades de agua en los cultivos de banano.
Sostenibilidad y control	Desarrollo de fertilizantes bioecológicos a partir de desechos orgánicos.
	Desarrollo de fungicidas naturales (RNAi, extractos de plantas).

biológico de plagas y enfermedades.	Uso de residuos orgánicos (biochar, lodos de depuradora) para mejorar el crecimiento y resistencia de las plantas.
	Desarrollo de biofungicidas con esporas de <i>Bacillus subtilis</i> .
Mejora genética.	Desarrollo de híbridos resistentes al Foc TR4 como alternativas al Cavendish. Por la criticidad que presenta la amenaza el Foc TR4 y la confianza en soluciones híbridas.
	Aplicación de CRISPR/Cas9 para mejorar contenido nutricional en banano como beta-caroteno (vitamina A). CRISPR como herramienta viable para biofortificación que requiere regulación.
	Transformación genética con <i>Agrobacterium tumefaciens</i> (vector pMF1)
Tecnologías para el cultivo y poscosecha.	Sistemas de Información Geográfica (SIG) para optimización de recursos como agua y fertilizantes y para la identificación suelos predispuestos a enfermedades
	Uso de empaques biodegradables para prolongar la vida útil
	Desarrollo de técnicas de almacenamiento con atmósfera controlada
Agricultura de precisión	Sensores de pH y macronutrientes para análisis del suelo y monitoreo climático y alertas.
	Sensores RECEP- para automatizar sistemas de riego, fertilización y monitoreo de cultivos.
	Fertirrigación por goteo.
	Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) para monitoreo plantaciones, detección temprana enfermedades y plagas y la optimización de recursos

Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

6.6.3.2. Temáticas y tecnologías con menor consenso de ocurrencia

A continuación, en la **Tabla 18** se resumen las tecnologías por temática que fueron clasificadas por los expertos con menor consenso o probabilidad de ocurrencia.

Tabla 18
Tecnología con menor consenso de ocurrencia

Temática	Tecnología con menor consenso
Control biológico de enfermedades y sostenibilidad.	Uso de lixiviados del pseudotallo como fungicida
	Tratamientos poscosecha con extractos de mesocarpio de coco
Mejora genética	Desarrollo de cultivos resistentes al frío mediante ubiquitinación
	Introducción del gen MpMYBS3 en cultivares comerciales de banano para mejorar su tolerancia al frío
	Represión de los genes MaMADS1 o MaMADS2 para retrasar la maduración y aumentar la vida útil del banano
	Desarrollo de variedades con aroma más intenso y duradero para mejorar la calidad sensorial y comercial
Tecnologías para el cultivo y poscosecha.	El uso sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) para prolongar la vida útil.
	Técnicas como PEF (Pulsed Electric Fields) y tratamiento con ácido araquidónico para mitigar daños por frío.
Agricultura de precisión	Robots para cosecha de racimos de banano, creación de agujeros de cultivo, y corte de capullos

Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

En termino generales, los resultados de la vigilancia tecnológica a través del ejercicio de cuestionario fueron sometidos al criterio de varios expertos, donde las respuestas permiten validar la pertinencia y el consenso de los expertos en los temáticas y tecnologías planteadas como de alta relevancia para el futuro, estos resultados permiten hacer un acercamiento para la construcción de escenarios como se propone en el siguiente apartado

6.7. Construcción de escenarios con la caja de herramientas de prospectiva estratégica

Una vez identificadas las variables, se realizará la exploración de futuros posibles mediante la aplicación del método de Análisis Morfológico Godet et al (2000b) “permite explorar de manera sistemática los futuros posibles a partir del estudio de todas las combinaciones resultantes”(p.76), se desarrolló bajo los conceptos de definición de variables, las alternativas por cada variable, como se muestra en la **Tabla 17** y se resumen a continuación en la **Tabla 19**.

Tabla 19

Variables codificadas y código para la hipótesis

Variable	Código	Hipótesis
Integración de tecnologías emergentes (IA, IoT, robótica): ITE	ITE.1	Clasificación de racimos y detección de enfermedades
	ITE.2	Detección de madurez con imágenes hiperespectrales y RGB
	ITE.3	Detección de deficiencias nutricionales vía app móvil
	ITE.4	IoT para predicción precisa de necesidades de agua
Sostenibilidad y control biológico: SCB	SCB.1	Fertilizantes bioecológicos desde residuos orgánicos
	SCB.2	Fungicidas naturales: RNAi, extractos de plantas
	SCB.3	Aplicación de biochar y lodos para mejora del suelo
	SCB.4	Biofungicidas con Bacillus subtilis
Mejora genética: MG	MG.1	Híbridos resistentes al Foc TR4
	MG.2	CRISPR para mejora nutricional
	MG.3	Transformación genética con Agrobacterium
Cultivo y poscosecha: TCP	TCP.1	SIG para optimización hídrica y suelos
	TCP.2	Empaques biodegradables para prolongar vida útil
	TCP.3	Almacenamiento con atmósfera controlada
Agricultura de precisión: AP	AP.1	Sensores de pH y nutrientes, alertas climáticas
	AP.2	Sensores RECEP para automatizar riego y fertilización
	AP.3	Fertirrigación por goteo
	AP.4	Drones (UAV) para detección y monitoreo eficiente

Nota: elaboración propia producto de la Vigilancia Tecnológica.

Teniendo en cuenta la **Tabla 19**, con la cantidad de variables e hipótesis su configuración indica unas 576 combinaciones, resultantes del producto de cantidad de $4 \times 4 \times 3 \times 4$, lo que indica un ejercicio bastante robusto y complejo que obliga a la calificación y evaluación de escenarios que por su naturaleza son incoherentes. A su vez, resulta fundamental tener presente los resultados entregados por los expertos donde la adopción de tecnologías como la IA, mejora genética, el enfoque sostenible desde el control biológico, técnicas poscosecha y el monitoreo en tiempo real además de la prolongación de la vida útil para la selección y construcción de escenarios.

Estas variables con su enfoque el ámbito tecnológico y de innovación, se proponen los siguientes escenarios:

- Escenario optimista Escenario Optimista Transformador" Agricultura regenerativa y digitalizada"
- Escenario moderado optimista, "Banano inteligente y sostenible"
- Escenario pesimista o de bajo desempeño. Tecnología mínima, resiliencia básica.

6.7.1. Escenario Optimista Transformador" Agricultura regenerativa y digitalizada"

Se formularon las siguientes hipótesis como se muestra a continuación en la **Tabla 20**

Tabla 20

Hipótesis configuradas escenario optimista transformador

Código	Hipótesis (evento prospectivo hacia 2040)
H1 (ITE.2)	Para el año 2040, más del 60% de las fincas bananeras utilizan tecnologías de imágenes hiperespectrales y RGB para determinar de forma automatizada y precisa la madurez de la fruta.
H2 (SCB.2)	Para el año 2040, más del 60% de las fincas bananeras han adoptado el uso de fungicidas naturales basados en RNAi y extractos de plantas como principal estrategia de manejo fitosanitario
H3 (MG.2)	Para el año 2040, la tecnología CRISPR/Cas9 ha sido utilizada para desarrollar y cultivar variedades de banano mejoradas nutricionalmente (como incremento de beta-caroteno), cubriendo al menos el 50% del área sembrada.
H4 (TCP.1)	Para el año 2040, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) están integrados en más del 70% de las fincas para la optimización de recursos y mapeo en tiempo real de suelos y condiciones agroambientales
H5 (AP.4)	Para el año 2040, más del 60% de las fincas bananeras utilizan vehículos aéreos no tripulados (UAVs) para el monitoreo sistemático, la detección de plagas y enfermedades, y la gestión de insumos agrícolas.

Nota: elaboración propia.

Con la herramienta SMIC PROB- EXPERT, se obtuvieron los siguientes resultados como se muestra a continuación:

La (**Figura 38**) muestra con el consolidado asignada por los expertos para la probabilidad simple de ocurrencia por cada una de las hipótesis establecidas en la **Tabla 20**.

Figura 38
Consolidado probabilidades simples

	Probabilidades
1 : H1 (IT.2)	0,748
2 : H2 (SCB.2)	0,847
3 : H3 (MG.2)	0,748
4 : H4 (TCP.1)	0,887
5 : H5 (AP.4)	0,898

© LIPSOR-EPITA-PROB-EXPERT

Nota: Software Prospectiva (LIPSOR).

La (**Figura 39**) muestra el consolidado por al evaluar la probabilidad condicional de realización de una hipótesis en función del cumplimiento de las demás. Teniendo en cuenta que viene condicionada por la probabilidad simple que se refleja en la diagonal de la matriz.

Figura 39
Consolidada probabilidad condicional si realización

	H1 (IT.2)	H2 (SCB.2)	H3 (MG.2)	H4 (TCP.1)	H5 (AP.4)
1 : H1 (IT.2)	0,748	0,755	0,753	0,783	0,776
2 : H2 (SCB.2)	0,856	0,847	0,838	0,838	0,842
3 : H3 (MG.2)	0,754	0,741	0,748	0,742	0,746
4 : H4 (TCP.1)	0,929	0,877	0,879	0,887	0,913
5 : H5 (AP.4)	0,932	0,892	0,896	0,925	0,898

© LIPSOR-EPITA-PROB-EXPERT

Nota: Software Prospectiva (LIPSOR).

La (Figura 40) muestra el consolidado al evaluar la probabilidad condicional si no realización, donde se califica la probabilidad de realización de la hipótesis si la otra no se cumple. Donde la diagonal siempre lleva el valor 0 en la matriz.

Figura 40
Consolidada probabilidad condicional si no realización

	H1 (IT.2)	H2 (SCB.2)	H3 (MG.2)	H4 (TCP.1)	H5 (AP.4)
1 : H1 (IT.2)	0	0,704	0,73	0,471	0,497
2 : H2 (SCB.2)	0,821	0	0,873	0,92	0,894
3 : H3 (MG.2)	0,731	0,791	0	0,8	0,765
4 : H4 (TCP.1)	0,763	0,941	0,91	0	0,656
5 : H5 (AP.4)	0,797	0,929	0,905	0,689	0

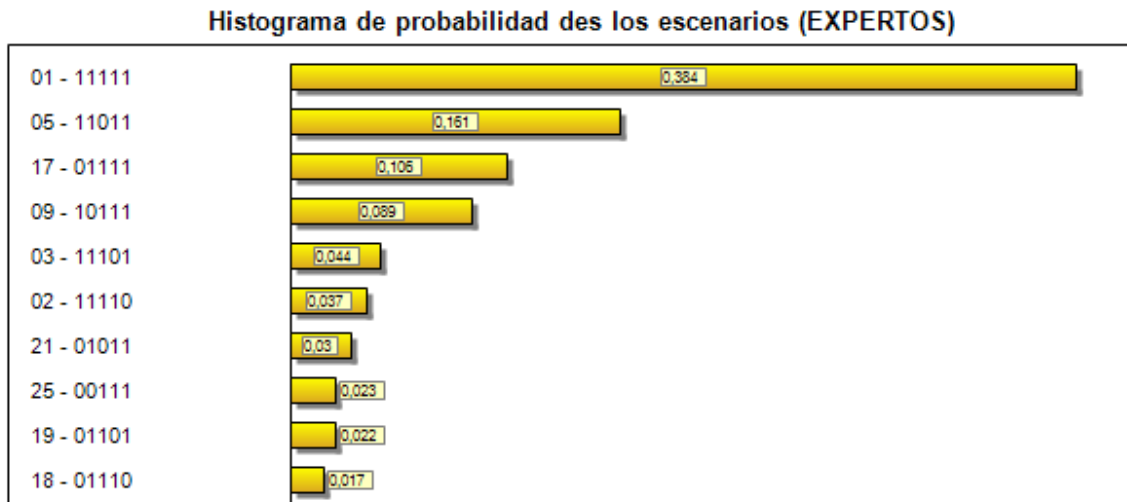
© LIPSOR-EPITA-PROB-EXPERT

Nota: Software Prospectiva (LIPSOR).

La (Figura 41), presentada en forma de histograma, muestra la probabilidad ocurrencia de los escenarios. En este caso, se visualizan los 10 escenarios con mayor probabilidad, destacándose el escenario N°01 de combinación binaria 11111 con una probabilidad de ocurrencia del 33,8%. Este resultado indica que todas las hipótesis consideradas podrían materializarse, lo cual representa un alto potencial para impulsar el desarrollo del sector.

Figura 41

Histograma de Probabilidad de escenarios



Nota: solo se incluyen los diez primeros escenarios. Software Prospectiva (LIPSOR)

Teniendo en cuenta lo anterior, se podría decir, que la materialización del escenario N°01 de combinación binaria 11111, puede interpretarse de la siguiente manera:

Modelo sostenible, uso intensivo de tecnología y personal altamente capacitado, donde la interconexión del sistema es fundamental. Los datos permiten la toma de decisiones en tiempo real.

La detección de la madurez de la fruta mediante tecnología hiperespectral y cámaras RGB (IT.2) permite recolección de precisión, programación logística inteligente, y reducción de pérdidas por sobremadurez de la fruta, a su vez hay un hito en el control de las enfermedades dejando de lado el uso de químicos convencionales volcándose por completo al uso de fungicidas naturales como RNAi y extractos botánicos (SCB.2) altamente aceptado por mercados internacionales y que garantizan la salud humana y protección del medio ambiente. Genéticamente mediante la edición de genes vía CRISPR/Cas9 (MG.2) es posible desarrollar bananos biofortificados con beta-caroteno (provitamina A).

En cuanto al cultivo, toda su información se encuentra digitalizada mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) (TCP.1) que permiten mapear suelos, predecir zonas de riesgo fitosanitario, y optimizar el uso de agua, fertilizantes y espacio productivo. Esto contribuye a una

agricultura regenerativa, que a su vez integran el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) (AP.4) son clave para la vigilancia continua del cultivo, permitiendo la detección precoz de plagas, enfermedades, estrés hídrico y anomalías, así como el diseño de estrategias de manejo sitio-específicas. La combinación UAV + SIG + datos hiperespectrales configura un entorno de agricultura de precisión 360°.

Implicaciones

- Incremento de la productividad y sostenibilidad del cultivo de banano.
- Disminución del uso de agroquímicos
- Bananos con valor nutricional agregado
- Tecnologías altamente disponibles en el mercado, lo que facilita su proceso de transferencia tecnológica.
- Posibilidad de adopción por medianos productores
- Reducción de pérdidas poscosecha con soluciones prácticas y efectivas como la atmósfera controlada.
- Alta inversión en educación del personal

Riesgos

- Alto costo de implementación inicial y del monitoreo constante.
- Inexistentes políticas públicas que promuevan y faciliten el acceso a créditos o incentivos para la adopción de nuevas tecnologías para pequeños productores.

6.7.2. Escenario Moderado optimista, “Banano inteligente y sostenible

Se formularon las siguientes hipótesis como se muestra a continuación en la **Tabla 21**

Tabla 21

Hipótesis configuradas escenario optimista

Código	Hipótesis (evento prospectivo hacia 2040)
H1 (ITE.4)	Para el año 2040, más del 70% de las fincas de banano implementan tecnologías IoT para realizar predicciones precisas de las necesidades hídricas en tiempo real.
H2 (SCB.2)	Para 2040, los fungicidas naturales basados en tecnologías RNAi y extractos de plantas están ampliamente adoptados como principal estrategia de control de enfermedades fúngicas en banano.
H3 (MG.1)	Para el año 2040, los híbridos de banano resistentes al Foc TR4 sustituyen al menos el 60% de las variedades Cavendish tradicionales en los principales países productores.
H4 (TCP.2)	Para 2040, más del 50% de las exportaciones de banano utilizan empaques biodegradables que prolongan la vida útil de la fruta y cumplen con normativas ambientales.
H5 (AP.2)	Para el año 2040, los sensores RECEP están implementados en más del 60% de los sistemas de cultivo de banano para automatizar riego, fertilización y monitoreo fisiológico.

Nota: elaboración propia.

Con la herramienta SMIC PROB- EXPERT, se obtuvieron los siguientes resultados como se muestra a continuación:

La (**Figura 42**) muestra con el consolidado asignada por los expertos para la probabilidad simple de ocurrencia por cada una de las hipótesis establecidas en la **Tabla 21**.

Figura 42
Consolidado probabilidades simples

	Probabilidades
1 : H1 (ITE.4)	0,781
2 : H2 (SCB.2)	0,878
3 : H3 (MG.1)	0,696
4 : H4 (TCP.2)	0,76
5 : H5 (AP.2)	0,713

© LIPSOR-EPITA-PROB-EXPERT

Nota: Software Prospectiva (LIPSOR).

La (**Figura 43**) muestra el consolidado por al evaluar la probabilidad condicional de realización de una hipótesis en función del cumplimiento de las demás. Teniendo en cuenta que viene condicionada por la probabilidad simple que se refleja en la diagonal de la matriz.

Figura 43
Consolidada probabilidad condicional si realización

	H1 (ITE.4)	H2 (SCB.2)	H3 (MG.1)	H4 (TCP.2)	H5 (AP.2)
1 : H1 (ITE.4)	0,781	0,802	0,832	0,819	0,812
2 : H2 (SCB.2)	0,901	0,878	0,899	0,902	0,908
3 : H3 (MG.1)	0,742	0,713	0,696	0,719	0,737
4 : H4 (TCP.2)	0,797	0,781	0,785	0,76	0,807
5 : H5 (AP.2)	0,741	0,737	0,755	0,757	0,713

© LIPSOR-EPITA-PROB-EXPERT

Nota: Software Prospectiva (LIPSOR).

La (**Figura 44**) muestra el consolidado al evaluar la probabilidad condicional si no realización, donde se califica la probabilidad de realización de la hipótesis si la otra no se cumple. Donde la diagonal siempre lleva el valor 0 en la matriz.

Figura 44

Consolidada probabilidad condicional si no realización

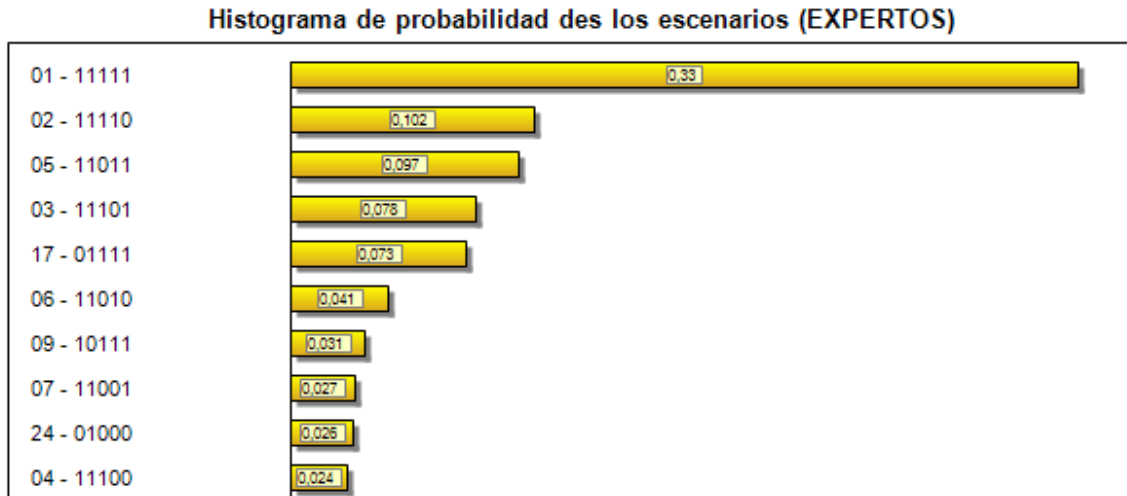
	H1 (ITE.4)	H2 (SCB.2)	H3 (MG.1)	H4 (TCP.2)	H5 (AP.2)
1 : H1 (ITE.4)	0	0,629	0,663	0,662	0,705
2 : H2 (SCB.2)	0,793	0	0,828	0,801	0,802
3 : H3 (MG.1)	0,533	0,574	0	0,625	0,595
4 : H4 (TCP.2)	0,629	0,61	0,704	0	0,644
5 : H5 (AP.2)	0,613	0,536	0,617	0,573	0

© LIPSOR-EPTA-PROB-EXPERT

Nota: Software Prospectiva (LIPSOR).

La (**Figura 45**), presentada en forma de histograma, muestra la probabilidad ocurrencia de los escenarios. En este caso, se visualizan los 10 escenarios con mayor probabilidad, destacándose el escenario N°01 de combinación binaria 11111 con una probabilidad de ocurrencia del 33%. Este resultado indica que todas las hipótesis consideradas podrían materializarse, lo cual representa un para el sector bananero una oportunidad hacia la transición de una producción más sostenible, procurando la preservación del medio ambiente, introducción de nuevos materiales de empaque para el banano que permitirán extender la vida útil del producto.

Figura 45
Histograma de Probabilidad de escenarios



Nota: solo se incluyen los diez primeros escenarios. Software Prospectiva (LIPSOR).

Teniendo en cuenta lo anterior, se podría decir, que la materialización del escenario N°01 de combinación binaria 11111, puede interpretarse de la siguiente manera:

Para 2040, el sector bananero ha hecho la transición hacia un modelo de producción integralmente sostenible y tecnificado, sin olvidar la amenaza que pueden representar algunas de las enfermedades. La integración de sensores y plataformas IoT permite un manejo preciso del riego, fertilización y manejo hídrico que se representa en el uso racional de recursos y disminución de costos. Los controles biológicos reemplazan gran parte del uso de químicos en respuesta a las presiones de los mercados internacionales por la reducción del uso sustancial de fungicidas químicos. La variedad híbrida resistente desplaza al Cavendish y en la etapa de poscosecha se utilizan materiales de empaque que son biodegradables que a su vez alargan la vida útil del banano a su vez permitiendo llegar a otros mercados de nicho.

Implicaciones

- Inversión significativa en infraestructura tecnológica (sensores, drones, automatización).

- Alianzas entre centros de investigación agrícola y empresas biotecnológicas para desarrollar y validar fungicidas RNAi y nuevos híbridos.
- Prolongación de la vida útil del banano mediante empaques biodegradables, atmósferas controladas y tratamientos poscosecha innovadores.
- Presión del consumidor internacional por sostenibilidad, con un mercado dispuesto a pagar sobrecostos por bananos más limpios y seguros.

Riesgos

- Costos altos de implementación inicial.
- Brecha tecnológica
- Inexistentes políticas públicas que promuevan las estrategias de resiliencia a enfermedades del cultivo.
- Inexistentes políticas públicas que promuevan y faciliten el acceso a créditos o incentivos para la adopción de nuevas tecnologías

6.7.3. Escenario pesimista o de bajo desempeño

Se formularon las siguientes hipótesis como se muestra a continuación en la **Tabla 22**

Tabla 22

Hipótesis configuradas escenario pesimista

Código	Hipótesis (evento prospectivo hacia 2040)
H1 (ITE.1)	Para el año 2040, más del 50% de las fincas bananeras utilizan tecnologías básicas para la clasificación de racimos y la detección de enfermedades, sin integración con sistemas automatizados o predictivos.
H2 (SCB.3)	Para 2040, el uso de residuos orgánicos como biochar y lodos de depuradora es adoptado como práctica común para mejorar la fertilidad del suelo en al menos el 60% de las fincas bananeras.
H3 (MG.1)	Para el año 2040, más del 60% de las fincas bananeras han sustituido las variedades tradicionales por híbridos resistentes al Foc TR4 como principal estrategia de defensa fitosanitaria.
H4 (TCP.1)	Para el año 2040, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se utilizan únicamente como herramientas de escritorio aisladas, sin conexión a sensores en tiempo real ni plataformas de automatización.
H5 (AP.1)	Para el año 2040, las fincas bananeras emplean sensores básicos de pH y alertas climáticas sin integración con sistemas automatizados de respuesta o monitoreo continuo

Nota: elaboración propia.

Con la herramienta SMIC PROB- EXPERT, se obtuvieron los siguientes resultados como se muestra a continuación:

La (**Figura 46**) muestra con el consolidado asignada por los expertos para la probabilidad simple de ocurrencia por cada una de las hipótesis establecidas en la **Tabla 22**.

Figura 46
Consolidado probabilidades simples

	Probabilidades
1 : H1 (ITE.1)	0,815
2 : H2 (SCB.3)	0,711
3 : H3 (MG.1)	0,742
4 : H3 (TCP.1)	0,821
5 : H5 (AP.1)	0,776

© LIPSOR-EPIITA-PROB-EXPERT

Nota: Software Prospectiva (LIPSOR).

La (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) muestra el consolidado por al e evaluar la probabilidad condicional de realización de una hipótesis en función del cumplimiento de las demás. Teniendo en cuenta que viene condicionada por la probabilidad simple que se refleja en la diagonal de la matriz.

Figura 47
Consolidada probabilidad condicional si realización

	H1 (ITE.1)	H2 (SCB.3)	H3 (MG.1)	H3 (TCP.1)	H5 (AP.1)
1 : H1 (ITE.1)	0,815	0,851	0,802	0,825	0,83
2 : H2 (SCB.3)	0,742	0,711	0,727	0,742	0,746
3 : H3 (MG.1)	0,731	0,76	0,742	0,745	0,757
4 : H3 (TCP.1)	0,832	0,858	0,824	0,821	0,826
5 : H5 (AP.1)	0,791	0,815	0,791	0,781	0,776

© LIPSOR-EPIITA-PROB-EXPERT

Nota: Software Prospectiva (LIPSOR).

La (**Figura 48**) muestra el consolidado al evaluar la probabilidad condicional si no realización, donde se califica la probabilidad de realización de la hipótesis si la otra no se cumple. Donde la diagonal siempre lleva el valor 0 en la matriz.

Figura 48

Consolidada probabilidad condicional si no realización

	H1 (ITE.1)	H2 (SCB.3)	H3 (MG.1)	H3 (TCP.1)	H5 (AP.1)
1 : H1 (ITE.1)	0	0,725	0,851	0,767	0,761
2 : H2 (SCB.3)	0,571	0	0,662	0,566	0,586
3 : H3 (MG.1)	0,792	0,699	0	0,73	0,692
4 : H3 (TCP.1)	0,776	0,732	0,813	0	0,806
5 : H5 (AP.1)	0,711	0,681	0,733	0,757	0

© LIPSOR-EPIA-PROB-EXPERT

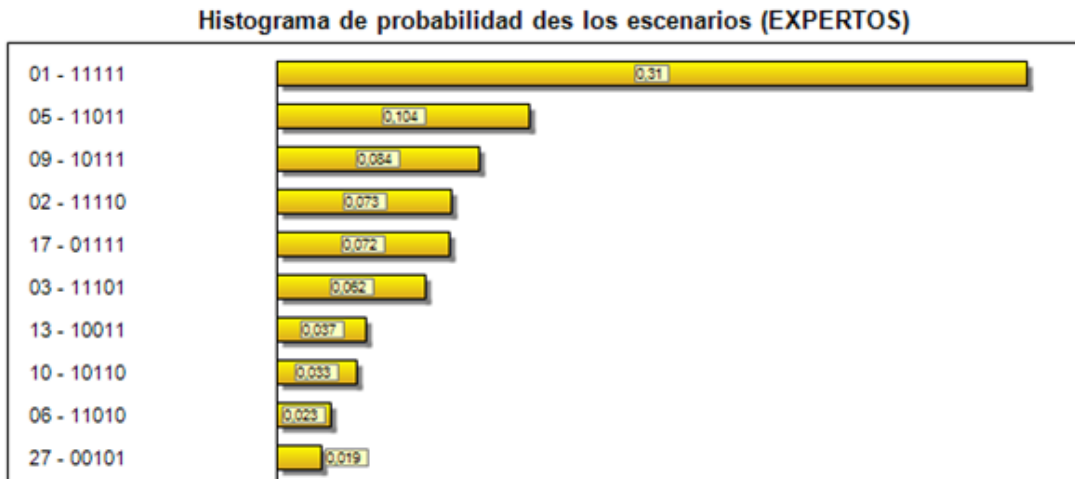
Nota: Software Prospectiva (LIPSOR).

La (

Figura 49), presentada en forma de histograma, muestra la probabilidad ocurrencia de los escenarios. En este caso, se visualizan los 10 escenarios con mayor probabilidad, destacándose el escenario N°01 de combinación binaria 11111 con una probabilidad de ocurrencia del 31%. Este resultado indica que todas las hipótesis consideradas podrían materializarse, lo cual representa para el sector bananero una situación donde si bien hay una pequeña transición hacia el cambio e implementación de nuevas tecnologías, el sector permanece en prácticas conocidas, no se arriesga a la nuevo y no hay evidente integración de las plataformas tecnológicas que permitan la captura de datos en tiempo real para facilitar la toma de decisiones.

Figura 49

Histograma de Probabilidad de escenarios



Nota: solo se incluyen los diez primeros escenarios. Software Prospectiva (LIPSOR).

Teniendo en cuenta lo anterior, se podría decir, que la materialización del escenario N°01 de combinación binaria 11111, puede interpretarse de la siguiente manera:

El sector bananero sigue operando con métodos conocidos y tradicionales, limitando la sostenibilidad, donde hay un mínimo enfoque en soluciones básicas que sean económicamente accesibles y permitan un nivel de resiliencia, sin embargo, la transición hacia la transformación tecnológica es escasa y lejana de un modelo de agricultura 4.0.

Se hacen introducciones mínimas de tecnologías para la clasificación de racimos y detección de enfermedades (ITE.1), el uso de los Sistemas de Información Geográfica (TCP.1) solo se hace mediante mapeo estático y visualización de datos históricos, se emplean en el cultivo sensores básicos de pH y alertas climáticas (AP.1) pero no cuentan con herramientas de automatización para predicciones de riego o fertilización. El Cavendish sigue siendo dominante y vulnerable al Foc TR4 con una baja introducción de híbridos resistentes al FoC TR4 (MG.1). Con el objetivo de fortalecer las prácticas sostenibles se implementa el uso de residuos orgánicos como biochar y lodos de depuradora (SCB.3) a fin de reducir la dependencia de insumos químicos.

Este modelo conservador busca mitigar los riesgos de altas inversiones, adaptación lenta y como consecuencia es muy posible que la competitividad caiga frente a países que sí integran nuevas tecnologías.

Implicaciones

- Bajo costo de implementación tecnológica, facilitando adopción por pequeños y medianos productores.
- Pérdida de capacidades en I+D agrícola.
- Falta de acceso al crédito o incentivos.

Riesgos

- Bajo uso de tecnologías digitales
- Pérdida de competitividad frente a otros productores que adopten tecnología más avanzadas.
- Inexistentes políticas públicas que promuevan y faciliten el acceso a créditos o incentivos para la adopción de nuevas tecnologías
- Inexistente capacidad de anticipación a brotes de enfermedades por escasos sistemas de monitoreo

6.7.4. Escenario tendencial que representa una modernización cautelosa - persistencia modelo tradicional

Se formularon las siguientes hipótesis como se muestra a continuación en la **Tabla 23**

Tabla 23

Hipótesis configuradas escenario tendencial modernización cautelosa

Código	Hipótesis binaria (evento prospectivo hacia 2040)
H1 (IT.1)	Para el año 2040, más del 60% de las fincas bananeras utilizan tecnologías probadas de clasificación de racimos y detección visual asistida de enfermedades como Foc TR4 y Sigatoka negra, sin integración con inteligencia artificial ni herramientas predictivas.
H2 (SCB.3)	Para el año 2040, el uso de residuos orgánicos como biochar y lodos de depuradora para mejorar la fertilidad y estructura del suelo es práctica común en al menos el 60% de las fincas bananeras.
H3 (MG.1)	Para el año 2040, más del 60% del área cultivada con banano ha sido reemplazada por híbridos resistentes al Foc TR4 como estrategia preventiva dominante.
H4 (TCP.3)	Para el año 2040, más del 60% de las plantas de poscosecha implementan técnicas de almacenamiento con atmósfera controlada para prolongar la vida útil del banano sin modificar el modelo logístico general.
H5 (AP.3)	Para el año 2040, la fertirrigación por goteo se ha consolidado como la principal técnica de riego en más del 60% de las fincas bananeras, combinando eficiencia hídrica con manejo tradicional de nutrientes.

Nota: elaboración propia.

Con la herramienta SMIC PROB- EXPERT, se obtuvieron los siguientes resultados como se muestra a continuación:

La (**Figura 50**) muestra con el consolidado asignada por los expertos para la probabilidad simple de ocurrencia por cada una de las hipótesis establecidas en la **Tabla 23**
Hipótesis configuradas escenario tendencial modernización cautelosa

Figura 50

Consolidado probabilidades simples

	Probabilidades
1 : H1 (IT.1)	0,78
2 : H2 (SCB.3)	0,715
3 : H3 (MG.1)	0,755
4 : H4 (TCP.3)	0,834
5 : H5 (AP.3)	0,767

© LIPSOR-EPITA-PROB-EXPERT

Nota: Software Prospectiva (LIPSOR).

La (**Figura 51**) muestra el consolidado por al evaluar la probabilidad condicional de realización de una hipótesis en función del cumplimiento de las demás. Teniendo en cuenta que viene condicionada por la probabilidad simple que se refleja en la diagonal de la matriz.

Figura 51

Consolidada probabilidad condicional si realización

	H1 (IT.1)	H2 (SCB.3)	H3 (MG.1)	H4 (TCP.3)	H5 (AP.3)
1 : H1 (IT.1)	0,78	0,766	0,759	0,771	0,785
2 : H2 (SCB.3)	0,703	0,715	0,69	0,726	0,719
3 : H3 (MG.1)	0,735	0,728	0,755	0,727	0,729
4 : H4 (TCP.3)	0,825	0,847	0,803	0,834	0,841
5 : H5 (AP.3)	0,773	0,771	0,741	0,773	0,767

© LIPSOR-EPITA-PROB-EXPERT

Nota: Software Prospectiva (LIPSOR).

La (**Figura 52**) muestra el consolidado al evaluar la probabilidad condicional si no realización, donde se califica la probabilidad de realización de la hipótesis si la otra no se cumple. Donde la diagonal siempre lleva el valor 0 en la matriz.

Figura 52

Consolidada probabilidad condicional si no realización

	H1 (IT.1)	H2 (SCB.3)	H3 (MG.1)	H4 (TCP.3)	H5 (AP.3)
1 : H1 (IT.1)	0	0,814	0,842	0,822	0,761
2 : H2 (SCB.3)	0,759	0	0,794	0,661	0,704
3 : H3 (MG.1)	0,825	0,822	0	0,895	0,838
4 : H4 (TCP.3)	0,866	0,803	0,929	0	0,813
5 : H5 (AP.3)	0,747	0,758	0,846	0,737	0

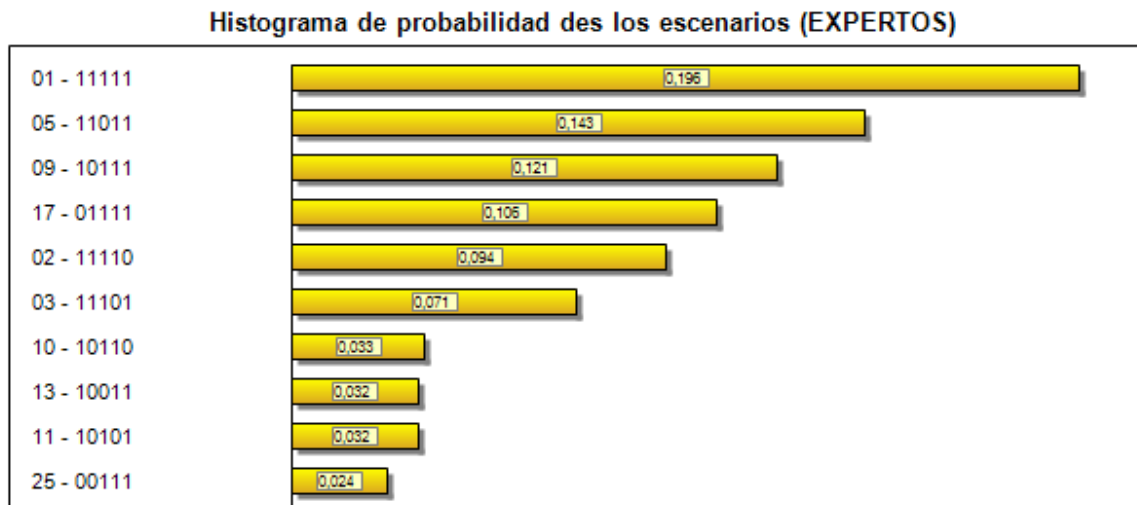
© LIPSOR-EPITA-PROB-EXPERT

Nota: Software Prospectiva (LIPSOR).

La (**Figura 53**), presentada en forma de histograma, muestra la probabilidad ocurrencia de los escenarios. En este caso, se visualizan los 10 escenarios con mayor probabilidad, destacándose el escenario N°01 de combinación binaria 11111 con una probabilidad de ocurrencia del 19,6%. Este resultado indica que todas las hipótesis consideradas podrían materializarse, que para el sector se podría considerar como una estrategia con una moderada exposición al riesgo donde se implementan tecnologías altamente avaladas y probadas por otros, donde la apuesta por la transición y el cambio hacia alternativas orgánicas para el control biológico, estrategias de resiliencia frente a enfermedades, la eficiencia en el manejo de los recursos para optimizar la fertilización y el uso del agua.

Figura 53

Histograma de Probabilidad de escenarios



Nota: solo se incluyen los diez primeros escenarios. Software Prospectiva (LIPSOR).

Teniendo en cuenta lo anterior, se podría decir, que la materialización del escenario N°01 de combinación binaria 11111, puede interpretarse de la siguiente manera:

Un escenario donde los avances son graduales y se prefiere incorporar tecnologías altamente probadas y accesibles y que tengan menor implicación de riesgo, el objetivo es mejorar el modelo productivo actual sin llegar a la introducción de un modelo totalmente radical.

El cultivo logra eficiencias por la implementación de herramientas de clasificación de racimos y detección visual de enfermedades como Foc TR4 y Sigatoka negra (IT.1), se busca mantener la calidad de exportación, separar los racimos aptos mediante sensores convencionales. Es de extendido uso los híbridos resistentes al Foc TR4 (MG.1) sin llegar a buscar alternativas disruptivas transgénicas. La técnica de fertirrigación por goteo (AP.3) permite un uso más eficiente de agua y nutrientes, integrándose sin dificultades al modelo agronómico existente y mejorando la rentabilidad sin automatización avanzada. En la etapa de poscosecha se integran soluciones como las técnicas de almacenamiento con atmósfera controlada (TCP.3), que permiten mejorar la conservación y vida útil de la fruta, y responder a los desafíos logísticos de la cadena de

exportación. Es un escenario que busca modernizar garantizando su estabilidad, control financiero y operatividad.

Implicaciones

- Tecnologías altamente disponibles en el mercado, lo que facilita su proceso de transferencia tecnológica.
- Costo mediano de implementación, por su alta disponibilidad en el mercado y su demanda.
- Posibilidad de adopción por medianos productores
- Reducción de pérdidas poscosecha con soluciones prácticas y efectivas como la atmósfera controlada.

Riesgos

- Continua dependencia de la variedad Cavendish.
- Pérdida de competitividad frente a otros productores que adopten tecnología más avanzadas.
- Inexistentes políticas públicas que promuevan y faciliten el acceso a créditos o incentivos para la adopción de nuevas tecnologías

7. Conclusiones

Sin lugar a duda, el sector bananero del Urabá antioqueño representa una de las principales fuentes de ingreso, generación de empleo y promoción del bienestar social en la región. Además, constituye un sector clave en la contribución al PIB agropecuario del país. Los esfuerzos y el trabajo continuo de asociaciones como Augura, orientados a la protección de la agroindustria y la defensa de los intereses de los productores, han trascendido hacia un compromiso aún mayor: la promoción y articulación de recursos para la creación de instituciones como Cenibanano, concebido como una apuesta estratégica para fortalecer la productividad y competitividad del sector, bajo los pilares de la innovación tecnológica y científica.

Este tipo de iniciativas permiten enfrentar de manera proactiva los nuevos desafíos del sector, adaptarse a un mercado en constante transformación, responder a regulaciones cada vez más exigentes y, sobre todo, garantizar la sostenibilidad de la agroindustria bananera. Asimismo, constituyen un puente fundamental para facilitar la transferencia de tecnología desde la investigación aplicada hacia todos los productores vinculados a la asociación.

Teniendo en cuenta el ambiente favorable del sector bananero en el Urabá antioqueño, resulta altamente pertinente y oportuno considerar y aplicar los resultados de este estudio. Desde una perspectiva de vigilancia tecnológica y con la validación de expertos, se logró identificar un conjunto de temáticas y tecnologías de alta relevancia proyectadas hacia el año 2040.

Entre estas se destacan: el desarrollo de aplicaciones móviles con integración de inteligencia artificial para el monitoreo agrícola, el uso de IoT para una agricultura más inteligente, el control biológico de enfermedades, la formulación de fertilizantes ecológicos que contribuyan a la reducción del uso de fungicidas químicos, la optimización de programas de cruzamiento genético orientados a la resistencia a plagas, la innovación en empaques y técnicas de almacenamiento, y la implementación de sensores avanzados para el monitoreo en tiempo real del cultivo.

A su vez, la prospectiva se convierte en un recurso estratégico clave para mejorar las condiciones de sostenibilidad y competitividad del banano antioqueño en el ámbito internacional. Los diferentes escenarios planteados en los resultados permiten visualizar su probabilidad de ocurrencia y ofrecen una base sólida para la toma de decisiones.

En los escenarios optimistas, el sector puede encontrar una oportunidad para consolidar su apuesta de desarrollo. Gracias a su amplia experiencia, la articulación de actores y los avances en investigación y desarrollo, es posible diseñar estrategias que permitan anticiparse al cambio y tomar decisiones informadas que garanticen su adaptación y crecimiento sostenible.

En la cadena de valor de Urabá —altamente integrada verticalmente— se mapeó a los actores clave: productores y comercializadoras; entidades públicas y privadas; asociaciones gremiales; certificadoras como Global G.A.P. y Rainforest Alliance; el sistema académico (SENA, universidades y centros de investigación como CENIBANANO); proveedores de insumos; y fundaciones de responsabilidad social. Las etapas productivas se describieron de manera detallada, desde el aprovisionamiento de materiales vegetales hasta el cultivo con énfasis en la fertilización, pasando por la cosecha, el beneficio, el empaque y la comercialización. Este mapeo permitió detectar cuellos de botella en logística, estandarización de procesos y trazabilidad que se agravan ante la llegada de plagas emergentes —como *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense TR4 (ya reportado en Magdalena y La Guajira) y el Banana Bunchy Top Virus—, lo que subraya la necesidad de fortalecer la vigilancia fitosanitaria y los sistemas de alerta temprana.

El análisis regulatorio resaltó resoluciones del ICA sobre monitoreo fitosanitario, las medidas de contención contra *Foc TR4* y *Moko*, así como la Ley 2321 de 2023, que reconoce la cultura del banano y a sus trabajadores como patrimonio cultural colombiano, estableciendo un marco normativo que incentiva la mejora continua y la formalización laboral. Frente a líderes globales, el benchmarking evidenció brechas significativas en área cosechada, rendimiento, valor de exportaciones, distancia a mercados y número de patentes; sin embargo, la producción científica muestra paridad, lo que representa una base sólida para impulsar innovaciones «made in Colombia».

A partir de la vigilancia tecnológica y la validación de expertos, se confirmaron cinco macro-temáticas con alta probabilidad de adopción a 2040: (i) Integración de Tecnologías Emergentes (IA, IoT, sensores para datos en tiempo real y georreferenciación); (ii) Agricultura de Precisión y manejo integrado de nutrientes y riego; (iii) Sostenibilidad y Control Biológico, incluidos fertilizantes ecológicos y empaques biodegradables; (iv) Mejora Genética dirigida a la resistencia a enfermedades y resiliencia climática; y (v) Tecnologías de Poscosecha centradas en empaques inteligentes y monitoreo de madurez mediante imágenes hiperespectrales y RGB. El conjunto de innovaciones priorizadas ofrece un portafolio robusto para los próximos quince años.

Finalmente, la construcción de escenarios mediante SMIC-Prob-Expert reveló trayectorias diferenciadas: el Escenario Optimista-Transformador, con alta probabilidad simple y condicional para la adopción integral de tecnologías de detección de madurez, cosecha de precisión, datos en tiempo real y control biológico; el Escenario Moderado-Optimista, que proyecta una transición gradual pero sostenida hacia la sostenibilidad digital; el Escenario Tendencial, que augura una modernización cautelosa centrada en fertirrigación y mejoras de empaque; y el Escenario Pesimista, donde la baja adopción tecnológica y la dependencia del cultivar Cavendish limitarían el avance competitivo. Estos escenarios constituyen una brújula estratégica para que los actores del banano antioqueño consoliden ventajas, diversifiquen mercados y garanticen la sostenibilidad económica, social y ambiental del sector hacia 2040.

Referencias

- Afruibana. (2021). *The banana industry – A pillar of African rural development. A common challenge for Africa and Europe*. . <https://fruit35.blog/wp-content/uploads/2022/03/AFRUIBANA-White-Paper-on-African-Banana-EN.pdf>
- AGN. (2023, May 19). *Implementan monitoreo satelital para plantaciones de banano y plátano*. <https://agn.gt/implementan-monitoreo-satelital-para-plantaciones-de-banano-y-platano/>
- AgroAmerica. (2023). *Sostenibilidad agroindustrial del banano*. <https://agroamerica.com/sostenibilidad-agroindustrial-del-banano/>
- Alarcón Saavedra, J. C. (2023, July 27). *10 años del Acuerdo Comercial entre Colombia y la Unión Europea*. <https://analdex.org/2023/07/27/10-anos-del-acuerdo-comercial-entre-colombia-y-la-union-europea/>
- Alarcón Saavedra, J. C. (2024, March 5). *A 12 años del TLC entre Colombia y Estados Unidos*.
- Amanatidou, E., Butter, M., Carabias, V., Könnölä, T., Leis, M., Saritas, O., Schaper-Rinkel, P., & van Rij, V. (2012). On concepts and methods in horizon scanning: Lessons from initiating policy dialogues on emerging issues. *Science and Public Policy*, 39(2), 208–221. <https://doi.org/10.1093/scipol/scs017>
- Arias, P., Dankers, C., Liu, P., & Pilkauskas, P. (2004). *La economía mundial del banano 1985-2002*. <https://www.fao.org/3/y5102s/y5102s00.htm#Contents>
- ASBAMA. (2022). *Informe Gestión 2022*. 1–50. <https://www.asbama.com/administrador/img/informes/informes/137.pdf>
- Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador. (2023). *Anuario Estadístico 2023*. https://ugc.production.linktr.ee/6483fa65-353a-45e1-a998-4b3f652cc6dc_Anuario-estadistico-2023.pdf
- Asociación de Productores Independientes de Banano. (n.d.-a). *Destino de Exportación*. Retrieved July 1, 2024, from <http://apib.org.gt/el-banano-en-guatemala-3/exportacion/>
- Asociación de Productores Independientes de Banano. (n.d.-b). *El Banano en Guatemala*. Retrieved July 5, 2024, from <http://apib.org.gt/el-banano-en-guatemala-3/certificaciones/>

-
- AUGURA. (n.d.). *Augura Cenibanano*. Retrieved August 9, 2024, from <https://augura.com.co/fitosanidad-y-manejo-integrado-de-plagas/>
- AUGURA. (1997). *Manual de Labores en fincas bananeras* (Vol. 1).
- AUGURA. (2023). *COYUNTURA ECONÓMICA 2023 Análisis del mercado del banano*. <https://augura.com.co/wp-content/uploads/2024/04/Coyuntura-Bananera-2023.pdf>
- Banana Link. (2021, February 11). *Concern for banana livelihoods in hurricane ravaged Honduras*. <https://www.bananalink.org.uk/news/concern-for-banana-livelihoods-in-hurricane-ravaged-honduras/>
- Bananalink. (2017). *The problem with bananas: Environmental, social & corporate issues*. <https://www.bananalink.org.uk/the-problem-with-bananas/>
- Barouti, A. A., Tynelius, P., Lager, A., & Björklund, A. (2022). Fruit and vegetable intake and risk of prediabetes and type 2 diabetes: results from a 20-year long prospective cohort study in Swedish men and women. *European Journal of Nutrition*, 61(6), 3175 – 3187. <https://doi.org/10.1007/s00394-022-02871-6>
- BASIC. (2015). *Banana value chains in Europe and the consequences of unfair trading practices*. https://www.bananalink.org.uk/wp-content/uploads/2019/04/banana_value_chain_research_final_web.pdf
- Bhakta, S., Tak, H., & Ganapathi, T. R. (2021). Exploring diverse roles of micro RNAs in banana: Current status and future prospective. *Physiologia Plantarum*, 173(4), 1323 – 1334. <https://doi.org/10.1111/ppl.13311>
- Bishop, P., Hines, A., & Collins, T. (2007). The current state of scenario development: An overview of techniques. In *foresight* (Vol. 9, Issue 1, pp. 5–25). <https://doi.org/10.1108/14636680710727516>
- Burgos Castillo, kerly I., Cumbal Muquinche, K. M., Culqui Jiménez, A. R., Gómez Guerrero, G. A., Arteaga Guerrero, M. N., & Muñoz Armijos, D. A. (2021). Aplicación del análisis estructural, juego de actores y escenarios en la empresa Seguros Alianza S.A Application of structural analysis, play of actors and scenarios in the company Seguros Alianza S.A. *Revista Electrónica TAMBARA*, 16, 1330–1349.

- Castellanos D, O. F., Torres P, L. M., & Rojas L, J. C. (2009a). *AGENDA PROSPECTIVA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA LA CADENA PRODUCTIVA DE FIQUE EN COLOMBIA*.
- Castellanos D, O. F., Torres P, L. M., & Rojas L, J. C. (2009b). *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de fique en Colombia*. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12687/Ver_Documento_12687.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castro, L. M., Calvas, B., & Knoke, T. (2015). Ecuadorian banana farms should consider organic banana with low price risks in their land-use portfolios. *PLoS ONE*, 10(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120384>
- CENIBANANO. (2023). *Investigaciones Cenibanano 2019-2023*. <https://augura.com.co/wp-content/uploads/2024/04/Informe-CENIBANANO-2023.pdf>
- Chaverri Vallejo, A. L., Vallejo Solís, M. Á., Nájera Fernandez, J., & Garnier Zamora, L. A. (2017). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA HUELLA DE CARBONO Y LA HUELLA DE AGUA EN LA PRODUCCIÓN BANANERA*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/83940766-6085-45f9-a846-2cee2701b7c5/content>
- Choi, W.-S., Kim, J.-S., Hur, J.-W., & Seong, J.-H. (2018). Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion using banana-shaped and straight cages: Radiological and clinical results from a prospective randomized clinical trial. *Clinical Neurosurgery*, 82(3), 289 – 297. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyx212>
- Cluster Bananero & Platanero del Ecuador. (n.d.). *Clúster Bananero del Ecuador*. Retrieved June 29, 2024, from <https://www.clusterbananerodelecuador.org/>
- COLCIENCIAS. (2006). *Plan Estratégico del Programa Colombiano de Prospectiva en Ciencia, Tecnología e Innovación*.
- CORBANA. (n.d.). *Banano de Costa Rica*. Retrieved July 8, 2024, from <https://www.corbana.co.cr/banano-de-costa-rica-2/#estadistica>
- Corporación Financiera Nacional B.P. (2024). *Ficha Sectorial Banano-Subgerencia de Análisis de productos y Servicios*.
- Cuervo, L. M. (2014). *Prospectiva en América Latina y el Caribe* (Naciones Unidas, Ed.). CEPAL.

- DANE. (2023a). *Boletín técnico Exportaciones Diciembre 2023*.
<https://www.dane.gov.co/files/operaciones/EXPORTACIONES/bol-EXPORTACIONES-dic2023.pdf>
- DANE. (2023b). *Productividad de los sectores y departamentos 2022*. Boletines.
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/productividad>
- David, R. K. (2018). How to create a breakthrough innovation: Futures research methodologies for disruptive innovation. In *Handbook of Research on Strategic Innovation Management for Improved Competitive Advantage* (Vol. 1). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-3012-1.ch015>
- Del Viejo, J., García, R., Rodríguez Porcel, M., Rojas, A., & Villa, J. L. (2021). *Retos y desafíos en cadenas de suministro en República Dominicana por efecto del COVID-19*.
<https://europa.eu/capacity4dev/value->
- Dita, M., Garming, H., Van Den Bergh, I., Staver, C., & Lescot, T. (2013). Banana in Latin American and the Caribbean: Current State, Challenges and Perspectives. *Acta Horticulturae*, 986, 365–380. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.986.39>
- DNP. (2021). Documento CONPES 4052: Política para la Sostenibilidad de la Caficultura Colombiana. In *Documento CONPES*.
- DOA. (2018). *Philippine Banana Industry Roadmap 2019-2022*. 11–52.
- DOA. (2022). *Philippine Banana Industry Roadmap 2021-2025*.
- DOST-PCAARRD, & Mendez, K. V. (2024, January 31). *Diagnostic Kit to revitalize the banana industry*. <https://www.pcaarrd.dost.gov.ph/index.php/quick-information-dispatch-qid-articles/diagnostic-kit-to-revitalize-the-banana-industry?highlight=WyJiYW5hbmEiXQ==>
- DOST-PCAARRD S&T Media Services. (2024, February 21). *Hybrid dehydrator helps mitigate postharvest losses, promote energy efficiency, and incorporate value-addition to food products*. <https://www.pcaarrd.dost.gov.ph/index.php/quick-information-dispatch-qid-articles/hybrid-dehydrator-helps-mitigate-postharvest-losses-promote-energy-efficiency-and-incorporate-value-addition-to-food-products?highlight=WyJiYW5hbmEiXQ==>
- EC. (2020). *A Farm to Fork Strategy for a Fair, Healthy and Environmentally-Friendly Food System*.

- Eckstein, K., Fraser, C., Botha, A., & Husselmann, J. (1998). Evaluation of various irrigation systems for highest economical yield and optimum water use for bananas. *Acta Horticulturae*, 490, 147–158. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.490.13>
- Enrique, C., & Narváez, M. (2015). *Study of Prospective Techniques and Methodologies Applied To Technology in Organizations*. 0–8.
- Escorsa, P., Sossa, J. W. Z., Escorsa, E., Montes, J. M., Ayarza, G., Arango, B., Chaur, J., Zarta, R. H., & Sarta, J. F. M. (2016). Ejercicio prospectivo del sector Educación para Panamá al año 2040 como estrategia para la identificación de oportunidades tecnológicas y de innovación. Fundación Ciudad del Saber (FCDS) Panamá. In *Fundación Ciudad del Saber* (Issue December). <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.34998.09284>
- FAO. (2017a). *PRODUCCIÓN DE BANANO ORGÁNICO EN LA REPÚBLICA DOMINICANA*. www.fao.org/world-banana-forum/es/
- FAO. (2017b). *Water footprint of the banana industry*.
- FAO. (2023a). *BANANA Market Review Preliminary results 2023*. <https://www.fao.org/documents/card/es?details=CC9120EN>
- FAO. (2023b). *Banana Market Review Preliminary results 2023*.
- FAO. (2023c). *Banana Market Review- Preliminary results 2023*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/db25a6ba-e947-4755-b5f0-cb1ee643f266/content>
- FAO. (2023d). *Banano. Análisis del Mercado 2022*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b7c671ae-c669-4f54-a7d2-c2fc9e4a489f/content>
- FAO. (2023e). *FAO STAT*. 2023. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- FAO. (2024). *Informe de la Cuarta Conferencia Global del Foro Mundial Bananero Sede de la FAO 12 y 13 de marzo de 2024*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cd2067es>
- FAO, & Gobernación de Antioquia. (2018). *PLAN INTEGRAL DE CAMBIO CLIMÁTICO DE ANTIOQUIA*.
- FAOSTAT. (2022). *Crops and livestock products*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Feschet, P., Fromm, I., Van Rijn, F., & Cruz, B. (2019). *Análisis de la cadena de valor del banano en la República Dominicana*. <https://europa.eu/capacity4dev/value->

- Finger, R. (2024). Europe's ambitious pesticide policy and its impact on agriculture and food systems. *Agricultural Economics (United Kingdom)*, 55(2), 265–269. <https://doi.org/10.1111/agec.12817>
- Flórez Martínez, D. H. (2013). *GESTIÓN TECNOLÓGICA PARA EL CASO ESPECÍFICO DE LA CADENA DEL BANANO TIPO CAVENDISH EN COLOMBIA*. <https://www.researchgate.net/publication/304576052>
- FONTAGRO. (2021). *Banano orgánico más productivo y eficiente cuando productores familiares se vuelven digitales*. <https://webstories.fontagro.org/banano-organico/es>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *FAOSTAT statistical database*. FAOSTAT Cultivos y Productos de Ganadería.
- Fresh Plaza. (2023, September 7). *Ecuador's banana industry invests more than 100 million dollars a year in security*.
- GIZ. (2021). *Costos de producción en el sector bananero*. https://www.nachhaltige-agrarlieferketten.org/fileadmin/user_upload/Costos-de-produccion-Colombia-ES.pdf
- Godet, M. (1993a). *De la anticipación a la acción. Manual de prospectiva y estrategia* (Marcombo, Ed.; 1st ed.).
- Godet, M. (1993b). *De la anticipación a la acción. Manual de prospectiva y estrategia* (Marcombo, Ed.; 1st ed.).
- Godet, M., & Durance, P. (2018). *Prospectiva Estratégica : problemas y métodos Prospectiva Estratégica : problemas y métodos*.
- Godet, M., Monti, R., Meunier, F., & Roubelat, F. (2000a). Caja de herramientas de prospectiva. *Gerpa Con La Colaboración de Electricité de France, Mission Prospective LA*, 73.
- Godet, M., Monti, R., Meunier, F., & Roubelat, F. (2000b). *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica*. <http://es.lapropective.fr/dyn/espagnol/bo-lips-esp.pdf>
- Gómez-Limón, J. A., Gómez-Ramos, A., & Sanchez Fernandez, G. (2009). Foresight analysis of agricultural sector at regional level. *Futures*, 41(5), 313–324. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2008.11.007>
- Gonzalez, G. G. (2016). *La Prospectiva en Iberoamérica: Pasado, Presente y Futuro*. <https://www.researchgate.net/publication/301203985>

- Gutiérrez, I. R., Pérez, G., Benega, R., & Gómez, L. (2002). Coberturas vivas de leguminosas en el plátano. *Cultivos Tropicales*, 23(3), 11–17.
- Guzmán, M., Sánchez, M., Sandoval, J. A., Bolaños, E., González, M., Samuels, J. Z., Ortega, R., & Vargas, R. (2016). *Afectación por caída de ceniza volcánica en plantaciones bananeras del Caribe de Costa Rica*. https://www.corbana.co.cr/wp-content/uploads/HD-n.%C2%B0-10-2016-Afectaci%C3%B3n_ceniza_volc%C3%A1nica.pdf
- Guzmán, M., Segura, R., González, M., Guzmán, J. A., Bolaños, E., & Sandoval, J. A. (2018). *MANEJO DE ÁREAS BANANERAS POST-INUNDACIÓN Recomendaciones para recuperación de la plantación y manejo de la producción en áreas inundadas*. https://www.corbana.co.cr/wp-content/uploads/HD-n.%C2%B0-7-2015-Manejo-post_inundaci%C3%B3n.pdf
- Hernandez, M. A., Ceballos, F., Berrospi, M. L., Maria, V., Perego, E., Brown, M., & Lopez, E. M. (2024). *Price and Volatility Transmission from International to Domestic Food and Fertilizer Markets in Central America*.
- ICA. (n.d.). *¿Cómo se puede diseminar la Marchitez por Fusarium Raza 4 Tropical-Foc R4T?* Retrieved April 13, 2024, from <https://www.ica.gov.co/getattachment/ICAComunica/PYP/Fusarium-R4T/Todo-sobre-el-fusarium.pdf.aspx?lang=es-CO>
- INEC. (2023). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua 2022*. https://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/catalog/999/related_materials
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2012). *Banano, plátano y otras musáceas*. <https://www.iniap.gob.ec/banano-platano-y-otras-musaceas/>
- Kessels-Habraken, M., Van der Schaaf, T., De Jonge, J., Rutte, C., & Kerkvliet, K. (2009). Integration of prospective and retrospective methods for risk analysis in hospitals. In *International Journal for Quality in Health Care* (Vol. 21, Issue 6). <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzp043>
- Linstone, H. A., Turoff, M., & Helmer, O. (2002). *The Delphi Method Techniques and Applications Edited by*.
- Martin, B. R. (1995). Foresight in Science and Technology. *Technology Analysis & Strategic Management*, 7(2), 139–168. <https://doi.org/10.1080/09537329508524202>

- Martínez Covaleda, H., & Peña Marín, Y. (2005). *La Cadena del Banano en Colombia*.
<http://www.agrocadenas.gov.co>
- Martínez, H. J., & Peña, Y. (2005). *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia Documento de Trabajo No. 60 LA CADENA DEL BANANO EN COLOMBIA*. <http://www.agrocadenas.gov.co>
- Martínez-Solórzano, G. E., Rey, J. C., Urias, C., Lescot, T., Roux, N., Salazar, J., & Rodríguez, Y. (2022). Banana bunchy top virus: Threat to musaceae in Latin America and the Caribbean. *Agronomia Mesoamericana*, 34(1). <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.49577>
- Medero, Á., Jiménez, A., Rica, S. C., Sánchez, A., Panamá, G., López, B., Rica, A. C., Martínez, C., Alberto, J., & Rica, C. (2016a). *La Prospectiva en Iberoamérica : Pasado, Presente y Futuro*.
- Medero, Á., Jiménez, A., Rica, S. C., Sánchez, A., Panamá, G., López, B., Rica, A. C., Martínez, C., Alberto, J., & Rica, C. (2016b). *La Prospectiva en Iberoamérica : Pasado, Presente y Futuro*.
- Medina Vásquez, J. (2011). *Marco Conceptual de la Prospectiva*.
- Medina Vásquez, J., Franco, C. A., Aguilera, A., Landinez, L. M., Aranzazú, C., & Ortíz, F. (2010). *Modelo de prospectiva y vigilancia tecnológica del sena para la respuesta institucional de formación* (pp. 1–130).
- Mercados. (2023, September 19). *El Banano de Costa Rica exhibirá sus avances sostenibles en Fruit Attraction*. 1. <https://revistamercados.com/el-banano-de-costa-rica-exhibira-sus-avances-sostenibles-en-fruit-attraction/>
- Minagricultura. (2021). *CADENA DE BANANO*.
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Banano/Documentos/2020-12-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Agricultura, G. y A. G. (2022). *El Agro en Cifras 2021*.
<https://precios.maga.gob.gt/archivos/agro-en-cifras/El-Agro-En-Cifras-2021.pdf>
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. (2022, April 11). *Sector bananero produce con calidad y buenas prácticas*. <https://guatemala.gob.gt/sector-bananero-produce-con-calidad-y-buenas-practicas/>

- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. (2022). *SECTORES AGROALIMENTARIO Y PESQUERO*. https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/ministerio-exterior/america-central-caribe/fichasectors_do_tcm30-626346.pdf
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), & Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (n.d.). *NAMA Musáceas*.
- Mohit, H., Sanjay, M. R., Techawinyutham, L., Siengchin, S., Nasser Al-Romaizan, A., Hussein, M. A., Khan, A., & Asiri, A. M. (2023). Banana/ coir biofibers and carbon/innegra fabrics and BN/MWCNT nanoparticles reinforced UV resistant polyester hybrid composites. *Construction and Building Materials*, 392. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132014>
- Möhring, N., Ingold, K., Kudsk, P., Martin-Laurent, F., Niggli, U., Siegrist, M., Studer, B., Walter, A., & Finger, R. (2020). Pathways for advancing pesticide policies. *Nature Food*, 1(9), 535–540. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00141-4>
- Nin-Pratt, A., Jan Stads, G., De Los Santos, L., & Muñoz, G. (2023). *Desatando la innovación: evaluación del papel de la I+D agropecuaria en América Latina y el Caribe*.
- Oliveira, A. S., de Barros, M. D., de Carvalho Pereira, F., Gomes, C. F. S., & da Costa, H. G. (2018). Prospective scenarios: A literature review on the Scopus database. *Futures*, 100, 20–33. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2018.03.005>
- OMPI. (2021). *La indicación geográfica “Banano de Costa Rica”: el apoyo a la sostenibilidad medioambiental*.
- Orjuela Garzón, W. A., Alejandra Reyes, P. M., & Sandoval, A. (2010). *AGENDA PROSPECTIVA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA LA CADENA PRODUCTIVA DE AGUACATE EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA* (Issue December).
- Orjuela Garzón, W. A., Alejandra Reyes, P. M., & Sandoval, A. (2020a). *AGENDA PROSPECTIVA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA LA CADENA PRODUCTIVA DE CAFÉ EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA* (Issue December).
- Orjuela Garzón, W. A., Alejandra Reyes, P. M., & Sandoval, A. P. (2020b). *AGENDA PROSPECTIVA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO* (Issue December).

- Orjuela Garzón, W. A., Alejandra Reyes, P. M., & Sandoval, A. P. (2020c). *AGENDA PROSPECTIVA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA LA CADENA PRODUCTIVA CÁRNICA-BOVINA EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA* (Issue December).
- Orjuela Garzón, W. A., Alejandra Reyes, P. M., & Sandoval, A. P. (2020d). *AGENDA PROSPECTIVA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA LA CADENA PRODUCTIVA DE ALGODÓN EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA* (Issue December).
- Palop, F., Martínez Cadavid, J. F., & Bedoya, A. (2012). *Guía Metodológica de práctica de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva* (ERICA, Ed.; 1st ed.).
- Panigrahi, N., Thompson, A. J., Zobelzu, S., & Knox, J. W. (2021). Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production. In *Scientia Horticulturae* (Vol. 276). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109735>
- Pappu, A., Patil, V., Jain, S., Mahindrakar, A., Haque, R., & Thakur, V. K. (2015). Advances in industrial prospective of cellulosic macromolecules enriched banana biofibre resources: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 79, 449 – 458. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.05.013>
- Patrick, S., Mirau, S., Mbalawata, I., & Leo, J. (2023). Time series and ensemble models to forecast banana crop yield in Tanzania, considering the effects of climate change. *Resources, Environment and Sustainability*, 14(August), 100138. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2023.100138>
- Perilla Maluche, R. B., Orjuela Garzón, W. A., & Parra Moreno, C. F. (2020). Análisis de futuro : algunos métodos alternativos a la “caja de herramientas” de la prospectiva francesa. In Sello Editorial Universidad del Tolima (Ed.), *NBER Working Papers*. <http://www.nber.org/papers/w16019>
- Philippine Council for Agriculture, A. and N. R. R. and D. (n.d.). *PCAARRD's Industry Strategic Science and Technology Programs*. Retrieved July 21, 2024, from <https://www.pcaarrd.dost.gov.ph/>
- Popper, R. (2008). How are foresight methods selected? *Foresight*, 10(6), 62–89. <https://doi.org/10.1108/14636680810918586>

-
- Prager, S. D., & Wiebe, K. (2021). Strategic foresight for agriculture: Past ghosts, present challenges, and future opportunities. *Global Food Security*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100489>
- Puebla, P. L. (2017). La prospectiva como herramienta de gestión. Su aplicación en el sector hídrico. *Universidad Nacional de General Sarmiento*.
- Ramírez, C. C., Zartha, J. W., Arango, B., & Orozco, G. L. (2016). Prospectiva 2025 de la carrera de ingeniería química en algunos países pertenecientes a la organización de estados americanos (OEA). *Formacion Universitaria*, 9(6), 127–138. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062016000600012>
- Ramm, G., Aguilar, N., & Salazar, C. (2021). *Costos de producción en el sector bananero*. Redagícola. (2020, May 25). *Retos y desafíos del sector bananero colombiano*. <https://redagricola.com/retos-y-desafios-del-sector-bananero-colombiano/>
- Restrepo Toro, J. D. (2016, November 16). *UdeA Noticias*. ¿Qué Alternativas de Desarrollo Hay En Urabá?
- Rodas Serrano, M. L. (2013). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de banano en la finca Marinalá, Guatemala*. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/9f7ae7ce-b47f-4502-96b7-797b4bb357e5/content>
- Rodríguez Cortezo, J. (2001a). Introducción a la prospectiva : Metodologías, fases y explotación de resultados. *Economía Industrial*, 6(342), 13–20.
- Rodríguez Cortezo, J. (2001b). Introducción a la prospectiva : Metodologías, fases y explotación de resultados. *Economía Industrial*, 6(342), 13–20.
- Salamanca Gómez, T. P., García Cáceres, R. G., & Rodríguez Álvarez, N. J. (2023). Caracterización estratégica de la cadena de suministro del banano. *Signos, Investigación En Sistemas de Gestión*, 15, 1–21. <https://doi.org/10.15332/24631140>
- Salamanca-Gómez, T. P., García-Cáceres, R. G., & Rodríguez-Álvarez, N. J. (2023). Caracterización estratégica de la cadena de suministro del banano. *Signos, Investigación En Sistemas de Gestión*, 15, 1–21. <https://doi.org/10.15332/24631140>
- Sánchez, M., Villalobos, R., Villalta, R., Carr, C., & Guzmán, M. (2021). *MEDICIÓN DE LA DERIVA EN APLICACIONES AÉREAS DE FUNGICIDAS PARA EL COMBATE DE LA*

- SIGATOKA NEGRA CON SISTEMA DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA (RPAS-DRONES) EN EL CULTIVO DE BANANO.* <https://www.corbana.co.cr/wp-content/uploads/HD-n.%C2%B0-21-2021-Deriva-RPAS-Dron.pdf>
- Sánchez, M., Villalta, R., & Guzmán, M. (2021). *COMBATE DE ENFERMEDADES POSCOSECHA EN BANANO (Musa AAA) CON EXTRACTOS METANÓLICOS DE HOJAS DE Musa spp. CON DIFERENTE GRADO DE RESISTENCIA A SIGATOKA NEGRA.* <https://www.researchgate.net/publication/360576658>
- Sandoval, J. (2021). *INFORME DE GESTIÓN DEL TRABAJO EN LA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES DE LA CORPORACIÓN BANANERA NACIONAL (CORBANA).* <https://www.corbana.co.cr/wp-content/uploads/Informe-Final-de-Gestion-Jorge-Sandoval-Director-de-Investigaciones.pdf>
- Sanhueza-Aros, J., & Peña-Cortés, F. (2022). Uso de la prospectiva estratégica, ordenación territorial y evaluación de impacto como base para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 25(Supl.1), 1–12. <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.nsupl.1.2022.2148>
- Saritas, O., & Kuzminov, I. (2017). Global challenges and trends in agriculture: impacts on Russia and possible strategies for adaptation. *Foresight*, 19(2), 218–250. <https://doi.org/10.1108/FS-09-2016-0045>
- Schneider, K., Barreiro-Hurle, J., & Rodriguez-Cerezo, E. (2023). Pesticide reduction amidst food and feed security concerns in Europe. *Nature Food*, 4(9), 746–750. <https://doi.org/10.1038/s43016-023-00834-6>
- Segura, R., Ortega, R., González, M., Guzmán, J. A., & Sandoval, J. A. (2019). *Prácticas de manejo para mitigar el efecto causado por el déficit hídrico en las plantaciones bananeras de Costa Rica.*
- SENA. (2015). *Caracterización subsector bananero en Colombia.*
- Singh, A. P., Sahu, P., Chug, A., & Singh, D. (2022). A Systematic Literature Review of Machine Learning Techniques Deployed in Agriculture: A Case Study of Banana Crop. In *IEEE Access* (Vol. 10, pp. 87333–87360). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3199926>

- Smith, C. J., Sammons, H. M., Fakis, A., & Conroy, S. (2013). A prospective study to assess the palatability of analgesic medicines in children. *Journal of Advanced Nursing*, 69(3), 655 – 663. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2012.06050.x>
- Solarte-Montufar, J. G., Zartha-Sossa, J. W., & Osorio-Mora, O. (2021). Open innovation in the agri-food sector: Perspectives from a systematic literature review and a structured survey in msmes. In *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity* (Vol. 7, Issue 2). <https://doi.org/10.3390/joitmc7020161>
- Soriano Soriano, R., Díaz, G., & Vásquez Frías, J. (2019). La producción de bananos asociados con leguminosas y plantas forrajeras en la República Dominicana. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 2(2), 59–65. <https://doi.org/10.22206/cac.2019.v2i2.pp59-65>
- Suarez Guzman, L. M., Escobar Marulanda, N. M., & Zartha Sossa, J. W. (2020). A prospective study to the year 2032 of the plantain value chain, an approach towards academic programs in the agroindustrial sector. *Informacion Tecnologica*, 31(6), 95–104. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000600095>
- Suarez, L. M., Agudelo, D. A., Zartha, J. W., & Orozco, G. L. (2021). La cadena productiva de mora en el Departamento Risaralda en el marco de un estudio de prospectiva a 2032. *Scientia et Technica*, 26(2), 183–190. <https://doi.org/10.22517/23447214.23921>
- Suarez-Guzman, L. M., Escobar-Marulanda, N. M., & Zartha-Sossa, J. W. (2020a). A prospective study to the year 2032 of the plantain value chain, an approach towards academic programs in the agroindustrial sector. *Informacion Tecnologica*, 31(6), 95–104. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000600095>
- Suarez-Guzman, L. M., Escobar-Marulanda, N. M., & Zartha-Sossa, J. W. (2020b). A prospective study to the year 2032 of the plantain value chain, an approach towards academic programs in the agroindustrial sector; [Estudio de prospectiva al 2032 de la cadena de plátano, un enfoque hacia los programas académicos del sector agroindustr. *Informacion Tecnologica*, 31(6), 95 – 104. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000600095>
- Subdirección General de Relaciones Internacionales y Asuntos Comunitarios. (2023). *Sectores Agroalimentario y Pesquero Guatemala 2023*. https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/ministerio-externo/america-central-caribe/fichasectores_gt-reduc_tcm30-578265.pdf

- Tang, F. H. M., Lenzen, M., Mcbratney, A., & Maggi, F. (2021). Risk of pesticide pollution at the global scale Authors. *Nature Geoscience*, 14(4), 206–210. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41561-021-00712-5>
- Tropical Fruits Trading. (2013). *Historia del Banano*.
- UNCTAD. (2016). *Banana. An INFOCOMM commodity profile*.
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA. (2022). *Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo*.
- Vallejo, M., Chacón, M., Laprade, S., González, X., González, G., Blanco, A., & Lobo, A. (2020). *LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO DE NAMA MUSÁCEAS*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E14-11076.pdf>
- Vallejo Vera, J., & Morán Murillo, N. (n.d.). *Análisis de la cadena de valor de banano entre ecuador y Hungría, para la creación de un canal B2B que fortalezca la participación y sostenibilidad de las exportaciones ecuatorianas dentro de la Unión Europea*. 17–32.
- Varghese, A., & Mengersen, K. (2019). *Estimating a novel stochastic model for within-field disease dynamics of banana bunchy top virus via approximate Bayesian*.
- Varma, V., & Bebbler, D. P. (2019). Climate change impacts on banana yields around the world. In *Nature Climate Change* (Vol. 9, Issue 10, pp. 752–757). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0559-9>
- Vergara Peña, D. J. (2023). *Contexto cadena de banano*. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/39784/Ver_documento_39784.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Villalta, R., Carr, C., & Guzmán, M. (2017). *Punteado o “speckling” del fruto de banano*.
- Voora, V., Bermúdez, S., Farrell, J. J., Larrea, C., & Luna, E. (2023). *Banana prices and sustainability*. <https://www.iisd.org/system/files/2023-03/2023-global-market-report-banana.pdf>
- WBF. (2023). *World Banana Forum (WBF) Maximum Residue Levels: Regulations, Impacts and Opportunities for Sustainable Banana Production and Trade*.
- Yepes-Nuñez, J. J., Urrútia, G., Romero-García, M., & Alonso-Fernández, S. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Revista Espanola de Cardiologia*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>

Yero, L. (1997). *Los estudios del futuro en América Latina*.

Zaini, H. M., Saallah, S., Roslan, J., Sulaiman, N. S., Munsu, E., Wahab, N. A., & Pindi, W. (2023a). Banana biomass waste: A prospective nanocellulose source and its potential application in food industry – A review. *Heliyon*, 9(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18734>

Zaini, H. M., Saallah, S., Roslan, J., Sulaiman, N. S., Munsu, E., Wahab, N. A., & Pindi, W. (2023b). Banana biomass waste: A prospective nanocellulose source and its potential application in food industry – A review. *Heliyon*, 9(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18734>

Zartha Sossa, J. W., Palacio Piedrahita, J. C., Orozco Mendoza, G. L., Hincapié Llanos, C. A., Ríos Mesa, A. F., & Álvarez López, C. (2023a). Prospectiva de la ingeniería agroindustrial en Iberoamérica al 2035: aplicación de la metodología de escenarios y el método Delphi. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2743

Zartha Sossa, J. W., Palacio Piedrahita, J. C., Orozco Mendoza, G. L., Hincapié Llanos, C. A., Ríos Mesa, A. F., & Álvarez López, C. (2023b). Prospectiva de la ingeniería agroindustrial en Iberoamérica al 2035: aplicación de la metodología de escenarios y el método Delphi. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2743

Anexos

Se muestra la estructura de los anexos, la información completa se encuentra en los archivos adjuntos a este trabajo

Anexo A. Ecuador

Ecuador se caracteriza por el ser el mayor exportador a nivel mundial de banano y el quinto productor a nivel mundial, a su vez las exportaciones de banano representan para este país cerca de la quinta parte de las exportaciones no petroleras. Es clasificado como un cultivo permanente y según datos oficiales para el año 2022 se contaba con 172.653 hectáreas con una participación del 12% de la superficie total superada por el cacao y otros cultivos permanentes, las principales provincias en donde se encuentran estos cultivos corresponden a: Los Rios (42,3%), Guayas (28%), El Oro (25,1%). Un sector que genera entre directos e indirectos más de 250.000 empleos. (INEC, 2023).

La producción bananera de Ecuador además de satisfacer la demanda interna de consumo se ubica como el líder global exportador y de acuerdo con los reportes de (Corporación Financiera Nacional B.P, 2024) sus principales mercados y su representación de participación es como se expresa a continuación: Unión Europea (26.97%), Rusia (21,93%), Medio Oriente (14.83%), Estados Unidos (12,12%), Cono Sur (7.28%), Asia (6.28%), Reino Unido (1.32%) y otros países-regiones (9.27%).

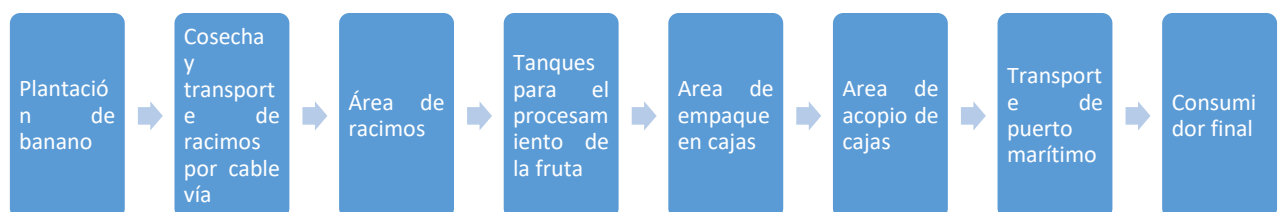
Las exportaciones de banano de Ecuador durante el 2023 presentaron un comportamiento positivo mostrando un crecimiento del 7% en los envíos representado una cantidad total de 6.2 millones de toneladas exportadas. Este crecimiento estuvo respaldado por la disminución de las tarifas en los fletes marítimos llegando a niveles preandémicos que permitió el crecimiento de la importación de bananos de Ecuador a la Unión Europea, también cabe destacar el crecimiento de la demanda de bananos orgánicos donde Ecuador asegura su liderazgo como exportador (FAO, 2023c). Para entender la descomposición de las variaciones de las exportaciones de banano, la Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador (2023) en su informe estadístico encontró que, en promedio, el 67% de las fluctuaciones en las exportaciones de cajas de banano se atribuyen a los precios de los fungicidas, mientras que el 18% se relaciona con los precios del papel, y el 15% se asocia con los precios de los fertilizantes en las exportaciones de banano (p.75)

A nivel nacional está el Clúster Bananero del Ecuador, esta es una organización que agrupa los principales gremios productores y exportadores. Representando al 100% de la exportación y al 60% de la producción bananera de Ecuador. Este clúster se conforma así, (Cluster Bananero & Platanero del Ecuador, n.d.):

- Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador (AEBE): representa al 70% de las exportaciones de banano, tiene 44 socios principales y representantes de toda la cadena de suministro.
- Asociación de Comercialización y Exportación de Banano (ACORBANEC): es un gremio de exportadores que representa cerca del 40% de la exportación de banano, los socios se encuentran en igualdad de condiciones.
- Corporación Regional de Bananeros Ecuatorianos (AGROBAN): gremio de agricultores bananeros sin ánimo de lucro. Busca entregar a sus miembros servicios, herramientas de innovación, transferencia de tecnología y capacitación en la optimización de la producción.
- Cámara de Agricultura de la II Zona del Ecuador: en Guayas, Los Ríos, El Oro, Santa Elena y Galápagos.
- Asociación de Exportadores de Plátano (ASOEXPLA): Representa al sector platanero exportador del país.

La cadena de producción del banano en Ecuador se representa de la siguiente manera como se muestra en la (**Figura A1**)

Figura A1
Cadena producción de banano en Ecuador



Nota: proceso de producción de banano. Adaptado de (Corporación Financiera Nacional B.P, 2024)

Los rendimientos de los cultivos de banano están dados por la proporción cajas/hectárea/año, que a su vez están relacionados con factores como el nivel de tecnificación, zona de producción y el tamaño de la explotación, sin embargo, juega un papel crucial en el rendimiento la infraestructura utilizada para la producción y el manejo del cultivo que se clasifica en tecnificado, semitecnificado y no tecnificado (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2012)

Es importante destacar que para los productores bananeros existen ciertas presiones que tienen una importancia significativa en los niveles de producción, ganancias y presencia en el mercado que son: los márgenes de ganancia se mantienen muy ajustados a razón de los altos costos de producción y los bajos precios mínimos; altos gastos en mantener medidas rigurosas para el *Foc TR4* en vista de los brotes y dificultades que presentan Colombia y Perú (FAO, 2023c). Además de los casos de introducción de sustancias ilegales en los contenedores de banano que implican gastos cercanos a los 100 millones de dólares anuales en medidas de seguridad (personal de vigilancia, cámaras de vigilancia, tecnología de rastreo, satélites, sistemas de inteligencia artificial, entre otros para prevenir los actos criminales que causan problemas de seguridad y que a su vez pueden tener serias consecuencias en la estabilidad de la fruta en los mercados internacionales.(Fresh Plaza, 2023).

Otros de los desafíos que experimenta el sector bananero del Ecuador están representados por las condiciones climáticas atípicas que afectan adversamente la producción, el encarecimiento de los insumos de producción y las crisis logísticas. Las consecuencias inmediatas se ven en los pequeños productores que dejan de implementar prácticas esenciales de mantenimiento en las plantaciones aumentando la vulnerabilidad ante amenazas climáticas y enfermedades fúngicas. Las amenazas latentes producto del cambio climático producto del El Niño se asocian con el desbordamiento de ríos y quebradas, cortes de vías, deslizamientos de tierra, dejar zonas incomunicadas y afectar la movilidad y transporte de bienes; y de manera directa comprometen la productividad llevando a la disminución por la erosión del suelo y saturación de agua que destruyen

las raíces, perjudicando la calidad de las frutas al promover una maduración temprana y la favorabilidad para la proliferación de plagas y enfermedades.(Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador, 2023). Otros desafíos de la industria se representan en la competencia con otros productos estacionales, restricciones en mercado europeo por el uso de la molécula *Oxamyl* (para el control de nemátodos), los cuellos de botella del Canal de Panamá.

Los productores manifiestan la necesidad de buscar herramientas y alternativas que den un alivio a la industria como el drawback (mecanismo mediante el cual la autoridad tributaria devuelve los aranceles pagados por insumos importados, incorporados en los procesos de producción a los productores de bienes exportables), reevaluación de aranceles, nuevos acuerdos comerciales, la anticipación y mitigación de impactos del cambio climático y la revisión de la ley de banano. (Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador, 2023).

Sin embargo, es importante señalar que Ecuador, a pesar de ser líder en producción y exportación de banano en el mundo, no cuenta con una institución de investigación establecida sobre el banano (DOA, 2022). Como alternativas a la investigación, en Ecuador se encuentra el Programa Nacional de Banano, Plátano y Otras Musáceas que promueve el desarrollo de mejores prácticas de cultivo, la generación de tecnologías limpias usando productos amigables con el medio ambiente, prácticas de conservación de los recursos naturales. Dentro de las tecnologías desarrolladas producto de la investigación el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (2012)ha entregado al sector recomendaciones en las siguientes tecnologías:

- Manejo integrado del nemátodo (*Radopholus similis*): dinámica poblacional, control químico, rotación de nematicidas, dosis, época de aplicación, control biológico.
- Control integrado de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*): Epifitiología, control químico, prácticas culturales y manejo para evitar la pérdida de sensibilidad del hongo a los fungicidas.
- Manejo integrado del picudo negro (*Cosmopolites sordidus*): dinámica poblacional, manejo biológico (uso de entomopatógenos), prácticas culturales (selección, saneamiento

y desinfección del material de siembra, deshije, deschante, uso de trampas) y control químico.

-Manejo integrado del virus del estriado del banano (BSV): dinámica poblacional de vectores, prácticas culturales y químicas.

-Manejo integrado de insectos plaga en banano – plátano: parasitoides, predadores, entomopatógenos.

-Nutrición mineral: N – P – K, fuentes, dosis, época de aplicación, densidades de siembra en banano. (p.1)

Política Ecuador

Tabla A1

Normativa asociada al cultivo del banano en Ecuador

Norma	Categoría	Objetivo
Ley que regula la producción y comercio del banano (Codificación 13)	Producción y cultivo	<ul style="list-style-type: none"> - Prohíbe nuevas siembras sin autorización - Solo plantaciones registradas pueden exportar - Registro obligatorio en el MAG
Ley para estimular y controlar la producción y comercialización del banano	Comercialización	<ul style="list-style-type: none"> - Precio mínimo oficial obligatorio - Prohíbe pagar por debajo del precio mínimo - Calificación de exportador obligatoria
Requisitos fitosanitarios y de calidad	Exportación	<ul style="list-style-type: none"> - Certificados fitosanitarios - Inspección y fumigación - Cumplimiento de estándares internacionales
Documentación obligatoria	Exportación	<ul style="list-style-type: none"> - Factura comercial - Conocimiento de embarque - Certificado de origen y otros documentos aduaneros

Etiquetado y embalaje	Exportación	- Etiquetado y empaque conforme a normas internacionales y requisitos del país de destino
Certificado de Control (COI) y sistema TRACES	Exportación a la UE	Obligatorio para banano orgánico - Garantiza trazabilidad
Inscripción ante el MAG	Registro de Plantaciones	- Presentar RUC, certificado de gravámenes, historial de dominio, plano georreferenciado

Nota. Elaboración propia

Anexo B Guatemala

Es el segundo exportador mundial de banano para el 2023 y el exportador líder al mercado de Estados Unidos; su cultivo genera cerca de unos 300.000 empleos directos e indirectos y es uno de los principales productos de exportación representando cerca del 30% del PIB Agrícola y cuenta con unas 77.000 hectáreas sembradas (Subdirección General de Relaciones Internacionales y Asuntos Comunitarios, 2023). El departamento de Escuintla tiene la mayor cantidad de hectáreas sembradas con unas 37.755 ha (49.15%), Izabal con 14.000 ha (19.4%), San Marcos con 14534 ha (18.92%) y con cultivos inferiores al 5% de hectáreas sembradas se encuentran los departamentos de: Suchitepéquez, Retalhuleu, Quetzaltenango, Jutiapa, Alta Verapaz, Santa Rosa, Chiquimula. (Ministerio de Agricultura, 2022).

La producción bananera de Guatemala se ha visto influenciada positivamente en sus niveles de crecimiento para la década de los setenta y ochenta, donde presentó crecimientos constantes a un ritmo anual del 1% e incluso se aceleró a un ritmo del 5% de crecimiento anual acelerado en los años noventa. Estos crecimientos en la producción han permitido que las exportaciones de banano sean para Guatemala uno de los productos insignia de exportación en los que se destacan el café y el azúcar. (Asociación de Productores Independientes de Banano, n.d.-a). Los principales destinos de exportación son Estados Unidos con un 90% de participación contando con la favorabilidad de cercanía geográfica y el otro 10% está destinado al mercado de la Unión Europea y Asia.

Las exportaciones de banano para el 2023 se estimaron en 2.4 millones de toneladas para el país fue un año de condiciones muy favorables en la producción sumado a las inversiones que se han realizado en estos cultivos en el país que permiten que sean los bananos más económicos disponibles en el mercado global. (FAO, 2023c).

Cerca del 80 % de la producción y una cuarta parte de la exportación bananera es realizada por empresarios guatemaltecos llamada la segunda época bananera, donde la Compañía United Fruit Company (UFCO) dejó de ser el principal productor y exportador de la fruta. La mayoría de estos empresarios hacen parte de la Asociación de Productores Independientes de Banano trabajando para promover el cultivo del banano en condiciones responsables en cuanto a los aspectos labores, ambientales, sociales en pro de las mejores prácticas. (Asociación de Productores Independientes de Banano, n.d.-b). El banano es producido bajo los lineamientos y altos estándares de calidad exigidos por las certificaciones internacionales que además garantizan la promoción de los derechos fundamentales de los trabajadores, el cuidado y respeto al medio ambiente y la sostenibilidad de los recursos naturales, entre las certificaciones que tienen están: Global G.A.P, Rainforest Alliance, NCS International, Walmart®.

Guatemala respecto a los otros países que lideran la producción de banano de exportación goza de una gran ventaja, y es aquella asociada con la productividad de sus cultivos, es por esto por lo que hace parte de los referentes en productividad bananera alcanzando las 3.200 cajas por hectárea mientras el líder exportador Ecuador alcanza una productividad de 1.950 cajas por hectárea (GIZ, 2021).

A fin de mantener la producción bananera e implementar medidas preventivas son muchas las acciones y esfuerzos realizados por el Ministerio de Agricultura, ganadería y Alimentación (MAGA) y los productores bananeros en lo relacionado al *Fusarium Oxisporum Raza 4 Tropical (FoC TR4)* que a la fecha no ha sido detectado en el territorio para la prevención, preparación, buenas prácticas de higiene a fin de evitar el ingreso de esta enfermedad fitosanitaria que podría presentar una gran amenaza para los cultivos y disminuyendo el volumen de producción. (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, 2022). Así mismo, con el fin de proteger plantaciones de banano se han implementado alrededor de 11 puntos de monitoreo satelital para

mantener bajo control más de 4.000 hectáreas proyecto que cuenta con el apoyo de la embajada de la República China. (AGN, 2023).

Algunas de las prácticas de los productores bananeros se enfocan sus esfuerzos por promover el uso responsable del agua, la protección de la fruta con bolsas sin agroquímicos que pueden ser reutilizadas, la optimización de suelos mediante la reutilización del 80% de la planta del banano como aporte de materia orgánica y el uso responsable de agroquímicos acorde a la lista de “plaguicidas de la red de Agricultura Sostenible”, trabajos dignos y salarios decentes. (AgroAmerica, 2023).

Para el caso de los productores bananeros, dependen en gran medida de la investigación realizada por Chiquita y Dole en Costa Rica(Nin-Pratt et al., 2023)

Política

Tabla B1

Normativa asociada al cultivo del banano en Guatemala

Norma/Política	Categoría	Objetivo	Detalles relevantes
Decreto 7-2020 (Ley de Protección para el Cultivo del Plátano y el Banano)	Protección fitosanitaria	-Prohibición de importación de material vegetativo de países con Fusarium R4T - Registro obligatorio de plantaciones ante el MAGA -Inspecciones periódicas con unidades caninas	Multas hasta el 10% del valor comercial de la cosecha o cierre de operaciones
Acuerdo Gubernativo 157-2020 (Reglamento de la Ley)		-Protocolos de bioseguridad para transporte interno	Sanciones administrativas por incumplimiento

		-Vigilancia epidemiológica coordinada con OIRSA -Simulacros de contingencia	
Estrategias contra Fusarium R4T	Prevención de plagas	-Fumigación obligatoria de contenedores en puertos -Restricciones a viajeros con decomiso de productos vegetales no declarados - Manejo integrado de plagas con rotación de cultivos	Prioriza variedades resistentes desarrolladas con centros internacionales (ej. CATIE)
Registro de exportadores	Exportación	-Código de exportador mediante VUPE (Ventanilla Única) - Inscripción en Régimen Habitual de Exportaciones (SAT-0471)	Verificación de antecedentes penales y fiscales
Documentación obligatoria		-Certificado fitosanitario internacional (MAGA) -DUA integrada electrónicamente con factura y lista de empaque -Códigos QR para trazabilidad	Retención de carga por incumplimiento

Normas de embalaje	Logística	- Cajas ISO 9001 con ventilación controlada - Trazabilidad desde el productor hasta el puerto	Cumplimiento de estándares internacionales de transporte marítimo
DR-CAFTA	Acuerdos comerciales	- Acceso preferencial arancelario a EE.UU. (0% para banano fresco) -Armonización de normas sanitarias con FDA	Facilita exportación de banano orgánico y de comercio justo
Protocolo de Nagoya		-Regulación de acceso a recursos genéticos de variedades nativas -Contratos de bioprospección para beneficios comunitarios	Protege derechos de comunidades locales sobre biodiversidad
Enfermedades y financiamiento	Desafíos	-Fusarium R4T como amenaza global -Financiamiento limitado para pequeños productores -Adaptación a normativas de huella de carbono	Requiere inversión en tecnología y capa

Nota. Elaboración propia

Anexo C Costa Rica

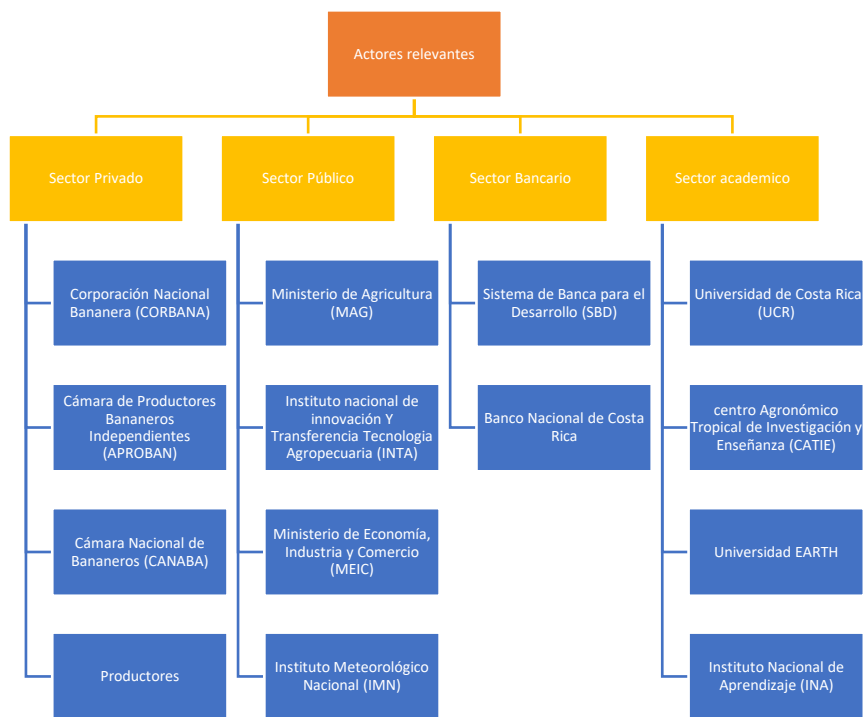
Costa Rica se posiciona como el tercer exportador a nivel mundial de banano, casi el 1% del territorio está dedicado a la producción bananera, la mayor cobertura de plantación de banano de variedad comercial se encuentra en la región Huetar Caribe en la provincia de Limón que concentra cerca del 63.41% del área cultivada, en los cantones de Matina, Siquirres y Pococí. En el país hay cerca de 56.872 hectáreas sembradas, donde el 75% (42.855 ha) de esta extensión corresponde al banano de tipo exportación en 153 fincas productoras independientes y compañías trasnacionales en las que destacan: Chiquita, Fyffes PLC, Dole, Del Monte. Dentro de la producción bananera hay cerca de 1.737 productores, de los cuales 85% son pequeños productores, 12% medianos y 3% grandes que abarcan el 86% del área de producción. A su vez, la industria como motor económico y social genera cerca de 40.000 empleos directos y 100.000 indirectos. (Vallejo et al., 2020).

Cerca de los 124 millones de cajas de banano tienen como mercado destino de exportación unos 35 países, de los que se destacan Estados Unidos con (30%), la Unión Europea (58.7%) donde destacan Holanda, Reino Unido, Italia, España. (Mercados, 2023). Para el periodo de 2023 las exportaciones se vieron afectadas por las condiciones climáticas desfavorables asociadas a exceso de lluvia, inundaciones y el paso de tormentas tropicales y el retraso en la aplicación de fertilizantes en el periodo de 2022 que redujo la productividad de las plantas. (FAO, 2023c).

En la cadena de valor y organización del gremio bananero se destacan como principales actores privados, público, bancario y académico que aportan al desarrollo desde sus distintas áreas de conocimiento, como se muestra a continuación en la **(Figura CI)**.

Figura C1

Actores relevantes cadena producción banano de Costa Rica



Nota: Elaboración propia adaptado de (Vallejo et al., 2020)

Cada uno de estos actores tiene un papel fundamental que aporta conocimiento, valor y progreso para la cadena productiva, como se muestra en la siguiente **Tabla C1**.

Tabla C1

Funciones de los actores de la cadena producción banano de Costa Rica

Siglas	Entidad	Funciones
CORBANA	Corporación Nacional Bananera	Contribuye al desarrollo bananero, al fortalecer la participación de empresas de la producción y comercialización de banano

APROBAN	Cámara de Productores Bananeros Independientes	Agrupar los productores independientes de banano
CANABA	Cámara Nacional de Bananeros	Agrupar productores y compañías comercializadoras. Que en conjunto analizan los problemas de la actividad bananera
CNAA	Cámara Nacional de Agricultura y Agroindustria	Agrupar los transportistas, intermediarios, cámara de insumos y consumidor final.
MAG	Ministerio de Agricultura	Apoyo técnico oficial al sector agropecuario. Apoya el programa Nacional Sectorial de Musáceas (que apoya la transferencia de tecnología)
INTA	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria	Contribuir al mejoramiento y la sostenibilidad del sector agropecuario a través de la generación, innovación, validación, investigación y difusión de tecnología en beneficio de la sociedad.
MEIC	Ministerio de Economía, Industria y Comercio	Regular los precios. Facilitar el acceso a otros mercados, mediante la intervención de regulaciones.
IMN	Instituto Meteorológico Nacional	Apoyar y entregar información relacionada con el manejo, predicción y divulgación de información climática. Pronóstico de clima, y alertar sobre cambios extremos o amenazas de fenómenos.
SBD	Sistema de Banca para el Desarrollo	Entregar mecanismos para la financiación de proyectos productivos.

Nota: Elaboración propia adaptado de (Vallejo et al., 2020)

Cabe destacar que la producción de banano tiene un alto compromiso con la protección del medio ambiente, mantener el equilibrio con la naturaleza, a través del fomento de modelos de producción responsables y sostenible. Así mismo, son grandes los esfuerzos que hace el país en temas asociados a la investigación, generación, transferencia y difusión de tecnologías para el sector agropecuario (Vallejo et al., 2020). Como parte de los esfuerzos para relacionados con la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) se integra el programa de NAMA Musáceas que busca según explica Vallejo et al. (2020) “abarcar acciones de mitigación y adaptación a los cambios del clima, en la producción primaria, empaque y comercialización de las musáceas en Costa Rica hasta pared de buque (para el caso de exportación)” (p.26).

El sector a través de la Comisión Ambiental Bananera (CAB) impulsa modelos de producción responsable y sostenible, trabajando en ejes como el cuidado del agua en las cuales cerca del 90% de las empacadoras incluyen prácticas de ahorro del agua mediante sistemas de recirculación y la disminución de la profundidad de las pilas de lavado de fruta, el reciclaje se practica en el 100% de las fincas bananeras con el manejo de residuos sólidos, reciclaje de mecates y bolsas en el cultivo y la instalación de trampas que impidan que residuos sólidos lleguen a los cuerpos de agua, y la incorporación de proyectos sociales que buscan beneficiar a las personas y comunidades de influencia de las fincas bananeras. (CORBANA, n.d.). Cabe a la vez destacar que el compromiso de la producción bananera con la sostenibilidad medioambiental es plausible a través del logro de la indicación geográfica “Banano de Costa Rica” otorgada en 2011 que garantiza al consumidor el origen, calidad y el estricto compromiso social y medioambiental como criterios de producción. (OMPI, 2021). A su vez, desde el Foro Mundial Bananero (FMB) se destacan los esfuerzos en materia de sostenibilidad y gestión de emisiones del País, por lo que se implementó una estrategia de prueba piloto en 2017 para desarrollar una guía metodológica para el sector a fin de que los productores puedan calcular la huella de carbono (fertilizantes, combustibles fósiles, aceites, electricidad), reportar las emisiones, la huella de agua y algunas recomendaciones técnicas para concretar la reducción de emisiones. (Chaverri Vallejo et al., 2017)

En materia de investigación, desde CORBANA se lidera el Centro de Investigaciones que destaca como uno de los centros más prestigiosos en América Latina, se desarrollan con rigor

científico estudios en: fertilidad y nutrición, fitopatología, nematología, biotecnología, suelos y drenajes, control biológico, microbiología de suelos, agronomía, biología molecular.

Estos estudios o aplicaciones destinados a las mejoras en los métodos asociados con la producción de banano, dichos resultados son publicados en las “hojas divulgativas” y son puestos al servicio del productor bananero de las cuales destacan:

- El informe publicado por Sandoval (2021)El Banco de Germoplasma de la CORBANA: Una Fuente Valiosa de Genes (2009). Este banco de germoplasma tiene el objetivo de preservar la diversidad genética, realizar mejoramiento genético para determinar la resistencia a plagas y enfermedades. Este banco se encuentra registrado en la base de datos “Biodiversity International” como ente mundial que coordina y regula recursos fitogenéticos de la FAO. (p.14)
- Sánchez et al., 2021 Medición de la deriva en aplicaciones aéreas de fungicidas para el combate de la Sigatoka Negra con sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS-DRONES) en el cultivo de banano: concluyendo que los drones son una los drones constituyen una valiosa alternativa para la aplicación aérea de fungicidas en áreas restringidas para el avión, dejando una zona de amortiguamiento de 5 m.
- Sánchez, Villalta, et al., 2021 Combate de enfermedades poscosecha en banano (*Musa AAA*) con extractos metanólicos de hojas de *Musa SPP*. con diferente grado de resistencia a Sigatoka Negra. Primer estudio en el que se evalúa el potencial de los extractos de hojas de especies de *Musa* para el combate de enfermedades poscosecha en banano y que incluye además un amplio rango de especies y cultivares de este género. (p.13)
- Prácticas de manejo para mitigar el efecto causado por el déficit hídrico en las plantaciones bananeras de Costa Rica. Indicando los efectos negativos para las plantas por el bajo contenido de agua en el suelo y se entregan recomendaciones para mitigar el efecto. (Segura et al., 2019).
- Punteado o “speckling” del fruto de banano. Describe todo los síntomas y aspecto físico en la fruta, agentes causales y entrega indicaciones para manejo de la enfermedad. (Villalta et al., 2017).

- Afectación por caída de ceniza volcánica en plantaciones bananeras del Caribe de Costa Rica. Explica los efectos y daños producidos por la ceniza volcánica y se entregan recomendaciones en cuanto al embolse prematuro del racimo, las dimensiones de las perforaciones, tipos de fundas a utilizar, lavado de la fruta. Monitoreo del pH y composición química del suelo. (Guzmán et al., 2016).
- Recomendaciones para recuperación de la plantación y manejo de la producción en áreas inundadas. Explica los efectos en el suelo en condición de inundación, lo que sucede en la planta (susceptibilidad al ataque de patógenos), entrega recomendaciones para implementar luego de la inundación que incluyen: prácticas culturales, fertilización edáfica y foliar. (Guzmán et al., 2018).

La Dirección de Investigaciones de CORBANA con su apuesta desde la aplicación de la tecnología e innovación por medio del método científico para mantener una alta productividad en la producción bananera destaca como la investigación al servicio del productor ha permitido que Costa Rica sea un referente mundial en productividad sin aumento de cultivo cercano a las 2400 cajas por hectárea por año luego de la adopción de las técnicas desarrolladas por CORBANA que incluyen el paquete de fertilización recomendado. (Sandoval, 2021). A su vez, el Informe de Gestión publicado en 2021 destacan los temas de investigación como el estudio de problemas fitosanitarios que afectan los cultivos, manejo del suelo, agricultura de precisión, biotecnología, diagnóstico de enfermedades, control biológico.

La producción de banano en Costa Rica ha alcanzado altos niveles de productividad que le permiten competir con países de bajo costo de la producción como Guatemala y Ecuador, esto es el resultado de altos niveles de especialización en labores de cultivo y empaque, lo que significa requerir menos mano de obra por hectárea; a su vez, CORBANA con su departamento de investigación ha permitido que el país sea un líder en innovación tecnológica que ha permitido llevar servicios a otros países como Ecuador, Guatemala, Honduras y Colombia (Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) & Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), n.d.)

A su vez, en materia de Investigación y Desarrollo (I+D) privada Costa Rica destaca como uno de los principales centros, esto debido a los esfuerzos de multinacionales como Chiquita Brands International que centra sus esfuerzos en la mejora genética, la poscosecha y protección de los cultivos de banano; mientras que Dole investiga sobre la fisiología de la fruta, biocontrol, mejora genética y micropropagaciones, ambas multinacionales están asociadas a CORBANA. (Nin-Pratt et al., 2023)

Política

Tabla C2

Normativa asociada al cultivo del banano en Costa Rica

Norma/Política	Categoría	Objetivo	Detalles relevantes
Ley de Fomento Bananero (Ley N.º 4185 y otras)	Financiamiento y apoyo	<ul style="list-style-type: none"> - Créditos preferenciales para pequeños y medianos productores (hasta 250 ha) - Prioridad a cooperativas (ej. Coopebataán R.L.) - Asistencia técnica del MAG en siembra, producción y empaque 	<ul style="list-style-type: none"> Excepción de límites para cooperativas (800 ha) Garantías prendarias sobre producción futura
Ley N.º 8063 (Identificación del Banano en mercados internacionales)	Identificación comercial	<ul style="list-style-type: none"> -Obligación de etiquetado con origen costarricense - Protección de la marca país 	<ul style="list-style-type: none"> Refuerza competitividad en mercados globales
Reglamento de aplicaciones terrestres de agroquímicos (Borrador MAG 2025)	Regulación ambiental	<ul style="list-style-type: none"> -Control de deriva en fumigaciones -Uso seguro de plaguicidas 	<ul style="list-style-type: none"> En fase de aprobación (incluye protocolos técnicos)

Actualización del marco regulatorio de biotecnología (2023)	Bioseguridad	-Permite cultivos editados genéticamente (ej. banano resistente a sigatoka y fusarium) - Simplifica trámites para nuevos desarrollos	Primeros cultivos editados podrían aprobarse en 2024
Ley N.º 7313 (Impuesto sobre exportación de cajas de banano)	Impuestos	-Redistribución de impuestos a cantones productores (Sarapiquí, Limón, etc.) -Reforma propuesta (Expediente 24.621) para ajustar porcentajes	Genera \$1.179 millones anuales en exportaciones (2023)
Ley de Creación de CORBANA (Ley N.º 4895 y reformas)	Institucional	-Investigación y desarrollo de variedades resistentes - Capacitación técnica y control de enfermedades	Principal ente rector del sector
Proyecto de Ley N.º 23.697 (Restricciones a fumigación aérea)	Ambiental	- Prohibición en radio de 1 km alrededor de escuelas, Ebais e iglesias - Oposición del sector por falta de estudios técnicos	Podría afectar 100% de productores y empleos en Limón

Nota. Elaboración propia

Anexo D República Dominicana

Se destaca como el principal exportador de banano con una representación del 95% para la región del caribe. Cerca de 20.172 hectáreas están dedicadas al cultivo de banano de exportación, de las cuales cerca del 80% están dedicadas a la producción orgánica y el 20% a la producción convencional. Se estima que del total de la producción el 52% se destina para la exportación y el 48% para el consumo interno. (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2022). La región noroeste concentra la producción bananera con un 88% en las que destacan las provincias de Montecristi (38%), y Mao-Valverde (31%), y también en el Sur del país en la provincia de Azua (27%). (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2022). Son cerca de 1900 productores donde cerca del 80% son pequeños productores, es decir, que son fincas de menos de 10 hectáreas, cerca del 13% son productores medianos con fincas de más de 10 hectáreas y los grandes productores son el 7% y tienen fincas de más de 25 hectáreas, generando cerca de 32.000 empleos. Teniendo en cuenta que la mayoría de los productores son pequeños estos se agrupan por medio de asociaciones (hay cerca de 26) donde los productores unen esfuerzos y realizan compras de insumos y materiales de manera conjunta y pueden asegurar que su producción sea exportada ya que la asociación cuenta con las certificaciones internacionales exigidas, a su vez luego de la cosecha la fruta es llevada a la empacadora de la asociación (solo el 60% de los productores poseen su propia empacadora) que consolida todo la producción de banano para su posterior selección, desmane, lavado y sacado de manos, fumigación de corona, pesado, sellado, embolse, enfunde y empaque y la exportadora es la encargada de suministrar insumos según la necesidad de cada cliente. (Del Viejo et al., 2021).

De la producción de banano, cerca del 98% son destinadas al mercado europeo en su mayoría a los Países Bajos, seguido del Reino Unido y Alemania, entre otros. (Feschet et al., 2019). A su vez, el país se destaca como uno de los principales productores y exportadores de banano orgánico casi con una representación del 55% de la producción mundial cuyo principal destino de exportación es la Unión Europea. La producción de banano orgánico se ve favorecida por: la baja incidencia de Sigatoka Negra, la promoción de recursos de la comunidad internacional y ONGs, mejores precios de mercado. (FAO, 2017a). A su vez, el que este país haga parte del Acuerdo de

Cotonú (condiciones favorables en el mercado europeo para los países de Africa, Caribe y Pacífico) generalizado por el recorte de aranceles de importación del banano en Europa. (Feschet et al., 2019)

Uno de los factores que afecta considerablemente la producción son las fuertes lluvias, inundaciones y a su vez el paso de algunos huracanes como fue el huracán Franklin en 2023 que redujo la capacidad productiva, afectan el manejo agronómico y disminuyen la rentabilidad de las fincas (FAO, 2023c).

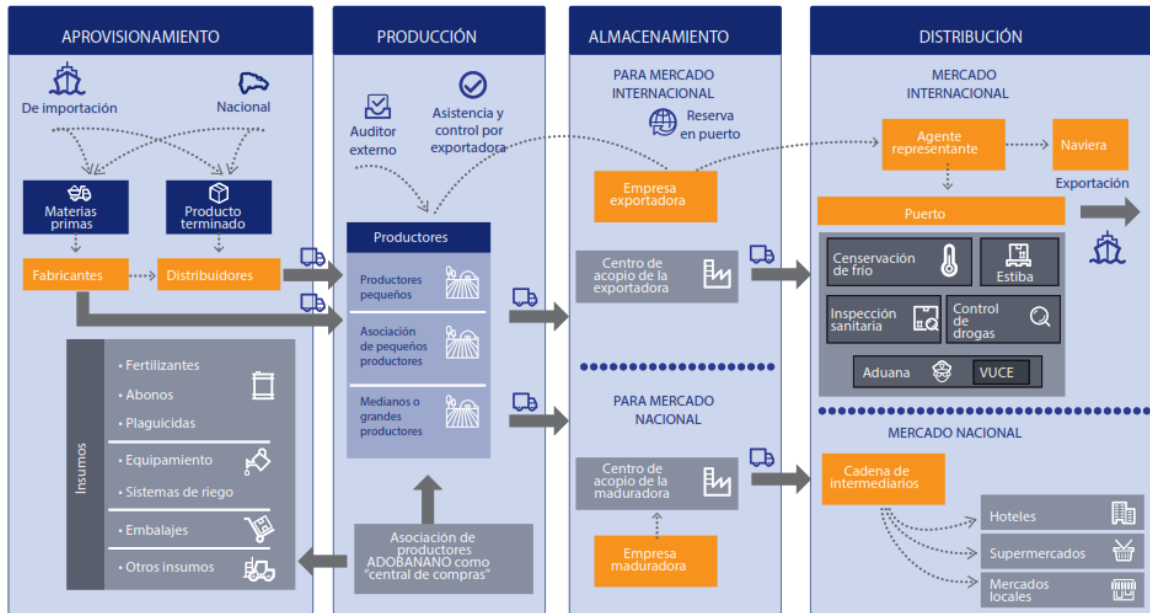
Algunas de las innovaciones que se han introducido en la producción de banano se encuentra la introducción de drones y software de interpretación de imágenes para realizar inventario de la biodiversidad de las fincas.

Otras herramientas de monitoreo para el control de producción de banano orgánico, este es implementado a través de una iniciativa que incluye el diseño de una rutina de monitoreo y registro de manejo de mancha roja (enfermedad que afecta la apariencia y calidad del banano) y la salud de los suelos. Incluye una rutina de toma de datos en un aplicativo móvil llamada Ma\$ Banano® para la captura que son transmitidos a la asociación de productores. Se dispone de una clase de indicadores como: factores productivos, rechazos, enfundes, balance de nutrientes, residuos y coberturas, factores químicos, factores físicos y factores biológicos. (FONTAGRO, 2021).

De igual manera Soriano Soriano et al. (2019) en su estudio encontraron que cerca de una 66% de los productores de banano orgánico en la Republica Dominicana utilizan en sus cultivos cobertura de leguminosas que incluyen *Arachis pintoi* (Maní forrajero), *Canavalia ensiformis* (Canavalia), que en lo estudiado por Gutiérrez et al. (2002) las coberturas vivas de leguminosas tienen un efecto positivo en el control de malezas, reducción de plagas en el cultivo e incremento del tamaño de racimo.

A continuación, la (**Figura DI**) presenta la cadena de valor del sector bananero de Republica Dominicana

Figura D1
Cadena de valor del banano



Nota: Tomado de (Del Viejo et al., 2021)

Política República Dominicana

Tabla D1
Normativa asociada al cultivo del banano en República Dominicana

Norma	Categoría	Objetivo	Detalles Relevantes
Ley de creación del Instituto del Banano (INBANANO)	Institucional	- INBANANO regula, eficientiza y desarrolla la producción bananera - Fomenta la siembra, capacitación y asistencia técnica	INBANANO tiene autonomía administrativa y técnica

		- Supervisa cumplimiento de leyes y normativas relacionadas	
Políticas nacionales de fomento agrícola	Producción y Cultivo	- Incentivos a la producción - Asesoría técnica y acceso a créditos - Promoción de buenas prácticas agrícolas, calidad y productividad	Supervisión estatal y sectorial
Certificaciones orgánicas y de comercio justo	Certificaciones	El 80% del banano exportado es orgánico y 90% cumple comercio justo - Apoyo a pequeños productores y cooperativas	Requisito clave para acceso a mercados europeos
Leyes y reglamentos de exportación (DGA, ProDominicana)	Exportación	- Registro como exportador - Cumplimiento de requisitos fitosanitarios y de inocuidad - Certificados de origen según destino - Documentación: factura, DUA, lista de empaque, inspección	Retención de carga o rechazo en destino

		<ul style="list-style-type: none"> - Certificados de origen específicos según el acuerdo - Cumplimiento de normas de calidad y trazabilidad 	Acceso preferencial a mercados
Acuerdos comerciales (UE, DR-CAFTA, CARICOM, SGP)	Mercados internacionales	<ul style="list-style-type: none"> - Certificados de origen específicos según el acuerdo - Cumplimiento de normas de calidad y trazabilidad 	Acceso preferencial a mercados
Estrategia nacional para el banano	Estrategia sectorial	<ul style="list-style-type: none"> - Mejorar calidad - Reducir costos y aumentar productividad - Fortalecer certificaciones - Diversificación de mercados - Fortalecer imagen país 	Mejora competitividad y sostenibilidad
Requisitos de inocuidad y control fitosanitario (DIA, DINVOFEX)	Ambiental y sanitario	<ul style="list-style-type: none"> - Registro de áreas y establecimientos - Inspecciones y cumplimiento de normas sanitarias y ambientales 	Multas, cierre de operaciones

Nota. Elaboración propia

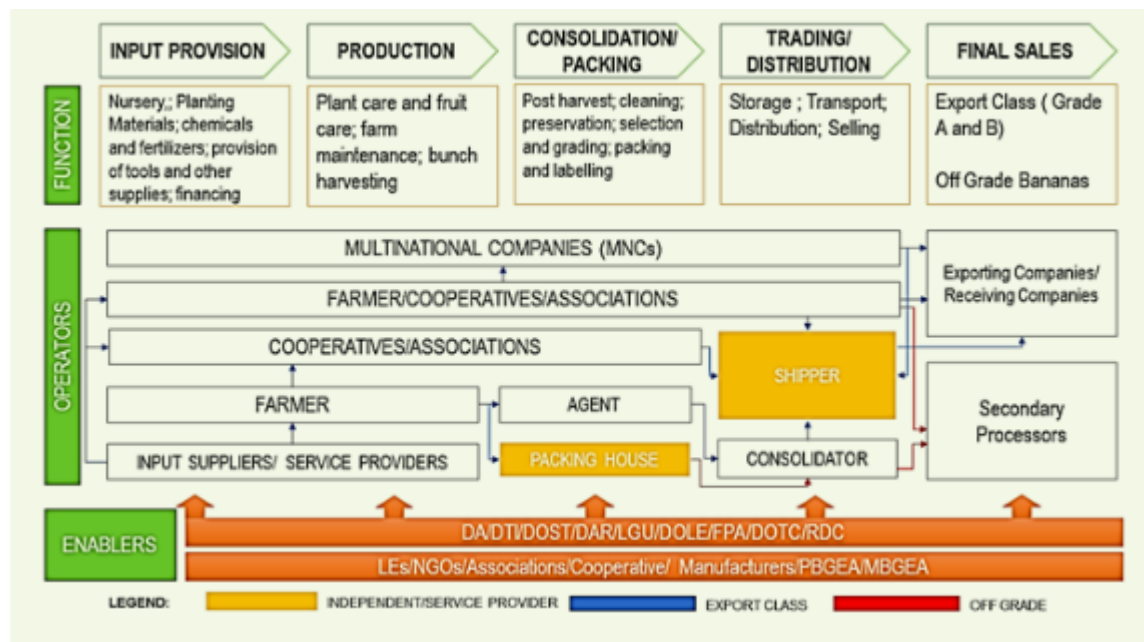
Anexo E Filipinas

Este país se ha destacado como uno de los principales exportadores de banano a nivel mundial, alcanzando un punto máximo como productor en el año 2012 con cerca de 9.2 millones de toneladas métricas, así mismo, es uno de los grandes productores de banano junto con India y China. A su vez, las consecuencias climáticas han sido devastadoras como en el 2013 a raíz del tifón Pablo que redujo las áreas cultivadas (DOA, 2018). Las principales regiones donde se cultiva el banano están en Davao con un 37,4% de la producción, seguido de las regiones de Mindanao del Norte con (21,4%), Soccsksargen (12,9%) y Barmm (6,5%), para un total de 451.200 hectáreas plantadas de las cuales cerca de 86.000 hectáreas pertenecen a la variedad Cavendish y son cultivadas y manejadas por pequeños (5-10 hectáreas), medianos (11-110 hectáreas) y grandes productores-multinacionales (más de 100 hectáreas) y una generación de cerca de 240.000 empleos (DOA, 2022). Para la región de Asia, Filipinas es el mayor exportador con cerca del 60% de la cuota del mercado donde el principal destino de la fruta es el mercado asiático para países como Japón (44%), China (31%), Corea del Sur (12%), países del oriente medio Arabia Saudí, Irán e Irak, sin embargo, esta región desde el 2019 ha venido presentando caídas en las exportaciones y para el 2023 se contrajo en cerca del 4% asociados al fuerte impacto del COVID-19 y la presencia del *Foc TR4* que se propaga por el país y afectando a cerca de 15.000 plantaciones (FAO, 2023c), también hay otras enfermedades comunes como: la *Sigatoka Negra*, *Banana bunchy top virus (BBTV)*, *Mosaico de la bráctea del banano (BBrMv)* (DOA, 2022).

La interacción en la cadena de valor de la industria bananera se da entre las funciones propias del cultivo de banano, los operadores y los habilitadores, ver (**Figura E1**).

Figura E1

Cadena producción de banano en Filipinas



Nota: proceso de producción de banano. tomado de (DOA, 2022)

- **Multinacionales:** DOLE Phils, Unifrutti Growers, MD Midland Farms.
- **Asociaciones:** Asociación Filipina de Productores y Exportadores de Banano por sus siglas en inglés (PBGEA), Asociación de Agricultores y Exportadores de Plátanos de Mindanao (MBFEA), Asociación de Exportadores Directos y Cultivadores de Mindanao (MEGA).
- **Habilitadores:** Departamento de Agricultura, Departamento de Comercio e industria, Departamento de la Reforma Agraria, Autoridad de fertilizantes y pesticidas.

En cuanto a la investigación para la producción de banano Cavendish se realiza principalmente por en laboratorios del sector privado, hay eventuales colaboraciones de investigación entre el sector público, privado y las universidades en especial para los eventos presentados con la llegada del *Foc TR4* en la región de Mindanao. A pesar de los grandes esfuerzos para educar a los pequeños productores en las últimas tecnologías de producción son insuficientes

debido a que muchas practicas no son adecuadas para la producción a pequeña escala, lastimosamente en muchas ocasiones hay nuevas variedades que no se le dan a conocer a los pequeños productores dejándolos en una gran posición de desventaja. (DOA, 2022).

De acuerdo con el informe publicado por el Departamento de Agricultura se indica que desde las asignaciones presupuestales en materia de investigación se ha trabajado en el desarrollo de tecnologías de empaque y se ha creado un banco de germoplasma. A pesar de los esfuerzos y financiación de proyectos para la investigación que llevan a cabo instituciones del gobierno y universidades, muchas de estas son investigaciones básicas y estudios de laboratorio que carecen de verificación y aplicación para responder a las necesidades (DOA, 2022), una muestra de ello es que si bien en el año 2016 se publicó una resolución para establecer un centro de investigación, este no ha sido creado y las actividades de investigación siguen siendo llevadas a cabo por universidades estatales. Al Respecto DOA (2022) indica que “la madurez de la tecnología para la utilización pública no se ha alcanzado debido a las limitaciones de la investigación”(p.82).

Desde Consejo Filipino para la Investigación y el Desarrollo de la Agricultura, la Acuicultura y los Recursos Naturales (PCAARRD’S) se ha liderado el Programa Estratégico de Ciencia y Tecnología para la Industria (ISP) que desde su conocimiento de las intervenciones necesarias para realizar en cada industria bien se la agrícola, ganadera y avicultura, piscicultura, recursos marinos, silvicultura, se encargar de materializar las investigaciones, donde desde la revisión del cultivo de banano Cavendish se han enfocado los esfuerzos en la reducción de la incidencia del *Fusarium wilt*. (Philippine Council for Agriculture, n.d.). a continuación, se detallan algunos de los proyectos de investigación:

- Nanobiopesticida para el control de *Fusarium wilt*: en este se desarrolló un nanobiopesticida usando metabolitos de bacterias mediante el trabajo conjunto de la Universidad de Filipinas Los Baños y el Instituto Nacional de Biología Molecular y Biotecnología. En este se compararon los efectos del nanobiopesticida y del biopesticida comercial y mostraron que el extracto de etanol nanoencapsulado (NETE) tenía propiedades erradicativas contra *Foc TR*.

- Kit de diagnóstico: desarrollado por el PhD Edward Barlaan y consiste en un kit de prueba de ADN que permite a los productores de banano detectar tempranamente y con alta precisión infecciones como el *moko*, *enfermedad de la marchitez panameña*, *cogollo racimoso del banano (BBTV)*. Este kit también ayuda a determinar la presencia, ausencia y el grado de afección de la infección a fin de implementar medidas de control, manejo y prevención, los kits se están usando por los grandes productores. (DOST-PCAARRD & Mendez, 2024).
- Deshidratador solar híbrido para mitigar las pérdidas poscosechas: desarrollado por el PhD Renerio Mucas de la Universidad Iloilo de ciencia y tecnología. El proceso de secado es más rápido y conserva el valor nutricional de los productos, el equipo es programable y se puede regular la temperatura, niveles de humedad, además de usar energía solar para su operación. En el caso del banano, en este equipo se usan las cascaras de banano que luego de ser secadas son procesadas en harina. (DOST-PCAARRD S&T Media Services, 2024)

Política

Tabla E1

Normativa asociada al cultivo del banano en Filipinas

Norma	Categoría	Objetivo	Detalles Relevantes
Certificaciones de no-OGM (BPI)	Regulaciones y Certificaciones	-Certificados de No Cobertura para cultivos editados con CRISPR -Permiten importación y cultivo comercial	Exención de restricciones transgénicas
Órdenes Administrativas (No. 9, 1993)	<u>Órdenes administrativas</u>	-Registro, etiquetado y embalaje obligatorio	Requisito para comercialización

		-Cumplimiento de estándares de calidad y seguridad	nacional e internacional
Desarrollo de variedades resistentes	Investigación y Desarrollo	-Banano resistente a Fusarium R4T (pruebas en Mindanao, Visayas, Luzón) -Cultivo de tejidos para material de plantación	Enfrentamiento a la enfermedad de Panamá
Financiamiento agrícola	Financiamiento agrícola	-Créditos de hasta P450,000/hectárea para rehabilitación y nuevas plantaciones - Apoyo a pequeños agricultores	Acceso a certificaciones PhilGAP (Buenas Prácticas Agrícolas)
Ley para el Desarrollo Integral del Plátano	Legislación Propuesta	-Creación de un Consejo de Desarrollo de la Industria del Plátano - Financiamiento para investigación y empleo	Pendiente de aprobación desde 2016
Negociaciones arancelarias	Políticas Comerciales	-Reducción de aranceles con socios como Australia, Japón, Corea y China	Competencia con otros exportadores por acceso preferencial

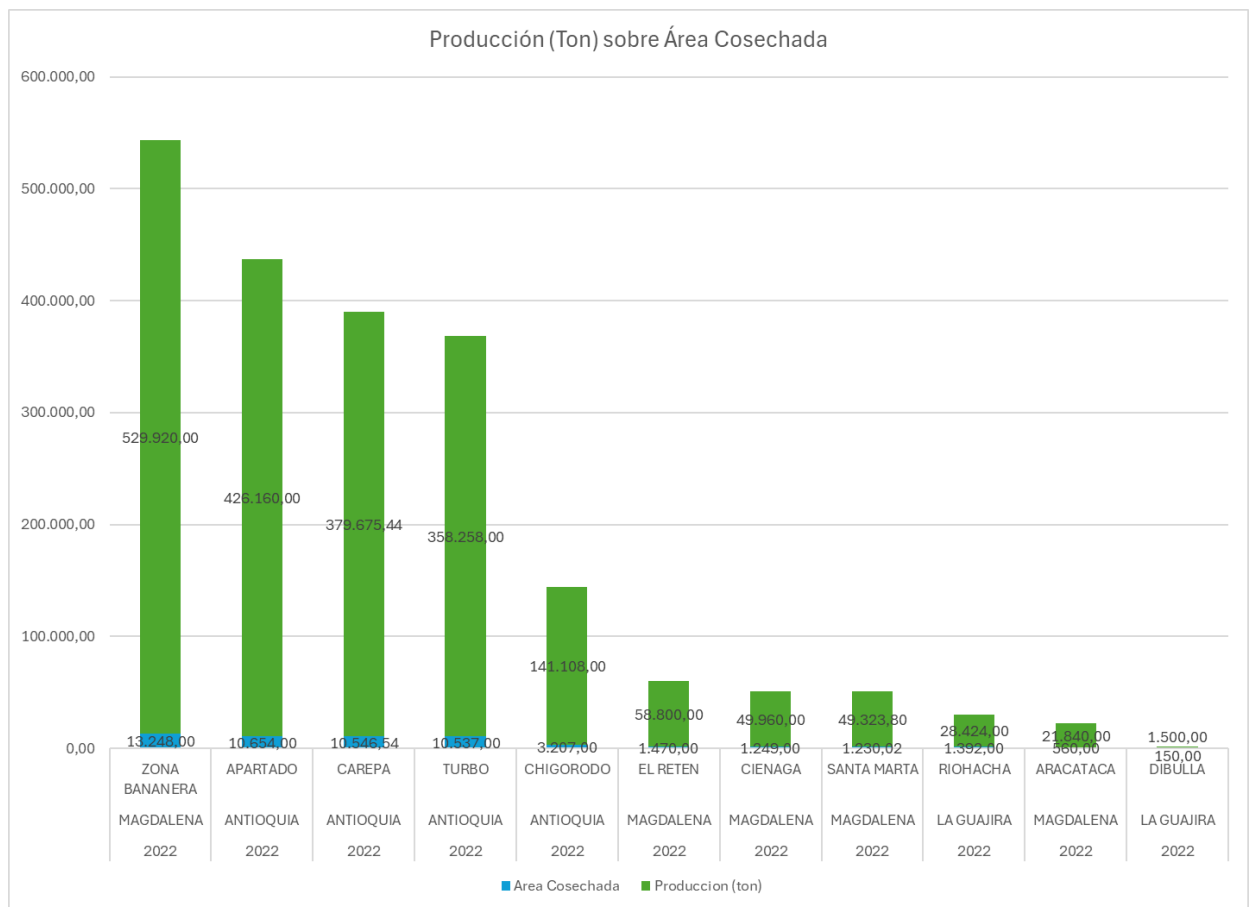
		-Diversificación a aguacate Hass y durian	
Manejo integrado de plagas	Sostenibilidad	-Uso de métodos biológicos -Reducción de agroquímicos	Preocupaciones históricas por uso de pesticidas como DBCP (no confirmado actualmente)
Enfermedad de Panamá (Fusarium R4T)	<u>Desafíos actuales</u>	-17,000 hectáreas afectadas -Pérdida de competitividad frente a otros exportadores	Necesidad de soluciones urgentes

Nota. Elaboración propia

Anexo F. Colombia

Para la región de América Latina se posiciona como el tercer líder en exportaciones de banano, para el año 2023 las cifras registran cerca de 108.000 hectáreas sembradas para la producción, de las cuales cerca de 52.209 hectáreas están destinadas para la exportación, pese a que es sembrado en 22 departamentos, la producción para las exportaciones se concentra en los departamentos de Antioquia con cerca de 39.224 hectáreas (66%) , Magdalena con cerca de 13.291 hectáreas (29%) y La Guajira con cerca de 3.028 hectáreas (6%) del área sembrada, seguida de otros departamentos como Quindío, Valle del Cauca y Tolima que dedican su producción para el mercado nacional de banano, es importante mencionar que cerca del 99% de la tierra es propiedad de los productores (Ramm et al., 2021). En cuanto la producción en toneladas el líder absoluto es Antioquia donde para el 2022 fue de 1.305.201,44, seguido del Magdalena con 709.843.80 y en tercer lugar La Guajira con 29.924. (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA., 2022). En la (**Figura FI**) se muestra la cantidad de toneladas producidas por municipio de los tres departamentos exportadores de banano.

Figura F1
Producción en toneladas sobre área cosechada por municipio en Colombia

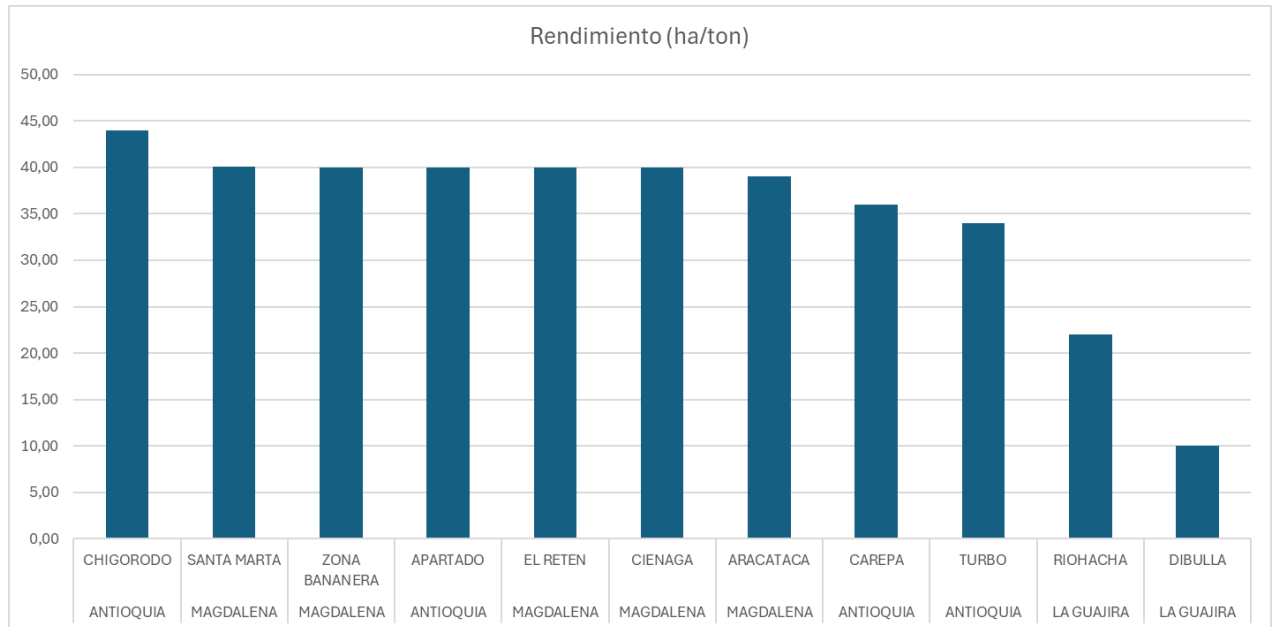


Nota: Elaboración propia, adaptado de (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA., 2022)

A su vez, es posible identificar que algunos municipios del país gozan con un mayor rendimiento de la producción del cultivo calculado como tonelada producida por hectárea, la (Figura F2) muestra este comportamiento, donde municipios como Chigorodó y Santa Marta tienen el mejor rendimiento con 44 y 40 respectivamente, a nivel regional, el Urabá Antioqueño reportó en 2023 una productividad de 1940 cajas por hectárea mientras para el bloque Magdalena-La Guajira-César la productividad es de 1885 cajas por hectárea (AUGURA, 2023).

Figura F2

Rendimiento (Hectárea/tonelada) por municipio

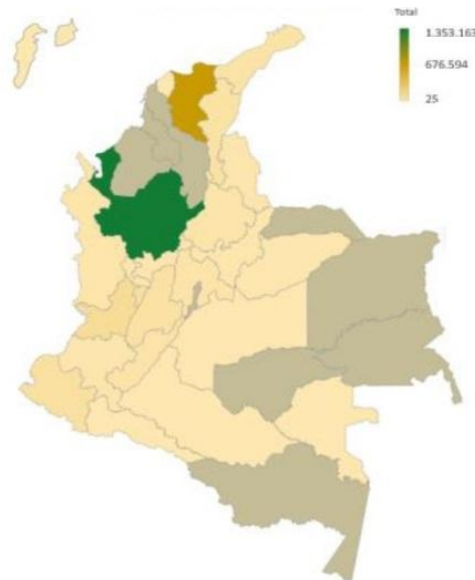


Nota: Elaboración propia, adaptado de (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA., 2022)

A continuación, la **(Figura F3)** muestra cómo se comporta la producción de banano en Colombia por cada departamento, donde se destaca como líder Antioquia en color verde, seguido del Magdalena en color ámbar.

Figura F3

Producción de banano en Colombia por departamento



Nota: Tomado de AGROSAVIA. *Contexto de Cadena de Banano.*

Para el año 2023 las exportaciones de banano fueron declaradas en US\$612,4 millones FOB (DANE, 2023a), a su vez la cifra por ingreso del banano exportado para el año 2023 aportó el 7,2% del PIB agropecuario, dejando entrever aumentos en los últimos cinco (5) años (AUGURA, 2023) que corresponden a un total de 2 millones de toneladas con casi 63.6 millones de cajas de 20kg para el Urabá Antioqueño y 41.9 millones de cajas desde la región caribe (Magdalena, La Guajira y César) (AUGURA, 2023) mostrando una disminución estimada del 12% con el año 2022, entre los principales factores que afectaron la producción bananera se encuentran las fuertes lluvias del primer semestre que afectan la cantidad como la calidad y el alto impacto que genera la aplicación de estrategias para mitigar el *Foc TR4* y las medidas preventivas para combatir el tráfico de sustancias ilegales en los envíos de banano (FAO, 2023c). Cerca del 91% de la producción bananera del país es destinado para la exportación, lo que hace del banano el tercer producto agrícola de exportación donde según AUGURA (2023):

los principales destinos son Unión Europea (57.7%), Estados Unidos (16.1%), Reino Unido (14.2%), Asia (0.7%), Resto de Europa (0.7%) y otros (0.6%), para un total de 29 países destino, siendo los más destacados Bélgica, Estados Unidos, Italia, Reino Unido y

Alemana. Es importante mencionar que la fruta es exportada a través de las Comercializadoras liderada por la C.I Unibán (30%), C.I Técnicas Baltime (18%), C.I Banacol (15%) y C.I. Bananeros Unidos de Santa Marta (11%), C.I Tropical (8%), Banfrut (8%), Banarica (4%), otros (3%).

El Sector bananero genera en el país cerca de 300.000 empleos, de los cuales 170.000 corresponden a la cadena exportadora de banano con 35.000 directos y 135.000 indirectos (Minagricultura, 2021). Esta industria es liderada por Asociación de Bananeros de Colombia (AUGURA), y Asociación de Bananeros del Magdalena La Guajira (ASBAMA), estas asociaciones representan a la mayoría de los productores, donde en el caso de AUGURA agrupa a cerca del 78% de los productores de banano para exportación, mientras que ASBAMA tiene el 22% restante. La naturaleza de estas asociaciones es la de defender los intereses de la agroindustria ante organismos oficiales, entidades nacionales e internacionales, además de promover el desarrollo económico, social y ambiental del sector (Ramm et al., 2021). Es importante destacar que AUGURA promueve estrategias para favorecer la productividad y competitividad del sector por medio del Centro de Investigaciones del Banano (Cenibanano) bajo los pilares de la innovación científica y tecnológica. Cenibanano creado en el año 1985 trabaja con los bananeros de Urabá y Magdalena a fin de promover la sostenibilidad y sanidad de la agroindustria a través de la generación, adaptación y transferencia de tecnologías y productos, como centro de investigación tiene cinco líneas de investigación en: Fitosanidad, fisiología y nutrición vegetal, suelos y agricultura de precisión, agroclimatología y biotecnología (CENIBANANO, 2022).

En materia de investigación en Colombia para el sector agropecuario y agroindustrial según la información publicada en el portal de SIEMBRA se encuentran cerca de 57 grupos de investigación que tienen enfoque en la cadena de banano, de estos grupos cabe destacar que en su mayoría pertenecen a universidades, centros de investigación privados y entidades del orden nacional. En la categorización de MINCIENCIAS, en la categoría A1 se encuentran 14 grupos, A 10 grupos, B 10 grupos, C con 9 grupos y no acreditados 9 grupos. Las áreas de investigación abordan temas como la alimentación y nutrición humana, manejo cosecha poscosecha y

transformación, fisiología vegetal y nutrición, manejo ambiental y sostenibilidad, manejo de suelos y aguas, mejoramiento genético.

En cuanto a la cadena de banano, las principales áreas temáticas asociadas a las demandas para la agenda de I+D+I, hay un total de 31 proyectos como se muestra a continuación en la (Figura F4).

Figura F4

Demandas cadena de I+D+I



Nota: Elaboración propia, según Dahis Jonana Vergara. Contexto cadena de banano. (2023)

Particularmente desde el sector privado desde AUGURA creó en 1985 a Cenibanano como el centro de investigaciones del banano y donde su principal labor es la de garantizar la sostenibilidad del sector, entregar a los productores mejores prácticas, y encontrar nuevas alternativas y soluciones a los desafíos que enfrenta el sector como los factores asociados al cambio

climático, la compactación de los suelos que tiene como consecuencia las bajas en productividad, incrementar la productividad (desde la salud del suelo, agroclimatología, control de plagas y enfermedades), implementar sistemas de riego (que permitan satisfacer la demanda de agua del banano durante todo el año) (Redagícola, 2020) además de la emergencia fitosanitaria por la presencia de la enfermedad *Foc TR4* en los departamentos de Magdalena y La Guajira, incrementos en el precio de los abonos y fertilizantes que han tenido variaciones en su precio hasta un 234%, devaluación del peso frente al dólar, reconocimiento de un precio justo para la fruta en mercados internacionales(ASBAMA, 2022).

Desafíos específicos

El sector bananero en Colombia afronta un desafío que es el deterioro de su posición en el mercado mundial por el avance que han logrado otros competidores fuertes como lo es el caso de Ecuador.(Flórez Martínez, 2013).

A su vez se suma el desafío para este sector que está representado por los problemas de seguridad en la región de Urabá y en el norte del departamento del Magdalena donde cada vez son más los controles para la lucha contra el tráfico ilegal de sustancias psicoactivas en los contenedores de banano de exportación que amenazan con la sostenibilidad y crecimiento del sector (FAO, 2023c).

En el caso colombiano, el sector de las entidades sin fines de lucro (organizaciones de los productores juega un papel muy importante en la I+D agropecuaria. A su vez, gran parte de la investigación es desarrollada por el Consorcio CGIAR, con la participación del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en Colombia, destacando a su vez que el sector de la educación superior tiene una participación moderada en la investigación agropecuaria

Principales tecnologías empleadas

Tanto actores privados, públicos o de la academia (que hacen o no parte de la cadena productiva) están en la búsqueda de alternativas para dar respuesta a estos desafíos a través de estudios, investigaciones y estrategias para aunar esfuerzos y asegurar la sostenibilidad de este sector agrícola de alta importancia para el país, donde se pueden mencionar entidades como Cenibanano, Agrosavia, ICA, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Cooperación Alemana para el Desarrollo GIZ, alianzas entre empresas del sector privado y Universidades, alianzas con entidades internacionales como la FAO, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA), Agricultura Research for Development (CIRAD) contribuyen a las acciones para enfrentar los desafíos, donde conforme a los resultados publicados en el Informe de Investigaciones de 2019-2023 de Cenibanano se destacar algunas de ellas a continuación:

Servicios de salud del suelo

- Servicios de salud del suelo donde un 35% de las fincas que accedieron reflejaron aumentos en su producción en un periodo de tiempo, estos servicios incluyen variables resaltadas en mapas de variabilidad espacial con áreas críticas a diferenciar por lote. Incluyen priorización de áreas, manejo de herramientas, dosis para enmiendas y corrección de pH. (CENIBANANO, 2023)
- **Mapa de aptitud para banano tipo exportación UPRA 2019:** desarrollado con La UPRA, donde se estableció un modelo de zonificación de áreas potenciales para producción agrícola, resultando en un mapa nacional de aptitud para cultivo de banano de exportación, destacando que 98% de las fincas del Urabá están en zonas altamente aptas. (CENIBANANO, 2023)
- **Resistencia a la penetración:** causada por la compactación del suelo que disminuye el intercambio de gases y el desarrollo de las raíces además de la disminución de poros. Determinó la eficacia de herramientas a diferentes profundidades como el hércules (20cm), mini retro (60cm) y retroexcavadora

(80cm). Encontrando una duración de un (1) año de la descompactación. (CENIBANANO, 2023)

- **Erosión-Coberturas red de drenajes:** estudio que permitió evaluar tres (3) tratamientos para mitigar la erosión y mantener en funcionamiento la red de drenajes. Los tratamientos fueron el de suelo desnudo, manejo convencional y cobertura vegetal, donde la cobertura vegetal muestra reducir significativamente las tasas erosivas y evitar la pérdida de suelo y conservar la fertilidad. (CENIBANANO, 2023).

Fisiología y nutrición vegetal

En esta línea de investigación se mencionan algunos de los estudios que fueron desarrollados

- **Renovación y arreglos de siembra:** se renueva cuando se evidencia pérdida en productividad, problemas físicos y químicos en el suelo. Encontrando que el arreglo de cultivo de 3x1,3m mejora la producción permitiendo disponer de fruta para épocas de baja oferta de fruta y buenos precios en el mercado, donde se reduce la población luego de la segunda generación. (CENIBANANO, 2023).
- **Sincronización de cultivo:** un proyecto que permitió generar para el sector la guía selección oportuna y desmache, con la sincronización es posible obtener cerca de los 3.240 racimos por hectárea (CENIBANANO, 2023).
- **Incubación de enmiendas corrección de pH:** la acidez del suelo y una alta concentración de aluminio intercambiable limitan el crecimiento radicular y el desarrollo representado en una baja producción. Esta investigación utilizó diferentes aplicaciones de fuentes encalantes (sales básicas para neutralizar la acidez) y sus resultados permitieron entregar a los productores unas tablas y modelos de cálculo para que el productor según su necesidad distinga la dosis enmienda a aplicar. (CENIBANANO, 2023).
- **Monitoreo emisión foliar:** proyecto que permite al sector hacer un seguimiento y monitoreo del desarrollo de las plantas, en especial de la variable emisión floral o

LER (Leaf emergence rate) relacionada con la temperatura. Se monitorean ocho (8) parcelas y se publican en informe de Power BI® la temperatura y la emisión floral (menor en etapa reproductiva). (CENIBANANO, 2023).

- **ABC del cultivo de banano:** entregó un documento al sector bananero, que se llama “ABC del cultivo del banano que es una guía con estrategias técnicas para mejorar la productividad e incrementar gradualmente la producción (CENIBANANO, 2023).

Fitopatología

En esta línea de investigación se aborda el diagnóstico y caracterización de enfermedades del banano, incluye el diseño de soluciones a través de métodos de control genético, bilógico, físico y cultural (AUGURA, n.d.) algunas de sus investigaciones y desarrollos se muestran a continuación:

- **Evaluación de desinfectantes moko (2023):** El Moko como enfermedad causada por *Ralstonia solanacearum*, de fácil propagación en el suelo, herramientas, semillas o insectos, heridas en la planta que ocasiona la marchites y muerte de la planta. Se hicieron evaluaciones de 11 desinfectantes (amonios cuaternarios y yodos) que desmostaran eficacia en combatir la enfermedad, donde cinco (5) productos de amonio cuaternario y dos (2) de yodo mostraron eficacia y acción en un tiempo de 30 segundos, esto servirá como un entregable para protocolos de desinfección y manejo en campo. (CENIBANANO, 2023).
- **Factores de riesgo *Foc TR4* (2021-2023):** esta enfermedad devastadora ingresó a Colombia en 2019 a los departamentos de Magdalena y La Guajira a excepción del Urabá. Debido a la fácil propagación de este patógeno, se adelantó la construcción de una matriz de riesgo de la introducción de *Foc TR4* en la región de Urabá, que identificó y clasificó los límites para zonas con alto riesgo por estar en límites con otros sistemas productivos, comunidades o vías principales, riesgo medio para límites entre fincas bananeras y vías terciarias. Este mapa de riesgo de entrega a

cada predio a fin de reforzar medidas de bioseguridad y prevención (CENIBANANO, 2023).

- **Bioprospección Micovirus *Foc TR4* (2022-2023):** Alternativa al control biológico como lo es el Micovirus, estudio que permite nuevas alternativas biológicas en el manejo de *Foc TR4*, con menor impacto ambiental, mejorando las condiciones del suelo y el primero en su tipo desarrollado en Colombia. (CENIBANANO, 2023).
- **App vigilancia *Foc TR4* (2022-2023):** Desarrollo de aplicación para dispositivos móviles y web para el monitoreo de la enfermedad *Foc TR4*, Moko y otras plagas. De uso gratuito y sin necesidad de datos móviles para usarla, permite dar cumplimiento a la Resolución ICA 17334 del 2019, de elaborar cuatro monitoreos anuales del reporte fitosanitario como medida preventiva en el reconocimiento de plantas sospechosas de desarrollar síntomas de la enfermedad. (CENIBANANO, 2023).
- **Reducción de volumen de fungicidas:** Este estudio consistió en una prueba para transportar 40 pallets de fruta al puerto de Amberes en Belgica, para estudiar los volúmenes de aplicación de por aspersión para evitar las enfermedades postcosecha. Se evidencia que no hay problemas de calidad y se puede disminuir la aplicación de fungicidas logrando una disminución de precio de (\$28 pesos/caja). (CENIBANANO, 2023).
- **Recubrimiento funcional postcosecha:** proyecto elaborado en conjunto con la Universidad de los Andes, para evaluar un recubrimiento funcional a base de almidón de yuca modificado para validar su efecto en el control de enfermedades postcosecha. La fruta que se trató con este recubrimiento mostró grados de maduración menores y mayor firmeza, lo que podría indicar la prolongación de la vida verde de la fruta, y es una alternativa biológica para tratamientos postcosecha en la posible regulación europea de salida de fungicidas químicos. (CENIBANANO, 2023).
- **Población fúngica de agua lluvia:** estudio que permitió evaluar en las fincas la estrategia de recolección de aguas lluvias como parte de la circularidad y que evidencio que estas aguas albergan diferentes tipos de hongos como *Fusarium spp*,

Colletotrichum spp y *Penicillium spp*, con lo que se concluye que evitar el uso de esta agua para procesos directamente con la fruta para evitar la contaminación. O usar esta agua con los debidos sistemas de filtración y purificación. (CENIBANANO, 2023).

- **Diagnóstico Moko (2022-2023):** elaboración mediante técnica de PCR (polymerase chain reaction) de protocolo para el diagnóstico del Moko, que facilitara a los productores la implementación de medidas de contención temprana de la enfermedad. (CENIBANANO, 2023).
- **Semi-automatización monitoreo de sensibilidad de fungicidas (2023):** la posibilidad de crear proyectos de investigación mediante la automatización, a través de herramientas como el procesamiento de imágenes que en este estudio buscó medir las estructuras filamentosas, mediante la aplicación del software ZEN Blue Edition y el programa Fiji (ImageJ) para capturar imágenes con esporas distinguibles, identificando que la función 'Analyze Skeleton 2D/3D' para las mediciones. Mostrando que la medición automática es eficaz, y una gran posibilidad para proyectos de automatización para el control de la *sigatoka negra*.
- **Uso de drones en áreas buffer (2019):** las áreas buffer se entienden como espacios cercanos a una población humana, por lo tanto, esta proximidad impide el uso de fumigación por aspersión área, y se debe efectuar la fumigación de forma terrestre, sin embargo, esta aplicación pierde efectividad comparado con la aplicación aérea, lo que generó la adaptación para aplicación con dron en estas zonas. (CENIBANANO, 2023).
- **Evaluación sigatoka negra (2023):** este estudio obtuvo el reconocimiento en el Congreso Internacional de Fitopatología de Francia en 2023, su objetivo fue entregar un nueva Escala Diagramática (ED) comparada y mejorada con la que existe actualmente, los resultados permiten evaluar en campo una estimación de la enfermedad en hojas de banano (según los seis niveles de la escala). (CENIBANANO, 2023).

Agroclimatología

- **Servicios climáticos (2020-2023):** consiste en una red agroclimática de 17 estaciones que permiten entender cambios en tendencias de las variables meteorológicas ciclos de fenómeno del El Niño y La Niña. Las estaciones miden precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación, humedad, temperatura del suelo, velocidad y dirección del viento y ráfaga de viento. Se entregan boletines diarios técnicos agroclimáticos a todas las fincas. (CENIBANANO, 2023).
- **Prototipos de bajo costo (2023):** son Sensores arduinos que funcionan como estaciones meteorológicas, desarrollados en conjunto con la Universidad de Antioquia para fortalecer la red agroclimática. (CENIBANANO, 2023).
- Productividad vs clima (2023)

Mejoramiento genético

- **Importación de variedades:** con la presencia del *Foc TR4* en Colombia, se buscaron instituciones que a nivel mundial estuvieran trabajando en mejoramiento genético de banano, luego se elaboró una Guía con el ICA y AGROSAVIA para establecer requisitos y medidas de cuarentena previas a la liberación de variedades en el país (CENIBANANO, 2023). Las principales entidades que trabajan en el mejoramiento genético son:
 - EMBRAPA-Brasil
 - CIRAD-Francia
 - The University of Queensland (Australia)
 - Taiwan Banana Research Institute
 - CIAT
 - Fundación Hondureña de Investigación Agrícola
- **Programa CENIBANANO-AGROSAVIA-EMBRAPA:** uno de los proyectos más importante de la industria bananera en Colombia, cuyo objetivo es desarrollar material de banano tipo Cavendish resistente a *Foc TR4*, con ingresos controlados en cuarentena para los materiales en 2022 y en 2023 su siembra y llevado a pruebas

de resistencia contra *Foc TR4* en La Guajira. Así mismo, se iniciaron cruzamientos en más de 3.000 racimos y se obtuvieron las primeras tres (3) semillas del cruce de diploides con Cavendish, marcando un importante hito en la generación de posibles nuevos híbridos en crecimiento en medio de cultivos. (CENIBANANO, 2023)

- **Evaluación agronómica de variedades promisorias (AGROSAVIA- CIRAD):** en el proyecto liderado por AUGURA y AGROSAVIA para seleccionar cultivares de banano resistentes *Foc TR4* en Colombia, se han introducido y evaluado varios híbridos y somaclones. Entre estos, los híbridos FLHORBAN 938, 924 y 931, junto con Ruby y LoThaR4 provenientes de CIRAD, han mostrado potencial de adaptación en Urabá. Además, se ser altamente resistentes a *Foc TR4* en pruebas semicontroladas realizadas por AGROSAVIA en La Guajira.(CENIBANANO, 2023)

Biotecnología

Convenios externos con instituciones de educación superior (Universidad EAFIT, Universidad Nacional de Colombia, Universidad de los Andes, Universidad de Antioquia, Corporación para Investigaciones Biológicas)

- **Biofungicida sigatoka negra (FORBIO-EAFIT):** Biopesticida como alternativa sostenible, y segura para el medio ambiente, un trabajo de más de diez (10) años para el desarrollo de tecnologías para el control de enfermedades logrando en 2022 un acuerdo con FORBIO SAS para la producción y comercialización de un biopesticida basado en *B. tequilensis* EA-CB0015. Este acuerdo ha permitido mejorar el proceso de producción a escala comercial, incluyendo la prevención de variantes morfológicas y el diseño de un medio de cultivo eficiente. (CENIBANANO, 2023)
- **Ganoderma para control de sigatoka negra (2019-2022) (Minciencias-Universidad de Antioquia):** esta enfermedad, aunque se ha tratado con fungicidas,

la resistencia del hongo ha llevado a aumentar la frecuencia de aplicaciones. Buscando alternativas, la Universidad de Antioquia y Cenibanano han investigado el uso de extractos del hongo *Ganoderma lucidum*, obteniendo resultados prometedores. En laboratorio, los extractos proteicos inhibieron el crecimiento de *P. fijiensis* en un 63%, y el extracelular en un 54.21%. En pruebas de campo, la aplicación del bioproducto mostró efectos comparables al fungicida Mancozeb. (CENIBANANO, 2023)

- **Actinobacterias para el control del moko (2019-2022) (Minciencias-Universidad de Antioquia):** estudio para controlar biológicamente *Ralstonia solanacearum*, causante del Moko, se analizaron comunidades microbianas del suelo afectado, destacando las actinobacterias. Se evaluó que los bacteriófagos no alteran la estructura microbiana en la rizosfera de plátanos. También se aislaron y evaluaron actinobacterias, identificando algunas con capacidad antagónica contra *R. solanacearum*. Un aislamiento resultó ser una posible nueva especie del género *Streptomyces*. Estos hallazgos, que podrían aplicarse en programas de manejo integrado de plagas, son sostenibles y costo-efectivos. (CENIBANANO, 2023)
- **amyloliquefaciens para el control de Foc (2019) EAFIT:** La marchitez por *Fusarium* es una grave amenaza para el banano, causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), que puede persistir en el suelo hasta 30 años. Debido a la falta de métodos de control efectivos, se están explorando nuevas estrategias biológicas. Se evaluaron bacterias de *Musa spp.*, destacando *Bacillus amyloliquefaciens* (EA-CB0959) por su alta capacidad antifúngica. Este microorganismo mostró eficacia en reducir la población de Foc R1 en el suelo y en disminuir la incidencia de la enfermedad en plantas de banano. Los mejores resultados se lograron con aplicaciones regulares del extracto bacteriano en suelos poscuarentena, sugiriendo su potencial en planes de manejo integrado de la enfermedad. (CENIBANANO, 2023)

Anexo G. Cadena Productiva del Banano

Es importante considerar que la cadena productiva del banano en la región de Urabá está integrada verticalmente desde la producción hasta la comercialización, según Martínez Covalada & Peña Marín (2005) explican:

La cadena cuenta con dos fábricas de cajas de cartón, tres fábricas de polietileno, y polipropileno, tres fábricas de sellos, cuatro astilleros, almacenes de insumos para los productores, servicio especializado de fumigación aéreas en el control de enfermedades, manejo integral del sistema fluvial y marítimo, y la infraestructura de comercialización en el exterior para la distribución directa de la fruta en los países de destino.(p.25)

Teniendo en cuenta la (**Figura 11**), se realizará la descripción de cada una de las etapas de la cadena productiva

Aprovisionamiento

consiste en la consecución de todas aquellas materias primas de origen local e internacional que garantizan las labores de cultivos, entre estas se encuentran insumos como maquinaria y equipo, fertilizantes y agroquímicos, sistemas de riego, semillas, embalajes (cajas de cartón, material de empaque). De esta forman parte todas las empresas fabricantes y productoras de insumos.(Flórez Martínez, 2013).

Labores de Cultivo

Esta es una de las principales actividades para la cadena productiva, donde el banano requiere para su cultivo de zonas cálidas y húmedas, en promedio de 25°C, con una precipitación anual de 100-180 mm y altitud entre 0 y 300 msnm. (Martínez Covalada & Peña Marín, 2005), dentro de las labores de cultivo se destacan las siguientes actividades, descritas por (AUGURA, 1997):

- **Planificación del cultivo:** incluye análisis rigurosos del suelo para determinar sus características, donde es fundamental que sean suelos profundos, bien drenados, que retengan la humedad de textura franca arcillosa a franco arenosa. (Martínez Covalada & Peña Marín, 2005).
- **Siembra:** es fundamental elegir un esquema de densidad de plantación en función de optimizar el espacio e idealmente realizarse en época lluviosa.
- **Selección de la variedad:** para el caso colombiano las principales variedades de exportación son el subgrupo Cavendish Valery, clones Gran Enano y Valery.
- **Manejo del riego:** según la disponibilidad de agua y las condiciones climáticas, se usan los sistemas de riego que aseguran que las plantas reciban suficiente humedad.
- **Labores culturales:** incluyen aquellas actividades que se realizan para asegurar el óptimo desarrollo de las plantas, mejorar la calidad de la fruta y maximizar la producción para el manejo de la población de plantas, donde está el deshije (permite una buena distribución de la plantación y una adecuada penetración de luz solar y balance generacional, a su vez el control de maleza se realizar para que el cultivo esté libre de la competencia por luz, nutrientes y agua con las malezas.

Desarrollo del Cultivo

Esta actividad implica una serie de prácticas agronómicas y tecnológicas para maximizar la producción y calidad, según (AUGURA, 1997) se realizará una breve descripción de cada una de las actividades que se realizan en esta etapa:

- **Fertilización integrada:** sin duda una de las labores más importantes en el cultivo del banano para obtener buenos rendimientos, debido a que contribuye a la fotosíntesis y la respiración, esta involucra cerca de 17 nutrientes, donde el análisis de suelos y foliares son herramientas útiles para diagnosticar la fertilidad, detectar problemas de tipo nutricional para diseñar planes de fertilización. Dentro de los elementos se encuentran (Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Azufre, Hierro, Cobre, Zinc, Cobre, Manganeso).

- **Manejo de artrópodos:** este incluye el diseño de estrategias para mantener la salud de las plantas, a fin de evitar la presencia de artrópodos como trips, ácaros, pulgones. Donde es fundamental hacer el reconocimiento y monitoreo de estas especies a fin de diseñar estrategias en las que se incluyen. (Salamanca-Gómez et al., 2023)
- **Manejo Integrado de Plagas:** como el uso de enemigos naturales que actúan como depredadores y parásitos para controlar las poblaciones de plagas y disminuir su impacto en el cultivo; también se encuentra el uso de insecticidas biológicos y químicos.
- **Manejo integrado de enfermedades:** se utiliza para monitorear y controlar las poblaciones de plagas. En estas se incluyen el reconocimiento y manejo de sigatokas, moko, bacteriosis, elefantitis, nematodos (enfermedades en la raíz) y la prevención de enfermedades como el *Foc TR4* (Salamanca-Gómez et al., 2023). El control consiste en la aplicación de ciclos alternos de fungicidas protectantes y sistémicos en agua y aceite, variando la cantidad de ciclos al año. El manejo y prevención de las enfermedades representa para los productores unos altos costos y el deterioro ambiental que representa (SENA, 2015).
- **Labores culturales:** en estas se encuentran algunas laborales que tienen como objetivo la protección de la fruta, de acuerdo con (AUGURA, 1997)
- **Embolse:** objetivo es proteger el racimo con una bolsa de polietileno del ataque de plagas o por efecto de productos químicos, posterior se realizar la identificación de la edad de la fruta a fin de identificar la cantidad de racimos presente en el área total de cultivo. También se incluye la poda de manos que busca aumentar la longitud, grosor y peso de los dedos y garantiza la sanidad el racimo.(AUGURA, 1997)
- **Amarre:** se realiza con el fin de evitar la caída de las plantas por acción del viento, peso del racimo o ataque de nematodos.(AUGURA, 1997)
- **Deshoje:** consiste en eliminar las hojas secas, quebradas y pedazos que causen deterioro en la calidad de la fruta o que a su vez sean fuente de plagas. (AUGURA, 1997)

Cosecha y poscosecha

La cosecha se realiza manualmente, donde se hace la recolección de todos los racimos, teniendo en cuenta las condiciones de edad y calibración de la fruta, luego el racimo cortado es recibido de forma manual en una cuna acolchada para llevarlo al cable vía donde los racimos cosechados hacen un recorrido hasta llegar a la empacadora (AUGURA, 1997).

- **Labores de beneficio:** Una vez cosechados, los bananos son clasificados mediante una inspección que consiste en calibrar y medir los racimos, pesar los racimos y contar el número de manos e identificar la procedencia de cada uno de los racimos a fin de contribuir al análisis de causas de merma.(AUGURA, 1997).

Posteriormente se separa de cada racimo las manos del vástago, para luego estas manos ingresarlas en el tanque de agua evitando golpear unas a otras, luego la fruta es seleccionada según las especificaciones de calidad mediante una herramienta llamada gurbia, donde los gajos seleccionados pasan a otro tanque de agua para el “desleche” y los gajos que no cumplen las especificaciones se apartan del proceso (consideran mercado nacional). Los gajos seleccionados luego se ponen en una bandeja según el patrón de empaque de la comercializadora para hacer el pesaje de este, una vez en la bandeja se procede a la aplicación de una solución fungicida o desinfectante para el cubrimiento de la corona, luego se identifica la fruta con el sello que permite diferenciarla.(AUGURA, 1997).

- **Empaque:** comprende el empaque de los gajos siguiendo una serie de pasos para lograr la presentación y calidad de la fruta, a nivel general, en la base de la caja se pone una división, se ubica una bolsa plástica y se empacan los gajos usando cuñas a fin de hacer una distribución equitativa de filas para garantizar que el empaque mantenga la calidad de la fruta exigida por las comercializadoras, posteriormente se paletizan haciendo un tendido de seis cajas para una altura de ocho tendidos 48 cajas por estiba con unas condiciones de arrume preestablecidas, las cajas son marcadas con el número asignado a cada productor a fin de facilitar la trazabilidad de la fruta

en la producción-comercialización del banano.(Martínez Covaleda & Peña Marín, 2005).

Actores claves para estas etapas de la cadena productiva se encuentran

- Proveedores de fumigación aérea
- Sistemas de riego inteligente: incluye el diseño, suministro, ingeniería, instalación y monitoreo. Empresas como Durman prestan este servicio.
- Semillas: agrobiotecnología suministro de variedades de banano
 - Empresa Rahan Meristem: para la mejora de plantas y multiplicación. En Colombia representada por la empresa Meristemas de Colombia (laboratorio de cultivo de tejidos)
- Fertilizantes: monómeros Colombo-Venezolanos, Abocol, Diabonos, Precisagro, Disan.
- Agro Bayer Colombia (insecticidas, fungicidas, herbicidas, nematicidas)
- BASF: herbicidas, fungicidas, desinfectante de suelo
- Fábricas de Cartón: Corrugados del Darién.
- UNIBAN: con su unidad de Servicios al Campo, produce y comercializa cajas de cartón.
- Polyban: fábrica de plásticos, que suministra: bolsas y láminas para empaque de banano de exportación, bolsas tipo guante o “Diapa” para protección interna de racimo, bolsas impresas hasta 8 colores, bolsa para protección de racimos con o sin insecticida para control de plagas (tratadas con tres ingredientes Clorpirifos, Bifentrina y Buprofezin), bolsa para empaque de fertilizantes, cintas de colores para identificación de edad de fruta. Soga bananera, zuncho para paletizado bananero.
- Proveedores de elementos de protección personal: guantes, delantales, rejillas, caretas, fumigador especial, botas, gafas.

Comercialización

Una vez el banano se encuentre empacado, paletizado y según lo estándares del mercado de exportación de destino, el banano se carga en camiones que se encargan de llevarlo desde la planta empacadora hacia los embarcaderos que son el de Zungo, Embarcadero y Nueva Colonia, en estos se realiza una inspección de calidad por parte de la empresa comercializadora.(SENA, 2015)

Teniendo en cuenta que aún la zona del Urabá no tiene un puerto de embarque las comercializadores desarrollaron un sistema de transporte mediante canales fluviales donde la fruta se transporta en bongos que luego son arrastrados por remolcador marítimo hasta llegar al Golfo de Urabá a encontrar el remolcador marítimo para hacer la carga del buque en altamar, cada buque cuenta con bodegas refrigeradas y en unos días es cargado el buque con capacidad de 240.000 cajas (Martínez Covalada & Peña Marín, 2005)

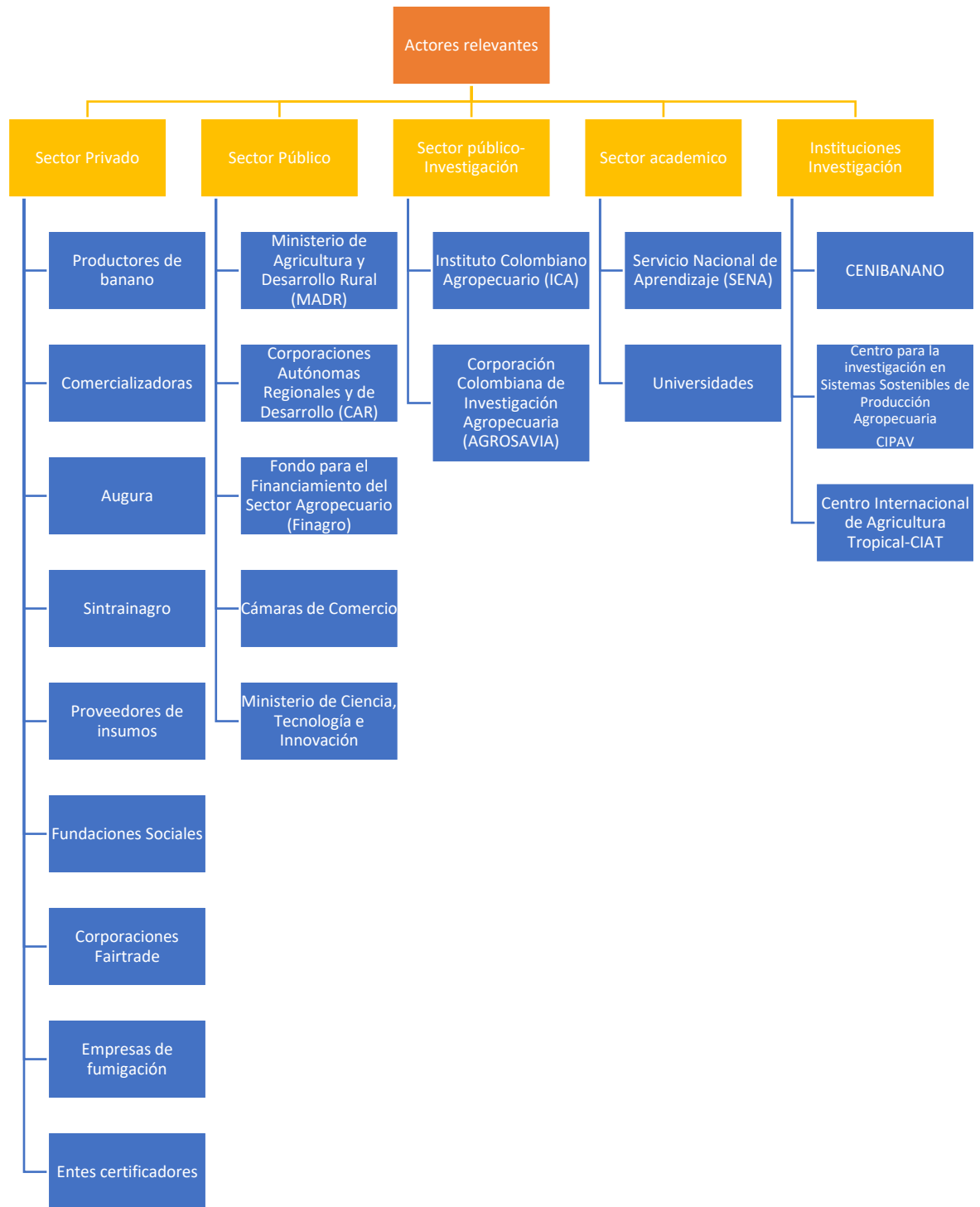
Es importante mencionar que las comercializadoras no participan directamente en la producción de la fruta, sin embargo, tienen algunas modalidades de operación con los productores como ser propietarios de las tierras, figura de áreas contratadas o mediante contratos de suministro donde los productores entregan la fruta a las comercializadoras que a su vez brindan servicios de asistencia técnica; semanalmente cada productor cuenta con un cupo de entrega que asigna la comercializadora, y luego así las trasnacionales se dedican a la exportación comercial del producto para la comercialización (Martínez Covalada & Peña Marín, 2005), las grandes trasnacionales como Chiquita, Dole, Del Monte, Noboa y Fyffes que se encargan de la venta en el extranjero, una vez la fruta llega al país de destino la fruta es distribuida por empresas filiales de las comercializadoras que a su vez lo suministran a cadenas de supermercados y en menor medida a mayoristas.

Entre los actores claves para estas etapas de la cadena productiva se encuentran

Empresas certificadoras: aquellas que prestan el servicio de auditoría y certificación en los estándares desarrollados a nivel internacional sobre mejoras ambientales y sociales, donde se incluyen criterios a cumplir por la organización y el producto y que como resultado entrega una etiqueta identificable (Ramm et al., 2021), las más destacadas son según Ramm et al. (2021)

- **Global G.A.P.:** minimizar impacto nocivo sobre el medio ambiente, reducir el uso de insumos químicos, asegurar comportamiento responsable para la salud y seguridad de los trabajadores. Es el referente en el mercado del banano para los productores. (p.11)
- **Rainforest Alliance:** requisitos de agricultura sostenible. Ayudar a los agricultores a proteger los países donde viven y trabajan, marco para mejorar los medios de vida y promover los derechos humanos de la población rural. (p.11)
- **Fairtrade:** promover el comercio justo mejorando el acceso al mercado y las condiciones comerciales para los pequeños productores y sus trabajadores. Proporciona un precio mínimo garantizado por el producto y una prima adicional a las organizaciones que deben utilizar para mejorar las condiciones de la comunidad. (p.11).
- **SMETA (Sedex Members Ethical Trade Audit):** Auditoria ética enfocada en la responsabilidad social empresarial. Certifica las condiciones laborales de las plantaciones cumplan con estándares de derechos laborales, salud y seguridad ocupacional.
- Empresas de transporte terrestre
- Transnacionales que venden la fruta en el extranjero

Figura G1
Actores relevantes cadena de producción bananera Urabá



Nota: Elaboración propia adaptado de (Salamanca Gómez et al., 2023).

Tabla G1*Funciones de los actores e interacción en la cadena producción banano de la Región Urabá-Antioquia*

Sector	Actor	Funciones	Eslabón de la cadena
Privado	Productores de banano	Encargados de cultivar el banano	<ul style="list-style-type: none"> • Labores de cultivo • Desarrollo del cultivo • Cosecha y Poscosecha
	Comercializadoras	Destacan Uniban, Banacol y Banafrut. Las comercializadoras se encargan del transporte internacional del banano en buques que, una vez llegan al país de destino, la fruta se descarga en bodegas para ser distribuida por las empresas filiales de la comercializadora para ser distribuida a cadenas de supermercados o mayoristas. (Martínez & Peña, 2005).	<ul style="list-style-type: none"> • Cosecha y poscosecha • Comercialización
	AUGURA	Asociación que agrupa a productores y comercializadoras de banano de Antioquia y Magdalena; entidad gremial, sin ánimo de lucro. Defiende los intereses de la agroindustria ante organismos oficiales e internacionales, ofrece a sus afiliados nuevas estrategias que favorecen la productividad y competitividad del sector	Es transversal a las etapas de: <ul style="list-style-type: none"> • Aprovechamiento • Labores de cultivo • Desarrollo del cultivo

			<ul style="list-style-type: none"> • Cosecha y poscosecha
	SINTRAINAGRO	Sindicato Nacional de los Trabajadores de la Industria Agropecuaria. Que vincula a obreros y operarios del sector, donde la relación laboral se rige mediante acuerdos convencionales.	<ul style="list-style-type: none"> • Labores de cultivo • Desarrollo del cultivo • Cosecha y poscosecha
	Proveedores de insumos	Es uno de los grupos más grandes e importantes para toda la cadena de producción del banano, los principales insumos son: <ul style="list-style-type: none"> • Cartón • Estibas • Plásticos • Fertilizantes • Agroquímicos, • Sellos (identificación de la fruta y trazabilidad), • Zunchos. • Empresas de fumigación aérea. • Meristemas o semillas • Sistemas de riego 	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovisionamiento
	Fundaciones Sociales	Trabajan pro de entregar a los trabajadores mejores condiciones de vida, velar por su bienestar y preservar la	Actor fundamental para asegurar las condiciones de

	producción, algunas de ellas son: Uniban Fundación, Fundeban, entre otras. Con el fin de dar un mayor impacto a la población. (SENA, 2015)	vida de la población que desempeña las labores de producción del banano.
Corporaciones Fairtrade	Son las beneficiarias de un sobreprecio que pagan los clientes del exterior por cada caja que reciben, este beneficio varía según el mercado destino, para el caso del mercado europeo se paga 1 dólar americano mientras el mercado americano paga 50 centavos de dólar. Este dinero recolectado es destinado a los trabajadores para contribuir a su bienestar social (vivienda, educación y salud)	
Empresas Fumigación	Encargadas de hacer el control fitosanitario de las enfermedades que ataca el banano Sigatoka Negra enfermedad que no permite el desarrollo de la fruta, este control es aéreo con refuerzos terrestres. Estas empresas fumigan según la infección y la frecuencia es variable.	Aprovisionamiento
Entes Certificadores	La certificación es fundamental para garantizar condiciones de calidad y sanidad, muchas entidades participan en este proceso según el enfoque (fitosanitario, sostenibilidad o comercio justo). <ul style="list-style-type: none"> • Global GAP: Good Agricultural Practices • Rainforest Alliance 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de cultivo • Cosecha y poscosecha • Comercialización

		<ul style="list-style-type: none"> • Fairtrade 	
Público	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR)	Desarrolla planes y programas orientados al sector agropecuario.	Actores transversales al desarrollo de la cadena de producción del banano
	Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo (CAR)	Entes que actúan en pro de los recursos renovables y del medio ambiente según la jurisdicción	
	Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro)	Banca de desarrollo que promueve el sector rural con instrumentos de financiación, vinculada al MADR	
	Cámaras de Comercio	Incentivan la actividad comercial de los privados y otros stakeholders relevantes. Se destaca la Cámara de Comercio de Urabá	
	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación	Impulsa proyectos que buscan mejorar la competitividad, sostenibilidad y adaptación a los desafíos de la industria.	

Público- Investigación	Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)	Garantizando la sanidad y calidad de los productos agrícolas, se encarga de proteger la producción nacional como las exportaciones de enfermedades y plagas que afecten la industria. Se encarga de emitir los certificados fitosanitarios de exportación, capacita a productores, realiza monitoreo y control de cultivos	
	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)	Entidad de investigación para el sector agropecuario y fundamental para su desarrollo, orientados a mejorar la productividad y calidad del banano. Grandes de sus esfuerzos se enfocan en desarrollar variedades de banano más resistentes, innovaciones en manejo de suelo. Además de servicios de transferencia tecnológica y capacitación a productores	
Sector académico	Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)	Brinda servicios de formación profesional y capacitación. Tiene programas enfocados en la agroindustria bananera	
	Universidades	Brindar formación profesional avanzada y además de la labor de educación, se vinculan al sector agrícola bananero mediante proyectos de investigación con el fin de desarrollar productos que busquen la mejora continua y sostenibilidad del sector.	
Instituciones Investigación	Cenibanano	Centro de Investigaciones del Banano, trabaja con los bananeros de Urabá y Magdalena a fin de obtener avances	

		<p>tecnológicos y científicos en pro de la sostenibilidad, productividad y sanidad de este sector. Sus líneas de investigación son fitosanidad, fisiología y nutrición vegetal, suelos y agricultura de precisión, agroclimatología y biotecnología. A su vez convenios con universidades y centros de investigación, destacan:</p> <p>Universidad de los Andes Universidad Nacional Universidad de Antioquia EAFIT</p>	<p>Estos actores son transversales para las etapas de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Labores de cultivo • Desarrollo del cultivo • Cosecha y poscosecha
Centro para la investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV)	<p>Fundación colombiana dedicada a la investigación y promoción de prácticas agropecuarias sostenibles.</p> <p>CIPAV ha promovido la implementación de sistemas agroforestales que integran cultivos como el banano con árboles y otras especies vegetales.</p> <p>Fomenta proyectos de sostenibilidad agropecuaria y restauración ecológica.</p>		
CIAT	<p>Se centra en la investigación y desarrollo de soluciones para mejorar la productividad, sostenibilidad y resiliencia de los cultivos de banano.</p> <p>Trabaja en líneas de investigación como:</p>		

		<ul style="list-style-type: none">• Investigación en diversidad genética y mejoramiento de variedades.• Manejo de plagas y enfermedades.• Conservación de agrobiodiversidad.• Implementación de tecnologías climáticas.• Capacitación y transferencia de tecnología.	
--	--	--	--

Nota: Elaboración propia adaptado de (Salamanca Gómez et al., 2023)

Normativa asociada al Sector Bananero en Colombia

Es importante hacer una revisión general de las principales leyes, regulaciones y políticas que están asociadas al cultivo de banano en Colombia, dentro de las cuales se destacan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

Tabla G2

Normativa asociada al cultivo del banano en Colombia

Normativa / Acuerdo	Categoría	Objetivo Principal	Detalles relevantes
Ley 65 de 1968	Desarrollo Sectorial	Rehabilitación y desarrollo de la Zona Bananera del Magdalena.	Creación de la Junta de Fomento Bananero y Corporación de Desarrollo de Urabá.
Decreto Ley 2811 de 1974 (Código Ambiental)	Sostenibilidad Ambiental	Establecen las bases en manejo de suelo, agua, aire y residuos para todas las actividades agroindustriales	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y protección ambiental general.
Ley 9 de 1979	Sostenibilidad Ambiental	Establecen las bases en manejo de suelo, agua, aire y	Código Sanitario Nacional que regula uso de agroquímicos y protección sanitaria en agricultura.

		residuos para todas las actividades agroindustriales	
Ley 48 de 1983	Incentivos Económicos	Implementar el Certificado de Reembolso Tributario (CERT) para apoyar exportaciones.	Incentivo fiscal para exportadores.
Decreto 636 de 1984	Incentivos Económicos	Reglamentación del CERT	El CERT se puede utilizar para pagar impuestos, tasas y contribuciones una vez que el Banco de la República lo entrega. El Gobierno Nacional fija los niveles del CERT de acuerdo con los productos y las condiciones de los mercados de exportación. El CERT busca estimular las exportaciones devolviendo al exportador una parte o la totalidad de los impuestos indirectos, tasas y contribuciones que pagó.
Constitución Política de 1991	Sostenibilidad Ambiental	Consagra el desarrollo sostenible.	Estableció las bases para leyes ambientales posteriores
Decreto 1843 de 1991:	Fitosanidad	Control epidemiológico en el uso de plaguicidas.	Protección de la población, fauna y flora, regulando el uso de plaguicidas en áreas buffer impidiendo su empleo a 100

			metros de distancia de lugares que podrían afectar a la población
Ley 99 de 1993	Sostenibilidad Ambiental	Creó el Ministerio del Medio Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental (SINA)	Creó la Guía Ambiental para el Subsector Bananero. Obliga a licencias ambientales y manejo sostenible en fincas bananeras.
Ley 69 de 1993	Apoyo Gubernamental	Seguro agrícola contra riesgos climatológicos. Incentivar y proteger la producción agropecuaria, forestal, pesquera y acuicultura.	Proteger las inversiones agropecuarias financiadas con recursos del Sistema Nacional de Crédito Agropecuario o con recursos propios del productor. Ampara perjuicios de riesgos naturales meteorológicos, geológicos, biológicos, antrópicos, de mercado y comercialización resultantes de factores extraordinarios e incontrolables al productor.
Ley 101 de 1993	Apoyo Gubernamental	Proteger el sector agropecuario y mejorar ingresos de productores.	Promueve producción y comercialización de productos agrícolas.
Ley 118 de 1994	Incentivos Económicos	Exención de cuotas para bananeros.	Elimina el 1% de cuota sobre ventas para el sector bananero
Ley 811 de 2003	Apoyo Gubernamental	Fomento a cadenas productivas.	Facilita créditos blandos (FINAGRO) y programas como Alianzas Productivas.
Acuerdo Nacional de Competitividad		Mejorar productividad y competitividad del plátano/banano.	Enfoque en comercio internacional.

Tratado de Libre Comercio (TLC) Colombia-EE.UU.		Reducción de barreras arancelarias y promoción de exportaciones.	Ambiente seguro de negocios para los exportadores colombianos, promueve el comercio fluido y reduce las barreras arancelarias beneficiando a los exportadores (Alarcón Saavedra, 2024).
Acuerdo Comercial entre Colombia y la Unión Europea (UE)		Acceso preferencial al mercado europeo. Aumento de participación en las exportaciones	Este es uno de los mercados desarrollados de alto poder adquisitivo a los que llegan productos colombianos masivamente; actualmente para el caso del banano el arancel es de 75 € /ton. (Alarcón Saavedra, 2023)
Resolución ICA 2398 de 2011	Fitosanidad	Prohibición de importar material vegetal de países con <i>Foc TR4</i> .	Medida preventiva de bioseguridad.
Ley 1876 de 2017 - Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria - SNIA		Crear el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria.	Incluye financiamiento, seguimiento y evaluación de innovación.
Resolución ICA 11912 de 2019	Fitosanidad	Emergencia fitosanitaria por <i>Foc TR4</i> .	- Medidas para prevenir propagación de plagas.

Resolución ICA 17334 de 2019	Fitosanidad	Monitoreo fitosanitario en cultivos de banano/plátano.	Establece como mínimo a los productores realizar cuatro monitoreos al año, uno trimestral, y los resultados se reporten en el informe fitosanitario presentado en ese periodo.
Resolución ICA 68180 de 2020	Fitosanidad	Medidas complementarias contra <i>Foc TR4</i> .	Cuarentenas, desinfección de vehículos y control de material vegetal.
Resolución ICA 72820 de 2020	Fitosanidad	Prorroga medidas de emergencia por <i>Foc TR4</i> .	Extiende vigencia de Resolución 68180
Resolución ICA 092770 de 2021	Fitosanidad	Prevención del "Moko" (<i>Ralstonia solanacearum</i>).	Obliga a erradicar plantas infectadas y notificar al ICA.
Resolución ICA 095026 de 2021	Fitosanidad	Declara a Urabá como área libre de <i>Foc TR4</i> .	Establece puestos de control y monitoreo permanente.
Guía para importar a Colombia germoplasma y material de propagación de plátano y banano-	Fitosanidad	Regular ingreso de material vegetal resistente a plagas.	Promueve un procedimiento para asegurar que el germoplasma importado a Colombia se encuentre libre de plagas y garantice al sector el acceso de materiales promisorios por su comportamiento frente a <i>Foc TR4</i> .

Resolución 11912 y 72820 de 2020			
Ley 2183 de 2022	Apoyo Gubernamental	Creación del Sistema Nacional de Insumos Agropecuarios.	Establece la política Nacional de Insumos Agropecuarios. Crea el Fondo para el Acceso a los Insumos Agropecuarios (FAIA)
Resolución ICA 2081 de 2023	Fitosanidad	Plan Nacional contra <i>Foc TR4</i>	Implementar medidas de bioseguridad, considerando el tamaño de la unidad productiva. Marco normativo que compila todas las medidas fitosanitarias de prevención, vigilancia y control.
Ley 2321 de 2023	Cultural	Reconoce la cultura gastronómica del banano y el plátano como patrimonio cultural de la nación. También declara a los trabajadores bananeros y campesinos plataneros como patrimonio cultural inmaterial	Reconstruir la memoria histórica de las masacres bananeras. Fomentar buenas prácticas agrícolas en la producción bananera. Priorizar y promover el uso del banano en programas locales nutricionales. Incluir planes para prevenir, mitigar y contener las plagas y enfermedades que ataquen la producción de plátano y banano.

Ley 2303 de 2023	Fitosanidad	prioridad sanitaria la prevención, la mitigación, erradicación, contención y renovación de la marchitez por <i>Foc TR4</i> del plátano y banano (musáceas),	A través del ICA. adoptar medidas fitosanitarias y de bioseguridad que estime pertinentes para evitar la diseminación del <i>Fusarium oxysporum f. sp. cubense raza 4 TR4 (Foc TR4)</i> en los cultivos de musáceas, del Huanglongbing (HLB) en los cultivos de cítricos y de las enfermedades de la pudrición del cogollo y la marchitez letal en los cultivos de palma de aceite de Colombia.
CONPES 3375	Fitosanidad	Política de sanidad agropecuaria e inocuidad alimentaria.	Enfoque en medidas sanitarias y fitosanitarias.

Nota: Tomado de Ministerio de Agricultura

Anexo H. Formato de encuesta realizada a expertos sobre prospectiva en el sector bananero de Antioquia- Survey Monkey



Prospectiva Sector Bananero de Antioquia

1. INTRODUCCIÓN / INTRODUCTION

¡Bienvenido/a!

Esta encuesta, diseñada para ser completada en 17 minutos, se organiza en distintos bloques temáticos. Podrás calificar la relevancia actual y futura de diversas tecnologías y prácticas (mediante escalas del 1 al 5 o niveles de probabilidad para 2040) y responder solo aquellas secciones que sean de tu interés. ¡Agradecemos tu participación y tus valiosas opiniones!

Cantidad de preguntas: La encuesta está compuesta por dos bloques y 10 grupos temáticos.

Organización de la encuesta:

Bloque 1:

Evaluación de la relevancia

Preguntas que van de la 1 a la 5, en las cuales se debe calificar en una escala del 1 al 5 la importancia actual y futura de diversos temas y tecnologías, como:

Integración de tecnologías emergentes (IA, IoT, robótica)

Sostenibilidad y control biológico de plagas y enfermedades

Mejora genética

Tecnologías para el cultivo y poscosecha

Agricultura de precisión

Bloque 2:

Evaluación de la probabilidad de ocurrencia para 2040

Se plantean preguntas específicas para calificar, en distintos niveles (Muy Alta, Alta, Media, Baja, Nula), la probabilidad de que se materialicen tecnologías en:

Integración de tecnologías emergentes (IA, IoT, robótica)

Sostenibilidad y control biológico de plagas y enfermedades

Mejora genética

Tecnologías para el cultivo y poscosecha

Agricultura de precisión

Flexibilidad en la respuesta:

Podrás responder únicamente aquellas secciones o preguntas que sean de su interés.

Prospectiva Sector Bananero de Antioquia

2. BLOQUE 1 / BLOCK 1

Para las preguntas de la 1 a la 5 por favor califique en una escala de 1 a 5 donde: / For questions 1 to 5, please rate on a scale from 1 to 5, where:

- 1: Totalmente en desacuerdo / Totally disagree
- 2: En desacuerdo / Disagree
- 3: Ni de acuerdo ni en desacuerdo / Neither agree nor disagree
- 4: De acuerdo / Agree
- 5: Totalmente de acuerdo / Totally agree

2 / 9  22%

3. Temas o tecnologías más relevantes para el Sector Bananero al 2040 relacionados con Integración de tecnologías Emergentes (IA, IoT, robótica) /Most relevant technologies or issues for the banana sector by 2040 related to the integration of emerging technologies (AI, IoT, robotics)

	Importancia actual / Current relevance	Importancia futura / Future relevance
Uso de redes neuronales convolucionales en la clasificaciones automática / Use of convolutional neural networks in automatic classification	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Desarrollo de aplicaciones móviles con IA para monitoreo agrícola / Mobile application integrated wit AI for agricultural monitoring	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Automatización de procesos con algoritmos como YOLO y Fuzzy Logic./ YOLO and Fuzzy Logic for process automation	<input type="text"/>	<input type="text"/>

4. Temas o tecnologías mas relevantes para el Sector Bananero al 2040 relacionados con Sostenibilidad y control biológico de plagas y enfermedades / Most relevant technologies or issues for the banana sector by 2040 related to biological control of pest and diseases and Sustainability

	Importancia actual / Current relevance	Importancia futura / Future relevance
Control biológico de plagas y enfermedades / Biological control of pest and diseases	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Desarrollo de bioestimulantes y fertilizantes ecológico / Development of bioestimulants and biological fertilizers	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Reducción del uso de fungicidas químicos / Chemical fungicide reduce	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Aprovechamiento de residuos orgánicos / Organic waste utilization	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Desarrollo de agentes biológicos para el control de enfermedades / Development of biological agents for pest disease	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Otro (Another)

Ant. Sig.

Prospectiva Sector Bananero de Antioquia

5. BLOQUE 2 / BLOCK 2

Para las preguntas de la 8 a la 12 por favor califique el nivel donde: / For questions 8 to 12, please rate the level, where:

- Muy Alta / Very High
- Alta / High
- Media / Medium
- Baja / Low
- Nula / None



8. INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES (IA, IoT) / INTEGRATION OF EMERGING TECHNOLOGIES (AI, IoT, robotics)

De los siguientes califique la probabilidad de ocurrencia a 2040 / Rate the probability of occurrence in 2040

	Muy Alta / Very High	Alta / High	Media / Medium	Baja / Low	Nula / None
Detección de madurez de la fruta con imágenes hiperespectrales y RGB / Fruit ripeness detection with hyperspectral and RGB images	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Clasificación de racimos y detección de enfermedades (Foc TR4, Sigatoka negra) / Banana bunch classification and disease detection (Foc TR4, Black Sigatoka)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Predicción de cambios climáticos y gestión nutricional, y control inundaciones en cultivos de banana / Climate change prediction and nutritional management, and flood control in banana crops	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

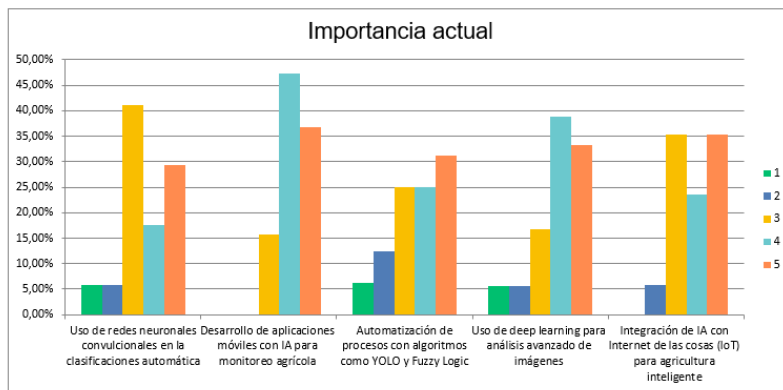
Anexo I. Resultados encuesta

Prospectiva Sector Bananero de Antioquia

Temas o tecnologías más relevantes para el Sector Bananero al 2040 relacionados con Integración de tecnologías Emergentes (IA, IoT, robótica) /Most relevant technologies or issues for the banana sector by 2040 related to the integration of emerging technologies (AI, IoT, robotics)

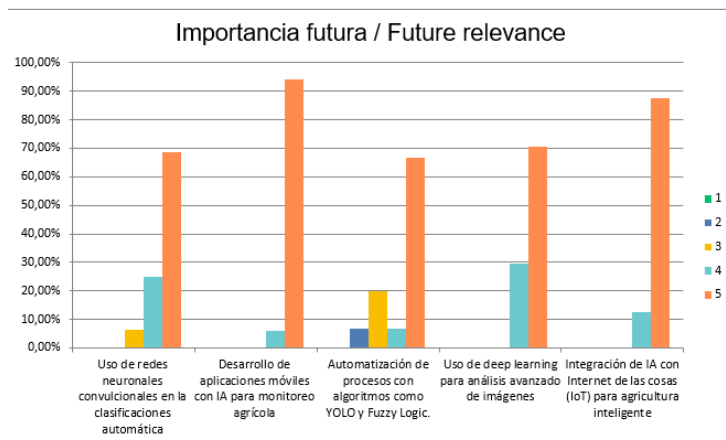
Importancia actual / Current relevance

	1	2	3	4	5	Total
Uso de redes neuronales convolucionales en la clasificaciones automáticas	5,88%	1	5,88%	1	41,18%	7
Desarrollo de aplicaciones móviles con IA para monitoreo agrícola	0,00%	0	0,00%	0	15,79%	3
Automatización de procesos con algoritmos como YOLO y Fuzz	6,25%	1	12,50%	2	25,00%	4
Uso de deep learning para análisis avanzado de imágenes	5,56%	1	5,56%	1	16,67%	3
Integración de IA con Internet de las cosas (IoT) para agricultura inteligente	0,00%	0	5,88%	1	35,29%	6
Otro (Another)						2
						20
						1



Importancia futura

	1	2	3	4	5	Total
Uso de redes neuronales convolucionales en la clasificaciones automáticas	0,00%	0	0,00%	0	6,25%	1
Desarrollo de aplicaciones móviles con IA para monitoreo agrícola	0,00%	0	0,00%	0	5,88%	1
Automatización de procesos con algoritmos como YOLO y Fuzz	0,00%	0	6,67%	1	20,00%	3
Uso de deep learning para análisis avanzado de imágenes	0,00%	0	0,00%	0	29,41%	5
Integración de IA con Internet de las cosas (IoT) para agricultura inteligente	0,00%	0	0,00%	0	12,50%	2
Otro (Another)						2
						20
						1



DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES PARA EL SECTOR BANANERO DE ANTIOQUIA: UN EJERCICIO PROSPECTIVO AL 2040

INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES (IA, IoT) / INTEGRATION OF EMERGING TECHNOLOGIES (AI, IoT, robotics) De los siguientes califique la probabilidad de ocurrencia a 2040 / Rate the probability of occurrence in 2040

	Muy Alta	Alta	Media	Baja	Nula	Total	Weighted Average
Detección de madurez de la fruta con imágenes hiperspectrales	50,00%	33,33%	16,67%	0,00%	0,00%	18	1,67
Clasificación de racimos y detección de enfermedades (Foc TR4)	55,56%	38,89%	5,56%	0,00%	0,00%	18	1,5
Predicción de cambios climáticos y gestión nutricional, y control	44,44%	33,33%	22,22%	0,00%	0,00%	18	1,78
Análisis de suelos y raíces, mediante algoritmos rain forest	22,22%	50,00%	22,22%	5,56%	0,00%	18	2,11
Detección de deficiencias nutricionales de la planta mediante uso	50,00%	38,89%	11,11%	0,00%	0,00%	18	1,61
Detección de aptitud de suelos para cultivo de banano	38,89%	44,44%	16,67%	0,00%	0,00%	18	1,78
Detección de artrópodos con sensores hiperspectrales	25,00%	37,50%	31,25%	6,25%	0,00%	16	2,19
Optimización de la productividad mediante análisis de datos en ti	66,25%	43,75%	0,00%	0,00%	0,00%	16	1,44
IoT para predicciones precisas de necesidades de agua en los ct	52,94%	41,18%	5,88%	0,00%	0,00%	17	1,53

Answered 18
Skipped 3

