

Colección Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario

Análisis de paisajes científicos aplicado a servicios tecnológicos para el sector agropecuario colombiano

Diego Hernando Flórez Martínez

Adriana Marcela Santacruz-Castro

Jenny Milena Moreno-Rodríguez

AGROSAVIA
EDITORIAL

Colección Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario

Análisis de paisajes científicos aplicado a servicios tecnológicos para el sector agropecuario colombiano

Diego Hernando Flórez Martínez
Adriana Marcela Santacruz-Castro
Jenny Milena Moreno-Rodríguez

AGROSAVIA
EDITORIAL

Mosquera, Colombia, 2022

Flórez Martínez, Diego Hernando

Análisis de paisajes científicos aplicado a servicios tecnológicos para el sector agropecuario colombiano. / Diego Hernando Flórez Martínez; Adriana Marcela Santacruz Castro y Jenny Milena Moreno Rodríguez. – Mosquera (Colombia) : AGROSAVIA, 2022.

166 páginas (Colección Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario)

Incluye gráficos y tablas

ISBN E-book: 978-958-740-522-4

1. Recuperación de información 2. Diagnóstico de laboratorio 3. Laboratorios 4. Análisis de componentes 5. Procesamiento de información . I. Santacruz Castro, Adriana Marcela II. Moreno Rodríguez, Jenny Milena.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Sede central. Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera. Código postal 250047, Colombia.

Colección Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario

Fecha de recepción: 1 de marzo de 2021

Fecha de evaluación: 31 de mayo de 2021

Fecha de aceptación: 12 de julio de 2021

Publicado: abril de 2022

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Editora: Liliana Gaona García

Corrección de estilo: Nathalie De la Cuadra N.

Diagramación: María Paula Berón

Citación sugerida: Flórez Martínez, D. H., Santacruz-Castro, A. M., & Moreno-Rodríguez, J. M. (2021). *Análisis de paisajes científicos aplicado a servicios tecnológicos para el sector agropecuario colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7405224>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

DOI: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7405224>

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

<http://www.agrosavia.co>



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Agradecimientos	13
Los autores	15
Introducción	19
Diseño metodológico	23
Fase 1. Diseño de la estrategia de búsqueda y captura de información	24
Fase 2. Procesamiento de la información	27
Fase 3. Análisis de los reportes	30
Fase 4. Análisis enriquecido	34
Fase 5. Perspectivas	34

Capítulo I

Importancia de los servicios de laboratorio en la producción de conocimiento científico	41
Introducción	41
Centros de investigación y desarrollo tecnológico en Colombia: actores clave en la provisión de servicios tecnológicos	43
Estadísticas de los centros de investigación y desarrollo tecnológico del país	46
Centros de investigación del sector agropecuario	51
Una aproximación a la importancia de los servicios de laboratorio en la investigación agropecuaria	52
Análisis comparativo entre los servicios de laboratorio de AGROSAVIA y los institutos nacionales de investigación agropecuaria de América Latina y el Caribe	68
Visibilidad de los servicios de laboratorio en la producción científica de AGROSAVIA	74
Conclusiones	76

Capítulo II

Servicios de laboratorio orientados al productor agrícola	79
Introducción	79
Descripción de los servicios de laboratorio	81
Análisis de la red integrada de servicios de laboratorio	82
Conclusiones	89

Capítulo III

Servicios de laboratorio orientados al productor pecuario	93
Introducción	93
Descripción de los servicios de laboratorio	95
Análisis de los clústeres	97
Servicio de análisis de componentes de alimentos	100
Determinación de calidad higiénica, composicional y sanitaria de leche cruda	101
Análisis proximal de alimentos para animales	102
Producción <i>in vitro</i> de embriones bovinos	103
Producción de pajillas de semen bovino	105
Servicio de genotipado a gran escala con chips de array para especies animales y vegetales	108
Conclusiones	109

Capítulo IV

Servicios de laboratorio orientados a la investigación	113
Introducción	113
Descripción de los servicios de laboratorio	115

Análisis de los clústeres	117
Conclusiones	131

Capítulo V

Lineamientos estratégicos para los servicios tecnológicos de laboratorio de AGROSAVIA	135
Introducción	135
<i>Roadmap</i> integral	136
Rutas tipo	141
Conclusiones	146
Referencias	151

Lista de figuras

Figura 1	Operadores booleanos	26
Figura 2	Interfaz de selección de archivo de Scopus	28
Figura 3	Selección del tipo de análisis por ejecutar	28
Figura 4	Parámetros de refinamiento	29
Figura 5	Interfaz de análisis de redes	29
Figura 6	Análisis de interacciones por palabra clave	31
Figura 7	Análisis de atributos de tiempo	32
Figura 8	Mapa de calor	33
Figura 9	Análisis interclúster	33
Figura 10	Estructura base para la construcción de itinerarios de ruta	35
Figura 11	Estructura <i>roadmap</i> adaptada a servicios tecnológicos de laboratorio	37
Figura 12	Dinámica de publicaciones acumuladas 2000-2020	54
Figura 13	Países referentes en publicaciones por motor de búsqueda (2000-2020)	56
Figura 14	Paisaje científico para la temática de laboratorios de servicio. Estructura de red, palabras clave	57
Figura 15	Red de coocurrencia de textos clave, títulos y resúmenes	64
Figura 16	Tópicos clave Scopus	67
Figura 17	Redes de coocurrencia de palabras clave, productividad científica de AGROSAVIA en Scopus	75
Figura 18	Estructura de red para los servicios orientados al sector agrícola	84
Figura 19	Estructura de red para el servicio de análisis de fertilidad de suelos	85

Figura 20	Estructura de red para el servicio de análisis de tejido vegetal	86
Figura 21	Estructura de red para el servicio de control de calidad microbiológica de suelos	87
Figura 22	Estructura de red para el servicio de control de calidad microbiológica de abonos	88
Figura 23	Clúster 1. Investigaciones relacionadas con suelos	89
Figura 24	Estructura de red para los servicios orientados al sector pecuario	98
Figura 25	Estructura de red para el servicio de análisis de componentes en alimentos	100
Figura 26	Estructura de red para el servicio de determinación de calidad higiénica, composicional y sanitaria de leche cruda y de análisis proximal de alimentos para animales	101
Figura 27	Estructura en red para el servicio de producción <i>in vitro</i> de embriones bovinos	105
Figura 28	Estructura de red para el servicio de producción de pajillas de semen bovino	106
Figura 29	Clúster de ganadería y salud animal	108
Figura 30	Servicio de genotipado a gran escala con chips de array para especies animales y vegetales	108
Figura 31	Estructura de red para los servicios orientados a la investigación	117
Figura 32	Clúster asociado a secuenciación por fragmentos	120
Figura 33	Clúster de mejoramiento genético	122
Figura 34	Clúster asociado a micropropagación vegetal	123
Figura 35	Clúster asociado a cría de insectos	125

Figura 36	Clústeres de investigaciones relacionadas con entomología agrícola	126
Figura 37	Clúster asociado a microorganismos biocontroladores	127
Figura 38	Clústeres de investigaciones asociadas a microbiología agrícola	131
Figura 39	<i>Roadmap</i> global de servicios de laboratorio de AGROSAVIA	137
Figura 40	Hoja de ruta tipo - bioplaguicidas	142
Figura 41	Hoja de ruta tipo - entomología	142
Figura 42	Hoja de ruta tipo - micropropagación vegetal	143
Figura 43	Hoja de ruta tipo - genética	144
Figura 44	Hoja de ruta tipo - servicios pecuarios	145
Figura 45	Hoja de ruta tipo - análisis químicos	146

Lista de tablas

Tabla 1	Categorías de los centros en Colombia	44
Tabla 2	Indicadores clave de los centros de investigación	47
Tabla 3	Centros de investigación del sector agropecuario y servicios de laboratorio	51
Tabla 4	Ecuaciones de búsqueda	53
Tabla 5	Clústeres identificados en el paisaje científico de Scopus	58
Tabla 6	Análisis de clústeres complemento	65
Tabla 7	Análisis comparativo de servicios de laboratorios ofertados por institutos nacionales de investigación agraria seleccionados de América Latina y el Caribe	70
Tabla 8	Ecuaciones de búsqueda para los servicios de laboratorio aplicables a los sistemas productivos agrícolas	82
Tabla 9	Ecuaciones de búsqueda para los servicios de laboratorio aplicables a los sistemas productivos pecuarios	99
Tabla 10	Ecuaciones de búsqueda para los servicios de laboratorio aplicables a la investigación	118



Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y en especial a los directores de Investigación y Desarrollo, Rodrigo Alfredo Martínez, y de Vinculación, Martha Isabel Gómez.



Los autores

Diego Hernando Flórez Martínez

Correo electrónico: dhflorez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1246-6513>

Ingeniero químico de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá; magíster en Ingeniería Industrial con énfasis en Gestión de la Innovación, Productividad y Competitividad, de la misma universidad; MBA en Transformación Digital, y doctor en Ingeniería-Industria y Organizaciones con énfasis en Gestión de Conocimiento y Gestión de la I+D+i. Ha trabajado en la implementación de herramientas de gestión estratégica contemporánea para la formulación de planes estratégicos a nivel sectorial. Actualmente, lidera el equipo del Departamento de Inteligencia y Divulgación Científica y Tecnológica en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Es autor de diferentes libros y artículos de investigación, y ha participado en ponencias internacionales y nacionales. Sus líneas de investigación se enfocan en gestión de conocimiento para la investigación, desarrollo e innovación, cienciometría, gestión de la ciencia e inteligencia estratégica.

Adriana Marcela Santacruz-Castro

Correo electrónico: amsantacruz@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9823-4291>

Ingeniera agrónoma y máster en Desarrollo Empresarial Agropecuario. Tiene experiencia en transferencia de tecnología y metodologías participativas, encaminadas al fortalecimiento de capacidades para la gestión de la gobernanza, competitividad de cadenas de valor agroindustrial y sistemas agroalimentarios.

Jenny Milena Moreno-Rodríguez

Correo electrónico: jmoreno@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3444-4836>

Tiene estudios académicos en ingeniería de producción, logística comercial y química. Investigadora en AGROSAVIA de la Red de Raíces y Tuberculos. Su experiencia laboral está dirigida a la formulación y a la dirección de proyectos de difusión, comunicación y transferencia de tecnología en servicios de laboratorio; negociación y gestión de procesos de compras para equipos tecnológicos, redes de abastecimiento y transportes, innovación y desarrollo, control de calidad y producción.

CAUTION - HOT





AGROSAVIA

ANÁLISIS DE FERTILIDAD

BOLSA DE SECC

60919



Verifique que los círculos debajo de la cinta se encuentren sin signos de haber sido alterados

NO LLENE LA BOLSA PASANDO ESTA

SI LA PALABRA "VOID" APARECE EN LA CINTA DE

NO LA ABRA QUE PUEDE HABER SIDO VIOLO

DE INMEDIATO

AGROSAVIA

AGROSAVIA

AGROSAVIA

AGROSAVIA

S18-21201

Introducción

El avance del desarrollo del sector agropecuario en Colombia depende de la construcción de políticas que privilegien la financiación y estructuración del ambiente macroeconómico y el fortalecimiento institucional que se encargue de articular iniciativas económicas, ambientales y sociales que generen un entorno propicio para el aprovechamiento del capital humano, la agrobiodiversidad y las apuestas económicas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018b; Flórez M. et al., 2012; Perfetti et al., 2013). Sin embargo, el progreso en la producción primaria es uno de los factores determinantes para mejorar los niveles de competitividad, teniendo en cuenta la necesidad de innovar en el uso de tecnologías, el desarrollo de productos y servicios con valor agregado, el reconocimiento de la multifuncionalidad del sector, el diseño de nuevas formas de comercialización, la adaptación a las dinámicas de mercado, entre otros (Castellanos Domínguez et al., 2013; Tapias García, 2005).

Lograr la adopción de tecnologías y el acceso a servicios especializados implica, entre otras, el desarrollo participativo y cooperativo en los procesos de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) por parte de investigadores, actores del sistema nacional de innovación agropecuario, de las cadenas y de los sistemas productivos, considerando las necesidades por resolver y los factores motivacionales económicos, sociales y ambientales que influyen en la toma de decisiones para la innovación en el sector agropecuario y que favorecen su desarrollo. Así, como afirman Rugeles et al. (2012), para los productores agropecuarios es complejo comprender los conceptos de innovación o novedad.

En el sector agropecuario de Colombia, aún se promueve el uso de productos de síntesis química para la fertilización y el control fitosanitario, y la preparación de suelos con maquinaria agrícola y demás prácticas agronómicas para intensificar el uso de los recursos naturales e incrementar la productividad de los cultivos; todo esto como consecuencia de la influencia de la Revolución verde (Henry et al., 2017), pero también porque las alternativas sostenibles y competitivas no se encuentran al alcance o aún no están adaptadas a las condiciones locales de los sistemas productivos o de acuerdo con las competencias socioeconómicas de los usuarios.

Las tecnologías desarrolladas durante la Revolución verde estaban orientadas hacia la provisión de soluciones para incrementar los rendimientos, sin considerar los impactos sobre los recursos naturales. Como lo argumenta Soby (2013), el enfoque de la investigación agrícola durante la mitad del siglo xx se concentraba en el aumento de los rendimientos, sin que hubiera mucha preocupación por el costo de los insumos de energía o la degradación ambiental; esta condición estableció un paradigma que se ha seguido desde entonces, con algunas excepciones notables.

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), centro de investigación que tiene como misión generar conocimiento científico y el desarrollo tecnológico agropecuario del país, dispone de servicios tecnológicos que determinan las condiciones de los recursos biológicos fundamentales para la producción agropecuaria, cuyos resultados apoyan la toma de decisiones acertadas en los sistemas productivos y la implementación de prácticas sostenibles, que contribuyen al incremento de la productividad y competitividad.

El propósito de este documento es analizar la forma como los servicios tecnológicos desarrollados en la corporación han aportado al desarrollo de procesos de I+D+i y de qué manera estos se alinean con las tendencias mundiales en tecnologías para el cambio técnico. Lo anterior como insumo para orientar el fortalecimiento de capacidades y dinamizar la oferta de servicios en favor de la competitividad del sector. Asimismo, el desarrollo metodológico de este análisis contempló el uso de herramientas de inteligencia competitiva y vigilancia tecnológica, enfocadas en el análisis de publicaciones científicas que están asociadas a los servicios tecnológicos disponibles en AGROSAVIA.

El primer capítulo hace una descripción de la metodología que se usó para el desarrollo de este estudio, el cual comprende el uso de la inteligencia competitiva, la vigilancia tecnológica y el análisis de redes cienciométricas para la identificación de los núcleos temáticos de investigación. El segundo capítulo es una reflexión de la contribución de los servicios tecnológicos para la mejora de las condiciones determinantes de competitividad del sector agropecuario del país, teniendo en cuenta el rol de los actores del sistema de investigación e innovación de diferentes países en la región y, por supuesto, de actores nacionales con los cuales está vinculada la corporación.

Los capítulos siguientes corresponden al análisis de los servicios tecnológicos de laboratorios de AGROSAVIA, donde a partir de los resultados de la vigilancia tecnológica se discutieron los elementos potenciales para que desarrolle la corporación, y que estos contribuyan a mejorar la competitividad del sector agropecuario. De esta manera, el capítulo tercero comprende un análisis de los servicios tecnológicos que se enfocan en sistemas de producción agrícolas. Por su parte, el capítulo cuatro integra los servicios tecnológicos orientados a sistemas de producción pecuarios y el capítulo quinto hace una descripción de los servicios tecnológicos encaminados actualmente a los procesos de investigación, desarrollo e innovación, como elementos base para el desarrollo a mediano y largo plazo de servicios tecnológicos de acceso al sector agropecuario.

Finalmente, en el capítulo sexto, a partir de la metodología de construcción de itinerarios de ruta (*roadmapping*), se definen lineamientos de corto, mediano y largo plazo para el fortalecimiento de los servicios tecnológicos de laboratorios de AGROSAVIA, con los cuales es posible adelantar una proyección de los esfuerzos que se deben priorizar para alcanzar la participación en el mercado de servicios tecnológicos y, por ende, contribuir a la actualización tecnológica de herramientas para la toma de decisiones y agregación de valor en los productos y servicios propios del sector agropecuario en Colombia.



0000

0000

000074

0000740512

L18-

0000740510

Diseño metodológico

El objetivo de este capítulo es presentar el diseño metodológico implementado en los capítulos de esta investigación, el cual puede ser replicado, adaptado y apropiado para uso continuo en procesos de análisis y referenciación del entorno.

El área de conocimiento que soporta el diseño metodológico es la inteligencia competitiva y la vigilancia tecnológica, entendidas como herramientas de soporte para la gestión del conocimiento de la empresa y del entorno. Escorsa et al. (2000) y Pere Escorsa y Maspons (2001) plantean la inteligencia competitiva y la vigilancia de la siguiente manera: “proceso de obtención, análisis, interpretación y difusión de la información de valor estratégico sobre la industria y los competidores, que se transmite a los responsables de la toma de decisiones en el momento oportuno” (p. 5).

Lo anterior tiene que ver con las variables políticas, económicas, sociales, tecnológicas, ambientales y legales, relacionadas con el objeto de análisis. Específicamente, para la variable tecnológica, la función de vigilancia se define como: “procesos sistemáticos para la captura, análisis, difusión y explotación de la información científica y tecnológica útil para la supervivencia y el crecimiento de la organización. Debe generar alertas continuas sobre toda innovación susceptible de crear oportunidades o amenazas” (Escorsa et al., 2000, p. 5).

Para esta investigación, la inteligencia competitiva y la vigilancia tecnológica son las herramientas empleadas para el estudio de tendencias y las oportunidades de desarrollo para los servicios de análisis de laboratorio de AGROSAVIA, orientados a los clientes externos (pequeños productores, gremios, academia, centros de investigación, agroindustria, extensionistas y asistentes técnicas, etcétera) e internos (investigadores).

El proceso característico de la inteligencia competitiva, y en específico de la vigilancia tecnológica, se soporta en la gestión de la información comprendida en cuatro fases: 1) obtención y captura de la información pertinente sobre el objeto de estudio; 2) procesamiento, análisis e interpretación de la información, lo que a veces implica la búsqueda de información adicional; 3) comunicación del análisis efectuado a la dirección de la empresa o entidad, instancias, actores involucrados (*stakeholders*), etcétera, y 4) toma de decisiones respecto a la cuestión examinada por parte de los actores clave (Flórez Martínez et al., 2018; Flórez Martínez & Uribe Galvis, 2018).

A partir de este proceso característico se propone un diseño metodológico propio vinculando métodos, herramientas de análisis y una estructura que se pueda replicar en futuros estudios. El diseño metodológico comprende cinco fases de trabajo, las cuales se implementan de manera secuencial; cada fase tiene asociado un método, unas herramientas, unos insumos y debe generar un producto específico.

Fase 1. Diseño de la estrategia de búsqueda y captura de información

El diseño de la estrategia de búsqueda comprende actividades secuenciales que permiten recopilar datos, información y conocimiento clave sobre la temática objeto de estudio. El método utilizado es la consulta con expertos para generar un compendio de palabras clave que permita el diseño de una ecuación de búsqueda estructural; dicha ecuación se testea en el motor de búsqueda seleccionado y con los expertos se valida si los registros recuperados son afines a la temática para su descarga. La herramienta utilizada en esta fase es Microsoft Excel, para compilar las palabras clave y las versiones de la ecuación, y Scopus® se emplea como motor de búsqueda.

- Actividad 1. Identificar palabras clave, términos y conceptos asociados con el objeto de estudio: se construye una lista de palabras afines a este. Se recomienda que esta lista se construya a partir de información específica del objeto de estudio (trabajos preliminares) o mediante el uso de listados de palabras técnicas como los tesauros. Para el caso de esta investigación, se utilizó la información vigente de los servicios tecnológicos de laboratorio y el tesoro de Agrovoc¹.
- Actividad 2. Valoración y priorización de palabras: a través de la consulta con expertos se realiza una primera selección de las palabras más representativas, respecto al objeto de estudio. Para el caso de los servicios tecnológicos de laboratorio ofertados por AGROSAVIA, se tomaron como información de base los descriptores detallados de cada servicio.
- Actividad 3. Selección de la fuente de información secundaria: para esta investigación, la fuente de información es el motor de búsqueda y referenciación de publicaciones científicas y académicas Scopus® de la editorial Elsevier. Este motor de búsqueda cuenta con información en metadatos de artículos, actas de conferencias, libros, reseñas, capítulos de libro, notas editoriales y artículos cortos. Si bien la selección de la fuente de información ha sido utilizada en diferentes tipos de estudios de vigilancia tecnológica, estados del arte, revisiones sistemáticas de literatura y estudios longitudinales, se reconoce que no abarca en su totalidad los posibles estudios afines a la temática de esta investigación. Para esto, se recomienda utilizar otros motores como Web of Science.
- Actividad 4. Construcción de las ecuaciones de búsqueda estructurales: las ecuaciones de búsqueda son configuraciones de texto, en las que se ordenan las palabras seleccionadas de la actividad 2 en grupos específicos o constructos. A manera de ejemplo, se presenta la siguiente ecuación de búsqueda relacionada con servicios de laboratorio.

TITLE-ABS-KEY ((“laborator* service*” OR “laborator* analys*” OR “laborator* test*” OR “research laborator*” OR “innovation laborator” OR “service* laborator*”) AND (“equipment” OR “tech*” OR “research” OR “innovation” OR “R&D” OR “agribusiness” OR “farmer*” OR “technical assistance” OR “agriculture extension” OR “human resources” OR “standard*”)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , “AGRI”))

¹ Véase: <http://aims.fao.org/vest-registry/vocabularies/agrovoc>

La ecuación anterior tiene dos constructos clave: el primero comprende las palabras de color azul que hacen alusión a términos relacionados con los servicios de laboratorio. Cada uno de los términos está separado por el operador booleano **OR**, el cual es una expresión lógica que genera un nexo entre palabras, específicamente, el hecho de que cualquiera de estas puede estar presente. El segundo constructo comprende las palabras de color verde, que hacen alusión a elementos sobre los cuales recae la prestación del servicio o facilitan la prestación de este y que, así como el primer constructo, se relacionan con el nexo lógico **OR**.

Los dos constructos se relacionan entre sí con el nexo lógico **AND**; este último implica que cada palabra del constructo azul debe buscarse junto con cada palabra del constructo verde. En la figura 1, se representa de manera gráfica la usabilidad de los operadores booleanos².

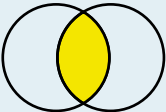
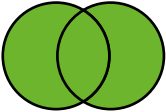
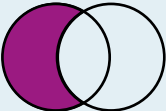
Operador	Descripción	Representación
AND (X)	Selecciona los documentos que contienen todas las palabras especificadas	
OR (+)	Seleccionas los documentos que contienen por lo menos una de las palabras especificadas	
NOT/ AND NOT (-)	Excluye la búsqueda de los documentos que contengan la palabra o frase especificada. Solo puede utilizarse en combinación con los operados AND y OR	

Figura 1. Operadores booleanos.
Fuente: Elaboración propia, a partir de información en EcuRed (s. f.)

Algunas de las palabras utilizadas en la ecuación se encuentran entre comillas (“X”) y otras con un asterisco (*) al final de estas; ambos son comodines que permiten refinar o ampliar la búsqueda. En tanto las comillas buscan la coincidencia exacta de la palabra, el asterisco recupera las posibles derivaciones de la palabra; por ejemplo, *laborator** comprende las palabras *laboratory* y *laboratories*.

² Son operadores de búsqueda en bases de datos que generan una interacción lógica entre palabras y explican una relación entre estas (Palop Marro & Martínez Cadavid, 2012).

Otro operador booleano utilizado para perfilar las ecuaciones de búsqueda que recupera volúmenes de metadatos superiores a 2.000 registros es el **W/n**. Este operador de proximidad funciona de manera similar al **AND**; sin embargo, su objetivo es buscar que ambas palabras coincidan de manera conjunta con máximo cuatro palabras de separación (por ejemplo: *Varroa destructor is a major trait in honeybee apiaries*).

Los textos en color rojo en la ecuación son restricciones de búsqueda. El primer texto TITLE-ABS-KEY hace referencia a los campos de información donde la ecuación buscará coincidencias, títulos, resúmenes (*abstracts*) y palabras clave (*keywords*) de las publicaciones.

- Actividad 5. Implementación de la ecuación y recuperación de información: la ecuación de búsqueda se implementa en Scopus® y los registros se descargan en un archivo tipo *.csv, para su posterior procesamiento. Durante la implementación de la ecuación se puede considerar su revisión con un experto en el servicio tecnológico.

Fase 2. Procesamiento de la información

Los metadatos obtenidos de la base de datos Scopus® deben ser analizados a través de aplicativos informáticos como Excel®, procesadores bibliográficos como Mendeley® o Reference Manager®, o por software especializados en gestión de información científica y vigilancia tecnológica, por ejemplo, VantagePoint®, Bibliometrix® o VOSViewer.

Para esta investigación, el software seleccionado es VOSViewer, el cual permite analizar a través de los metadatos la manera como se focalizan e interrelacionan temáticas emergentes, decadentes y consolidadas en el objeto de estudio (Van Eck & Waltman, 2010). El procesamiento de la información comprende las siguientes actividades:

- Actividad 1. Carga de los metadatos: el archivo *.csv se ingresa al software que tiene una configuración predeterminada para archivos provenientes de la base de datos Scopus® (figura 2).

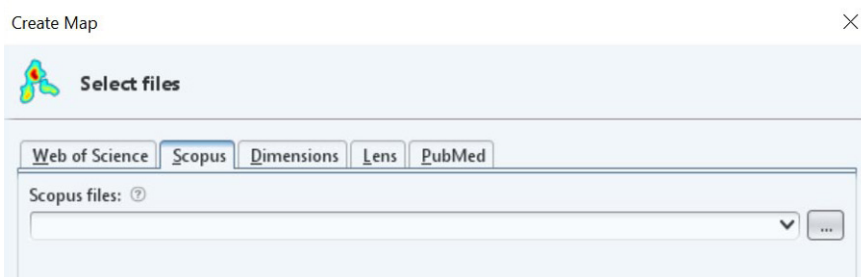


Figura 2. Interfaz de selección de archivo de Scopus.

Fuente: Captura de pantalla tomada de la interfaz de VOSviewer®

- Actividad 2. Selección del tipo de análisis que se va a realizar: el software VOSviewer permite desarrollar diferentes tipos de análisis con la estructura de metadatos obtenida de Scopus®. Para esta investigación, se hicieron dos clases de análisis, uno enfocado en la coocurrencia de palabras clave y otro en los textos clave de los títulos y resúmenes (figura 3).

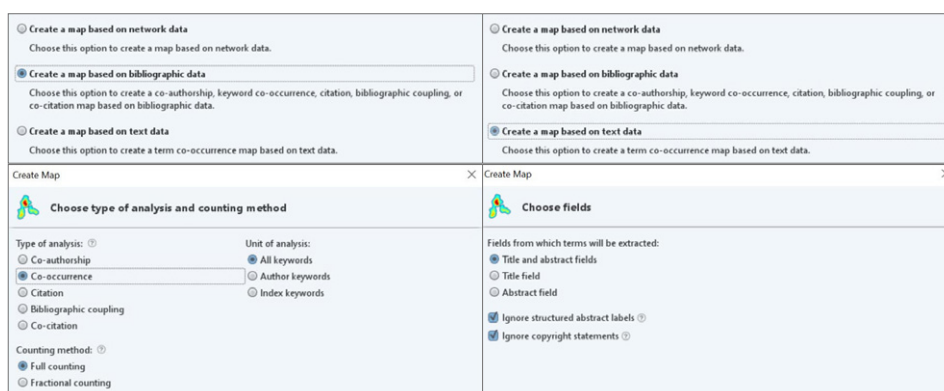


Figura 3. Selección del tipo de análisis por ejecutar.

Fuente: Captura de pantalla tomada de la interfaz de VOSviewer®

- Actividad 3. Depuración de datos: para cualquiera de los dos tipos de análisis, el software permite definir unos parámetros de depuración de información. Dichos parámetros ayudan a limitar la cantidad de palabras analizadas en función del número de ocurrencias (número de veces que la palabra aparece en los campos de análisis) y a escoger cuáles palabras se incluyen y cuáles no (figura 4).

Create Map

Choose threshold

Minimum number of occurrences of a keyword: 5

Of the 138 keywords, 8 meet the threshold.

Create Map

Choose number of keywords

For each of the 8 keywords, the total strength of the co-occurrence links with other keywords will be calculated. The keywords with the greatest total link strength will be selected.

Number of keywords to be selected: 8

Create Map

Verify selected keywords

Selected	Keyword	Occurrences	Total link strength
☒	temperature	10	25
☒	cfv simulation	11	23
☒	airflow	8	21
☒	microclimate	8	18
☒	computational fluid dynamics	8	16
☒	relative humidity	5	16
☒	ventilation rate	6	16
☒	simulation	5	9

Figura 4. Parámetros de refinamiento.

Fuente: Captura de pantalla tomada de la interfaz de VOSviewer®

- Actividad 4. Visualización de datos: el software de análisis VOSViewer construye redes de análisis que evidencian las temáticas de trabajo sobre el objeto de estudio específico (figura 5). Estas redes permiten inferir aspectos clave de las áreas de conocimiento y tópicos de investigación, a través de la agrupación por colores, como se detalla en la sección “Fase 5. Perspectivas”.

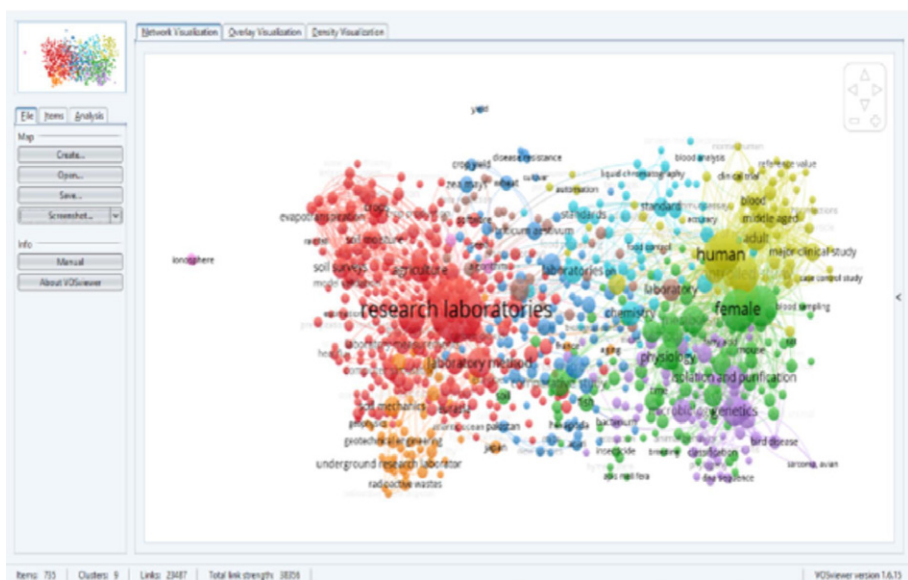


Figura 5. Interfaz de análisis de redes.

Fuente: Captura de pantalla tomada de la interfaz de VOSviewer®

Fase 3. Análisis de los reportes

Con el análisis de los reportes a través del software VOSViewer se pueden desarrollar inferencias sobre el comportamiento del objeto de estudio, específicamente focos de investigación, interrelación entre tópicos clave, temas emergentes, temas decadentes, temas de base, etcétera. Los análisis realizados se categorizan en tres actividades (Van Eck & Waltman, 2010).

- Actividad 1. Análisis de clústeres: busca generar redes de análisis basadas en la interacción de textos clave, los cuales corresponden a campos de información de los metadatos de base. Cada una de las palabras se denomina “ítem”, y el conjunto de ítems que tengan una relación en común se denomina “clúster”; estos se caracterizan por tener un color distintivo. Por ejemplo, en la imagen se distinguen nueve clústeres, y los más relevantes son los que están asociados a laboratorios de investigación (*research laboratories*), que están directamente relacionados con los servicios y el análisis desarrollados en unidades de laboratorio asociadas a centros o institutos de investigación. Otro clúster importante es el de análisis genéticos (*genetics*), en el que están relacionadas investigaciones en mejoramiento genético (figura 6).

Cada uno de los ítems que conforman el clúster está interconectado a través de enlaces que representan una variable de relación. Para esta investigación, la variable es la coocurrencia, es decir, el número de veces que los ítems aparecen conjuntamente. Cada ítem pertenece a un único clúster y tiene asociados diferentes atributos que inciden en su visualización en la red (tamaño y posición). Estos atributos tienen asociados valores numéricos que representan una característica, como número de ocurrencias, número de citaciones, etcétera. En la figura 6, el término *laboratories*, que está en el clúster 1, cuenta con 264 ocurrencias (n.º de publicaciones).

De manera similar, los enlaces o *links* generan dos atributos de valoración, el número total de enlaces y la fuerza total de enlace. El primero contribuye al estudio de cómo el ítem influencia o es influenciado por otros, y la fuerza total de enlace da una lectura de qué tan fuerte es la interacción. Así, el análisis de atributos permite identificar temas clave de investigación,

tópicos más relevantes, ramas de interés y prioridades. Por ejemplo, en la imagen inferior el término *research laboratories* está en el clúster 1, cuenta con 517 enlaces (*links*), 270 ocurrencias y tiene una fuerza de enlace de 2.027.

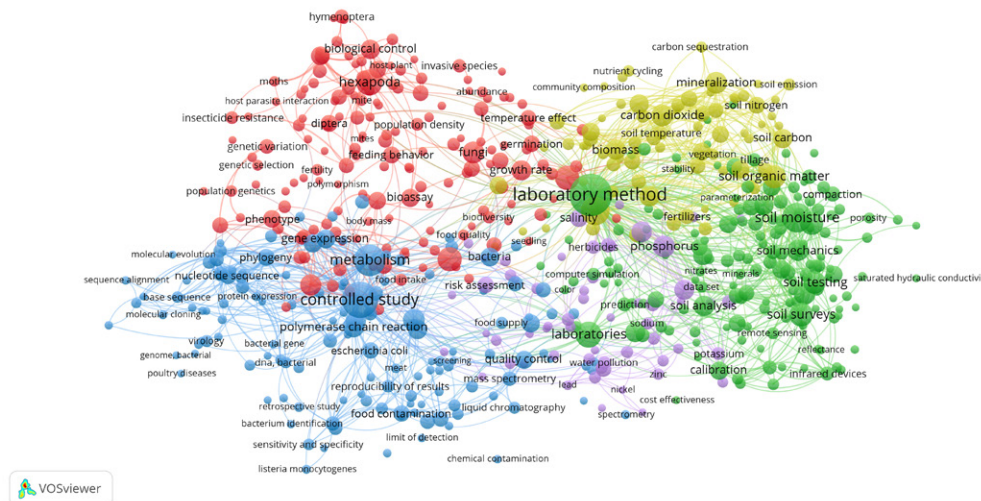


Figura 6. Análisis de interacciones por palabra clave.

Fuente: Captura de pantalla tomada de la interfaz de VOSviewer®

- Actividad 2. Análisis de focalización y evolución: ayuda a identificar tópicos relevantes a partir del atributo de citaciones y la manera como se distribuye a través del tiempo su desarrollo y visibilidad. La visualización de la red cambia a una escala de colores asociada con un atributo, en este caso, el promedio de ocurrencias de los ítems en el tiempo. Cuanto más claro el color, más se asocia la ocurrencia con años más recientes (temas tendenciales) y cuanto más oscuro el color, más relación hay con periodos anteriores (temas de base).

Para el presente ejemplo, se puede inferir que los estudios a partir de 2005 se relacionaron principalmente con estudios en laboratorios de genética, mientras que desde 2014 las publicaciones han estado orientadas al análisis de suelos (figura 7).

Fase 4. Análisis enriquecido

Con el objetivo de fortalecer el análisis inferencial basado en el software, se recomienda la lectura de aquellas publicaciones vinculadas a los clústeres temáticos de análisis y que puedan ser recuperadas con el texto completo en motores de indexación de revistas. Estas publicaciones, al ser analizadas en detalle, permiten complementar la reflexión y el análisis respecto a cada temática en relación con el objeto de estudio de los servicios de laboratorio. Se recomienda contar con información de base de la temática y, en lo posible, con la realimentación de expertos.

Fase 5. Perspectivas

A partir del análisis integral de la información es posible emitir directrices de fortalecimiento y focalización en el objeto de estudio. Para esta fase, se implementó una adaptación de la metodología de itinerarios de ruta tecnológicos (*technology roadmap [TRM]*).

Los itinerarios de ruta tecnológicos son una herramienta de planificación gráfica que soporta la gestión de tecnologías, el diseño de productos y servicios tecnológicos, así como la focalización de nicho de mercados. La herramienta permite identificar la transición y las conexiones entre los recursos tecnológicos de la organización, los objetivos de la organización y la dinámica del entorno. Su representación comprende una estructura de capas en las que convergen elementos recurrentes como tecnologías, oportunidades de mercado, productos y servicios, en un horizonte temporal determinado para la elección de metas (Daim et al., 2018; Phaal et al., 2001, 2004). Para esta investigación, la estructura del itinerario de ruta tiene como base el estándar gráfico de la figura 10, y se consideran los siguientes elementos:

- Número de capas: se manejaron cuatro capas que comprenden recursos organizacionales, tendencias tecnológicas, oferta de servicios tecnológicos de laboratorio (actuales y potenciales) y público objetivo de mercado (academia, extensionistas agropecuarios y asistentes técnicos, y productores agropecuarios).
- Horizontes de tiempo: se definen los horizontes de tiempo corto plazo (1-3 años), mediano plazo (3-5 años) y largo plazo (más de 5 años).
- Objeto de análisis: ofertas de servicios tecnológicos de laboratorio para productores agrícolas, productores pecuarios e investigadores.

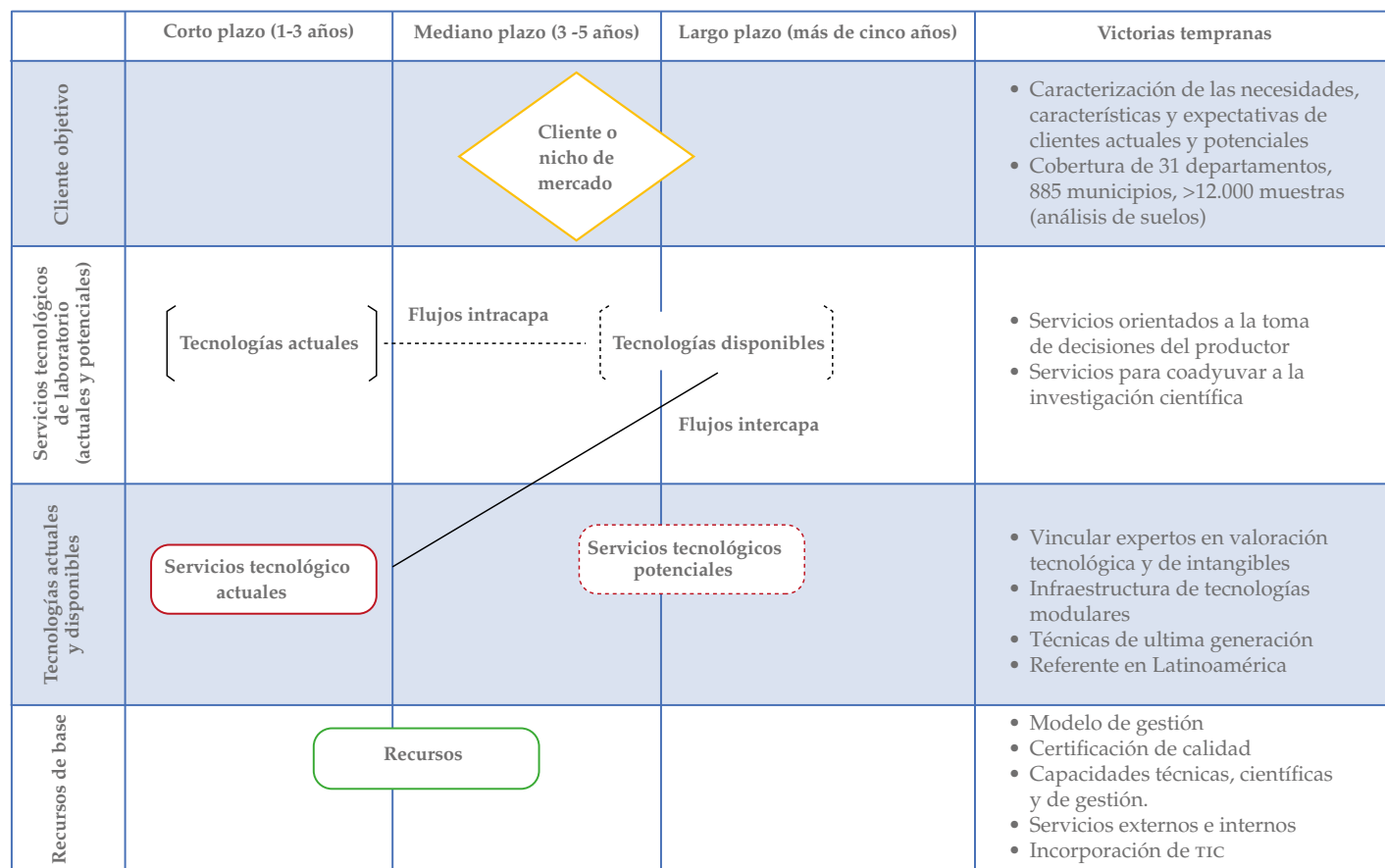


Figura 10. Estructura base para la construcción de itinerarios de ruta.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Phaal et al. (2004)

Para la construcción de los *roadmaps*, se desarrollaron de manera secuencial las siguientes actividades.

- Actividad 1. Diseño de la plantilla o estructura genérica: se desarrolló en Microsoft PowerPoint®, por su facilidad de uso y adaptación a necesidades específicas.
- Actividad 2. Identificación de los elementos cualitativos/cuantitativos por introducir en la estructura del *roadmap*, a partir de los resultados de las cuatro fases previas, así como insumos previos o desarrollados en ejercicios paralelos a esta investigación.
- Actividad 3. Análisis descriptivo de la interacción de los elementos para la construcción de rutas estratégicas de acción.
- Actividad 4. Identificación de victorias tempranas que acelerarían las rutas identificadas.

En un *roadmap* se pueden encontrar tres rutas de interacción entre las capas de insumos, tecnologías y cliente-mercado, que pueden ubicarse en una o varias ventanas de tiempo. A partir de esto se diseñó la estructura *roadmap* para esta investigación, la cual se presenta en la figura 11.

Ruta 1: a través de los insumos actuales se consolidan las tecnologías actuales, que permitieron crear una participación en un mercado y generar un vínculo con un cliente. Por ejemplo, con base en los resultados de investigación se generó una oferta de servicios tecnológicos de laboratorio para la investigación corporativa y los actores del Sistema Nacional de Innovación en Agricultura (SNIA).

Ruta 2: por medio de los insumos se crean nuevas tecnologías, que pueden incrementar la participación en el mercado actual o crear un nuevo mercado. Por ejemplo, los servicios de laboratorio potenciales se convierten en nuevas ofertas de servicios tecnológicos para la investigación corporativa y los actores del SNIA.

Ruta 3: a través de nuevos insumos, se crean nuevas tecnológicas para el mercado actual o potencial. Por ejemplo, las tecnologías disponibles permiten fortalecer los servicios tecnológicos actuales o crear nuevos servicios tecnológicos para la investigación y los actores del SNIA, en un horizonte de tiempo determinado.

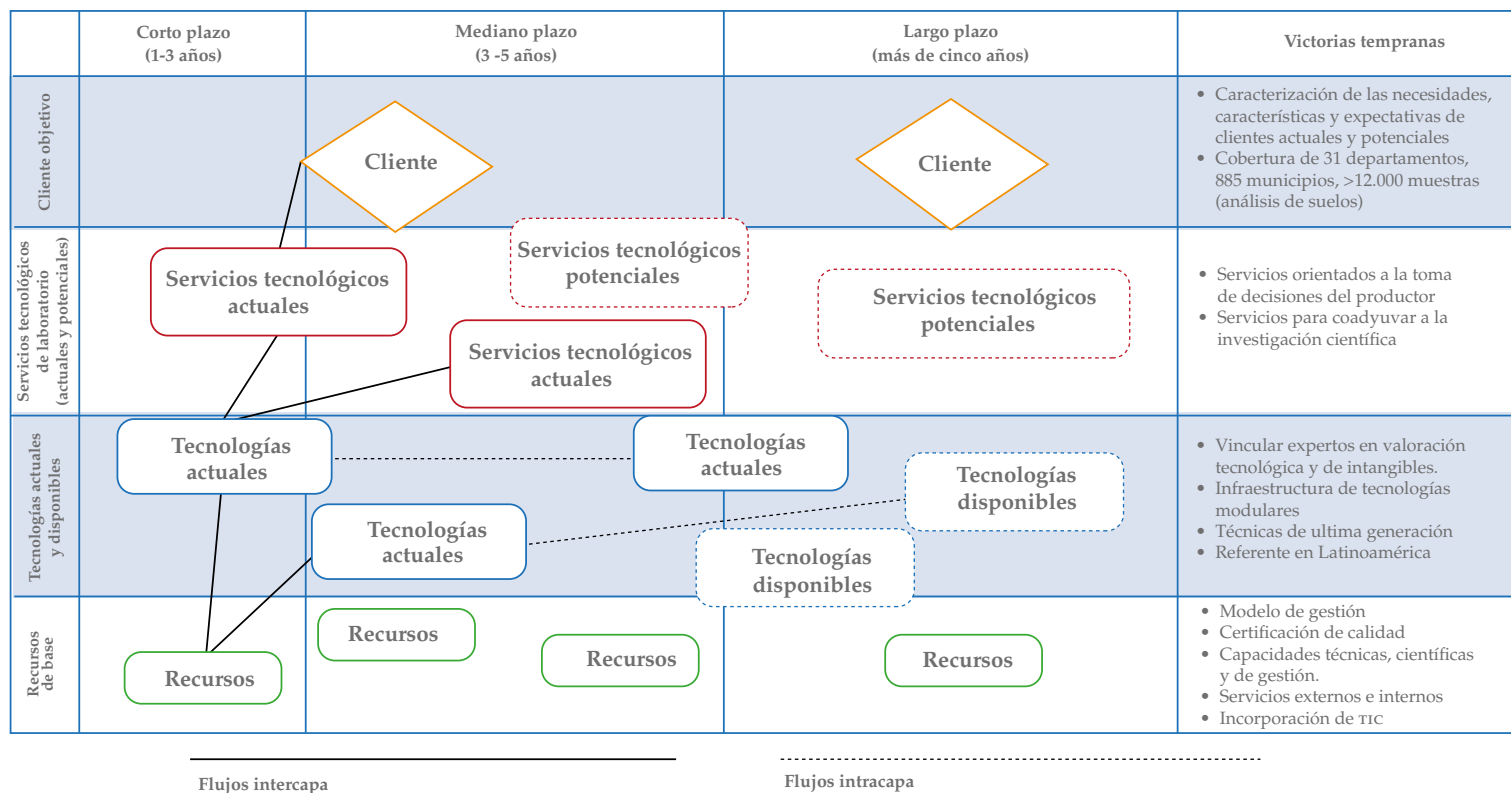
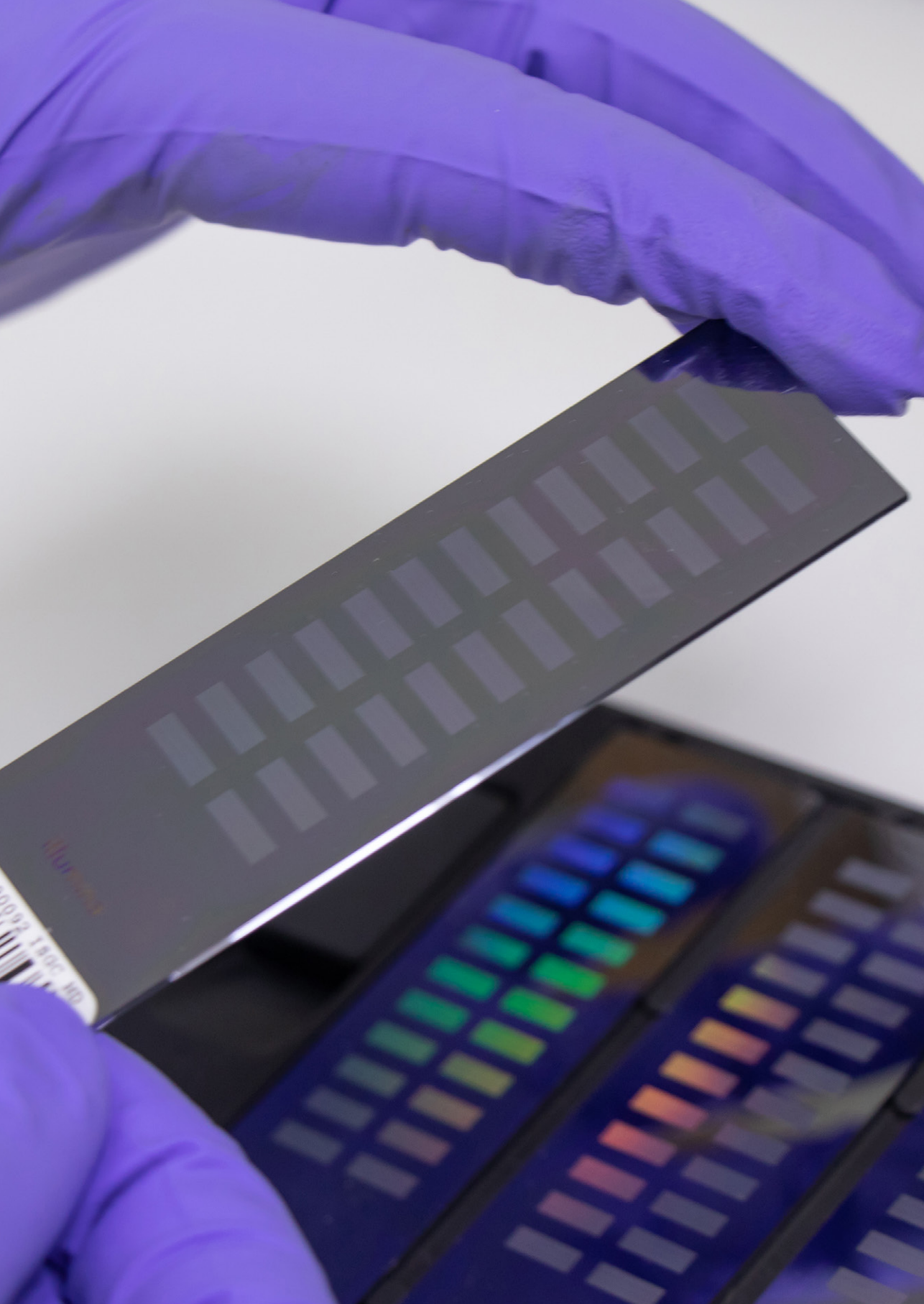


Figura 11. Estructura *roadmap* adaptada a servicios tecnológicos de laboratorio.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Phaál et al., (2004)

El diseño metodológico construido para esta investigación comprende métodos, herramientas y un marco de interacción que contribuyen a su replicabilidad para el análisis de otros objetos de estudio o para profundizar en el que se presenta en este texto. Se reconoce que todo diseño metodológico cuenta con límites y cuellos de botella en su concepción e implementación, por lo que se espera que en el futuro el diseño sea actualizado.





Capítulo I

Importancia de los servicios de laboratorio en la producción de conocimiento científico

En este capítulo, se presenta el contexto de los servicios de laboratorio como un elemento clave para la ejecución de los procesos de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), a manera de estrategia de fortalecimiento para la productividad y competitividad del sector agropecuario, y como un portafolio de soluciones de diagnóstico para productores, investigadores y demás actores del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA). Asimismo, se propone una reflexión inicial del papel clave de los servicios de laboratorio, y se expone el marco actual de los centros de investigación en Colombia como actores clave para la prestación de estos servicios. También se realiza un escaneo tecnológico para identificar la incidencia de los servicios de laboratorio en la investigación agropecuaria a través del estudio de publicaciones científicas y finalmente se realiza un análisis comparativo entre los institutos nacionales de investigación de Brasil, Argentina, Chile y Colombia.

Introducción

Los servicios de laboratorio en el sector agropecuario constituyen una de las principales estrategias para el fortalecimiento de la productividad, competitividad y sostenibilidad de este. En un sentido más amplio, robustecen y complementan los servicios de extensión para productores, asociaciones, empresas y otros actores del SNIA (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación [Colciencias] et al., 2017).

Si bien existen diferentes empresas privadas que ofertan servicios de laboratorios y análisis a medida para los diferentes actores del sector, son los centros de investigación y desarrollo tecnológico los llamados a ser referentes en calidad, cobertura y orientación al servicio, toda vez que, acorde con el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (Minciencias, 2020), estos “desarrollan actividades de I+D+i y/o complementarias: Desarrollo tecnológico, apoyo en la formación de capital humano para la investigación, prestación de servicios científicos especializados y divulgación científica”.

Al respecto, un ejemplo importante en el contexto mundial es el de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la cual, a través de un modelo de cooperación y gestión con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) de Estados Unidos, dio origen al Centro Conjunto FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura. Esta última comprende cinco unidades de laboratorio:

- Laboratorio de producción y salud animal.
- Laboratorio de protección alimentaria y ambiental.
- Laboratorio de control de plagas.
- Laboratorio de fitomejoramiento y genética.
- Laboratorio de nutrición de cultivos y manejo de suelos y aguas.

La misión de estas unidades de laboratorio es apoyar las actividades de I+D+i en proyectos de investigación transnacionales y de cooperación técnica, así como promover actividades de capacitación y entrenamiento, y servicios técnicos y analíticos a los estados miembros (FAO, 2015b). Su esquema de trabajo se fundamenta en el principio “*from lab to the field*”, el cual se enfoca en transferir resultados de laboratorio que mejoren las condiciones de las unidades de producción. En 2014, la unidad de laboratorios tenía una cobertura de 111 países miembros, una red colaborativa con 500 institutos de investigación y estaciones experimentales, y más 3.200 mutaciones inducidas en cultivos para mejorar diferentes factores de éxito en las unidades productivas (FAO, 2015b).

El impacto percibido por el uso y la incorporación de análisis de laboratorio desarrollados en unidades especializadas es la optimización del desarrollo rural y alimentario, el aumento de la cobertura de laboratorios disponibles para este fin al generarse buenas prácticas, buenas experiencias y mecanismos

de certificación, la contribución a la calidad e inocuidad de insumos y productos agropecuarios, a la sanidad humana y animal frente a alertas tempranas, la mitigación y erradicación de enfermedades en trabajo conjunto con la Organización Mundial de la Salud (OMS), la disminución de pérdidas de cultivos por plagas, enfermedades y arvenses, la contribución al desarrollo de nuevas variedades, así como al diseño y la introducción de nuevas tecnologías que impacten positivamente al productor (FAO, 2015b).

Lo anterior contribuye a generar un punto de inflexión clave en los servicios de laboratorio para el sector agropecuario, para la generación de tecnologías clave orientadas a resolver los problemas fitosanitarios, sanitarios, de uso sostenible de los recursos naturales y de creación de valor en los bienes y servicios ofertados. En la actualidad, las unidades de laboratorio de la FAO y sus aliados cuentan con 15 tecnologías “*game changing*”³ en la frontera del conocimiento, para contribuir a la alimentación mundial y al desarrollo rural. Algunas de estas tecnologías son las siguientes:

- Producción de cultivos: métodos de fitomejoramiento basados en radiación, para desarrollar variedades con mayor rendimiento y mayor resistencia a condiciones extremas del clima.
- Control de pestes: técnica de insectos estériles y esterilidad hereditaria para disminuir los niveles poblacionales de plagas como la mosca de la fruta, las polillas, etcétera.
- Salud y producción animal: técnicas moleculares para inmunología que identifican de manera rápida enfermedades como Brucelosis, fiebre del Valle de Rift o fiebre *swine river*.
- Protección ambiental: técnicas nucleares para identificar el incremento potencial en la eficiencia de uso del agua.
- Seguridad alimentaria: métodos de radiación para destrucción de bacterias, insectos y otros organismos que causan enfermedades (FAO, 2015b).

Similar al desarrollo que ha llevado a cabo la FAO al respecto, en varios países de América Latina y el Caribe se han incrementado los esfuerzos por fortalecer la oferta de servicios de laboratorio para el sector agropecuario. Dichos servicios se brindan principalmente desde centros de investigación, centros de desarrollo tecnológico y universidades.

³ Tecnologías que tienen el potencial de cambiar el ejercicio y los resultados de un entorno productivo.

en Colombia: actores clave en la provisión de servicios tecnológicos

Los centros de investigación y desarrollo tecnológico en Colombia son actores clave del Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación. Dichos actores se agrupan en tres categorías principales: centros de investigación, centros de desarrollo tecnológico y centros de ciencia. En la tabla 1, se presentan las definiciones de estas categorías.

Tabla 1. Categorías de los centros en Colombia

Categoría principal	Descriptores	Subcategorías	Descriptores
Centros/ institutos de investigación	Organizaciones públicas, privadas o mixtas dedicadas a la generación de conocimiento fundamental para el país, mediante proyectos de investigación científica básica o aplicada en líneas de investigación específicas. De manera complementaria, apoyan la formación de capital humano para la investigación, prestación de servicios científicos especializados y divulgación científica.	Centros/institutos autónomos o independientes.	Tienen autonomía administrativa y financiera, personería jurídica propia y están legalmente constituidos.
		Centros/institutos de investigación dependientes.	Adscritos a una entidad pública o privada, razón por la que no cuentan con personería jurídica propia. Deben estar legalmente constituidos mediante acto administrativo o un documento privado respectivo.
		Centros e institutos públicos de I+D.	Entidades adscritas o vinculadas a ministerios, departamentos administrativos, unidades, agencias o entidades descentralizadas de orden nacional, que han sido creadas para apoyar el cumplimiento de su misión institucional y mejorar la calidad técnica de las intervenciones, con base en la generación de conocimiento científico, el desarrollo y la absorción de tecnología.
Centros de desarrollo tecnológico	Organizaciones públicas o privadas, dedicadas al desarrollo de proyectos de investigación aplicada, de tecnología propia y de actividades de transferencia que responden a necesidades u oportunidades de desarrollo social y económico del país, sus regiones o ciudades. Prestación de servicios científicos y tecnológicos, formación de personal para la investigación, asesoría y consultoría.	Centros autónomos o independientes.	Tienen autonomía administrativa y financiera, personería jurídica propia y están legalmente constituidos.
		Centros dependientes.	Adscritos a una entidad pública o privada, sin personería jurídica propia. Deben estar legalmente constituidos mediante acto administrativo o documento que haga sus veces.

(Continúa)

(Continuación tabla 1)

Categoría principal	Descriptores	Subcategorías	Descriptores
Centros de innovación y productividad	Organizaciones públicas o privadas, con personería jurídica propia o dependientes de otra entidad establecida en Colombia, que tienen como propósito contribuir al mejoramiento de la competitividad y la productividad a nivel local, regional o nacional; de esta manera, se induce la demanda por conocimiento científico, desarrollo tecnológico o innovación entre actores clave y se promueve la interacción y el flujo de información entre ellos. Asesorías, consultorías, asistencia técnica, capacitación. Servicios científicos y tecnológicos, extensionismo tecnológico, divulgación científica y estudios especializados.		
Centros de ciencia	Instituciones de carácter público, privado o mixto sin ánimo de lucro, con personería jurídica o dependientes de otra organización, con una infraestructura física abierta al público de manera permanente. Además, cuentan con la Apropiación Social de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (ASCTI) como parte integral de su misión u objeto social. Asimismo, reconocen la diversidad cultural, económica y social de las comunidades, promueven los principios de acceso democrático a la información y al conocimiento, y contribuyen a fortalecer la cultura de ciencia, tecnología e innovación (CTI) en el país mediante programas y actividades educativas.	Bioespacios.	Se caracterizan por tener colecciones biológicas y énfasis en ciencias de la vida. Entre ellos se encuentran: acuarios, jardines botánicos y zoológicos.
		Espacios para las ciencias exactas, físicas, sociales y para la tecnología.	Se caracterizan por tener colecciones de objetos y por su énfasis en ciencias exactas, físicas, sociales y en tecnología. Entre ellos están: museos de ciencia y tecnología, museos de ciencias exactas, planetarios y observatorios.
		Espacios de construcción ciudadana en CTI.	Se caracterizan por carecer de colecciones, pero tienen bienes, instrumentos y herramientas que usan con sus públicos, e incluso propuestas escenográficas o montajes interactivos. Su énfasis es en diseño y prototipado. Entre ellos se encuentran: colaboratorios, espacios <i>maker</i> , talleres ciudadanos.
		Espacios mixtos	Se caracterizan por combinar colecciones biológicas, de objetos o conjuntos de bienes, instrumentos y herramientas. Su énfasis es en todas las ciencias, el diseño y el prototipado. Entre ellos se ubican: centros interactivos, museos de historia natural y parques temáticos.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Minciencias (2020)

Actualmente, el Minciencias reporta la categorización de actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI), específicamente para el sector agropecuario, a partir de las categorías que se muestran en la tabla 1.

- Centros de investigación: Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), Centro Nacional de Investigación en Café (Cenicafé), Corporación Centro de Investigación de la Acuicultura Colombiana (Ceniagua), Corporación para el Desarrollo Participativo y Sostenible de los Pequeños Productores Rurales (PBA), Unidad de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Productos Naturales de la Sabana S. A. S. (Alquería) y Corporación para el Desarrollo de la Biotecnología (Corporación Biotec).
- Centros de desarrollo tecnológico: Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia (Cepass), Instituto de Ciencia y Tecnología Alimentaria (Intal), Corporación Biointropic, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (Cenicaña), Centro de Productividad del Tolima (CPT), Centro de Productividad del Oriente (CPC), Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca (CREPIC), Corporación Centro de Desarrollo Piscícola Surcolombiana (Acuapez), Corporación Centro de Investigación para la Gestión Tecnológica de Pasiflora del Departamento del Huila (Cepass-Huila) y Corporación Colombia Internacional (CCI).

Estas organizaciones están en la capacidad de ofertar de manera directa o coadyuvar al acceso, a la prestación y al uso de servicios tecnológicos (incluidos servicios de laboratorio) para los productores agropecuarios, investigadores y demás actores del sistema. En este sentido, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), con su rol de centro de investigación para el sector agropecuario colombiano, es clave para el acceso, la oferta y la prestación de servicios especializados para todos los actores sectoriales.

Estadísticas de los centros de investigación y desarrollo tecnológico del país

El potencial de los centros de investigación y desarrollo tecnológico del país para la oferta de servicios tecnológicos especializados recae en su rol misional de “prestación de servicios científicos especializados”, lo que puede ser entendido como una actividad económica especializada.

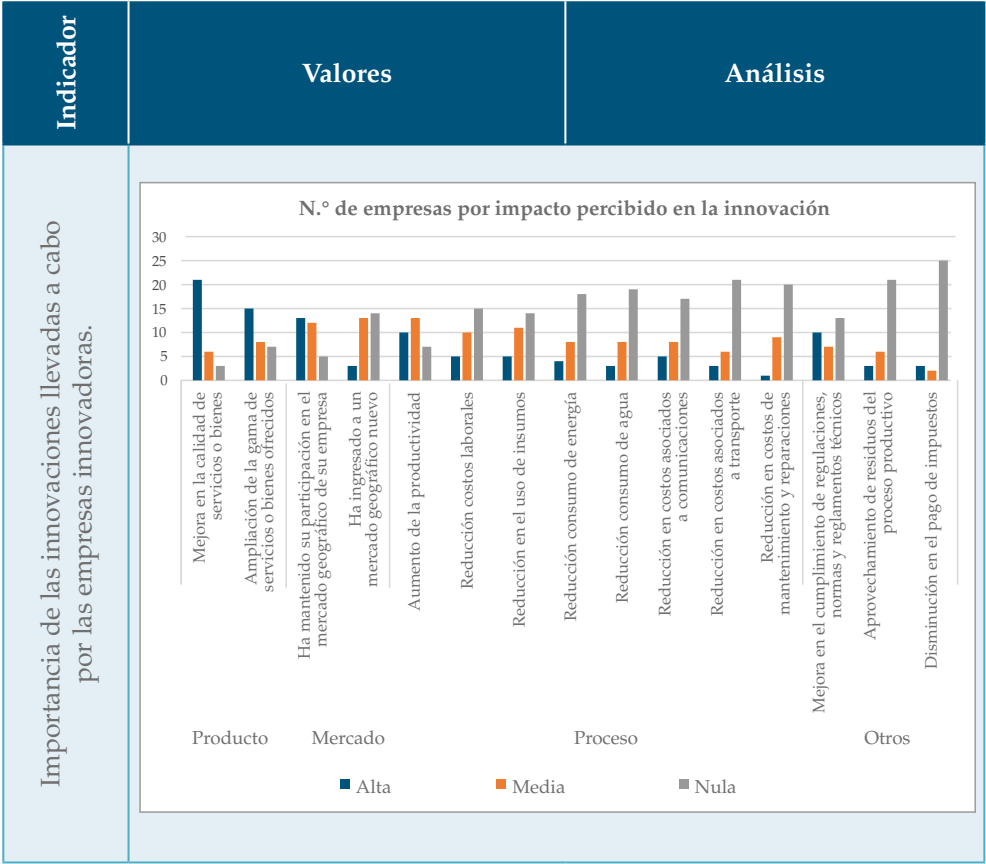
De acuerdo con la estructura detallada de la clasificación industrial internacional uniforme de actividades económicas (CIIU REV. 4A. C), los servicios científicos especializados pueden categorizarse en la sección M, división 72, grupo 721, clase 7210: “Investigaciones y desarrollo experimental en el campo de las ciencias naturales y la ingeniería”. Esta división permite identificar datos estadísticos clave en las diferentes encuestas realizadas por el Departamento Nacional de Estadísticas (DANE), como la Encuesta Nacional de Servicios (EAS) o la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT). Esta última permite identificar la dinámica de innovación realizada por las empresas del país, así como analizar el uso de los instrumentos públicos de apoyo, tanto en empresas manufactureras como de servicios.

Específicamente para las empresas de servicios, la EDIT realizada en 2017 ofrece información clave sobre los centros de investigación reconocidos por el Minciencias. En la tabla 2, se presentan los indicadores más representativos afines a la temática de trabajo, agregados para 60 centros.

Tabla 2. Indicadores clave de los centros de investigación

Indicador	Valores	Análisis
Número de empresas por tipología* (grado de la innovación).	3 empresas innovadoras en sentido estricto. 27 empresas innovadoras en sentido amplio. 5 empresas potencialmente innovadoras. 24 empresas no innovadoras.	60% de los centros de investigación se consideran empresas innovadoras.
Número de innovaciones por tipo de empresa y tipo de innovación.	18 empresas innovadoras en servicios o bienes nuevos. 53 innovaciones para la empresa: 27 para el mercado nacional y 4 para el mercado internacional.	De los 60 centros de investigación analizados solo 18 se consideran innovadores en bienes y servicios nuevos, específicamente con 53 innovaciones orientadas a la empresa <i>per se</i> .
	16 empresas innovadoras en servicios o bienes mejorados. 40 innovaciones para empresa: 55 para el mercado nacional y 2 para el mercado internacional.	De los 60 centros de investigación analizados 16 se consideran innovadores en servicios y bienes mejorados; de estas innovaciones 40 se orientan a la empresa <i>per se</i> .

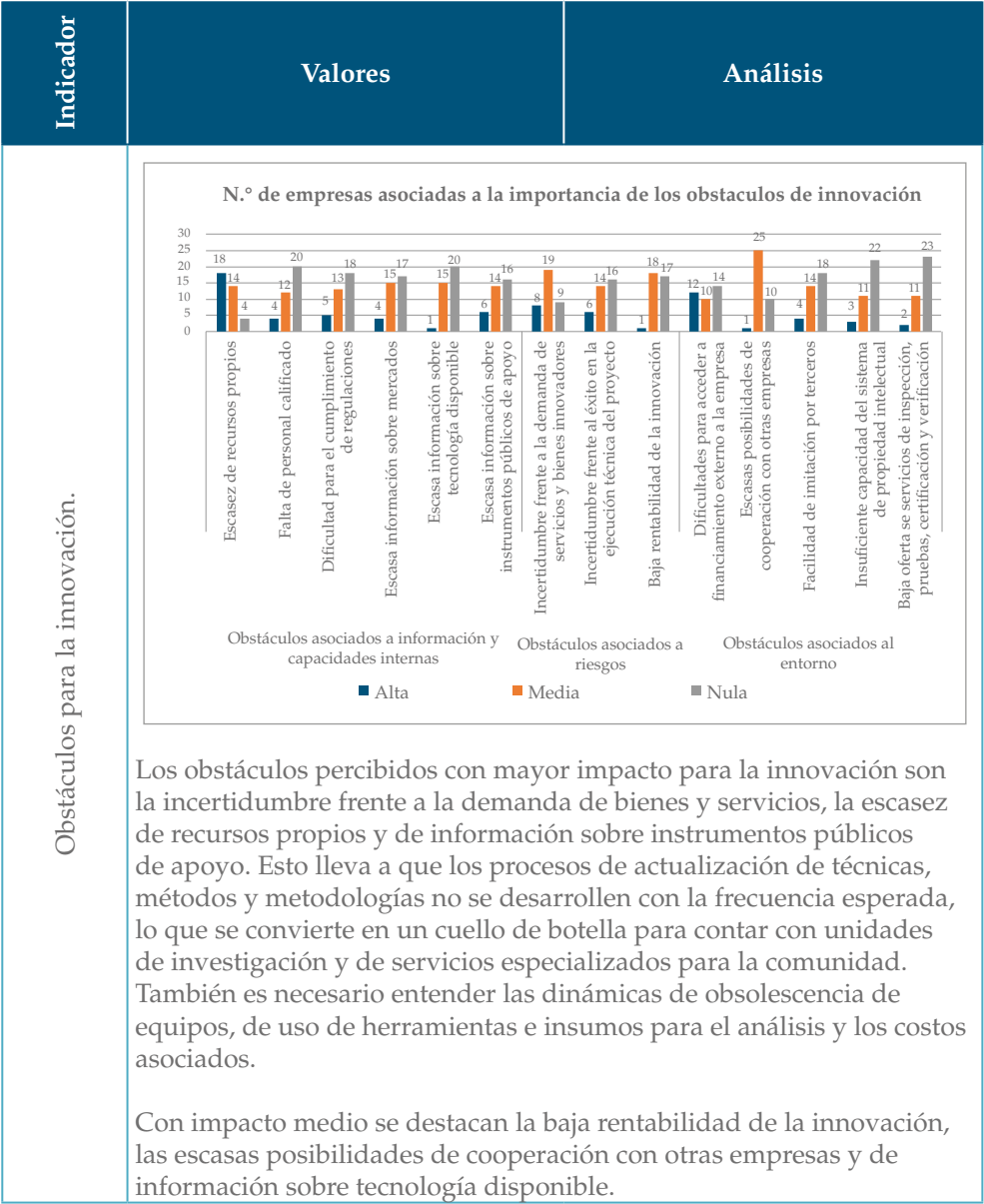
(Continúa)



(Continúa)

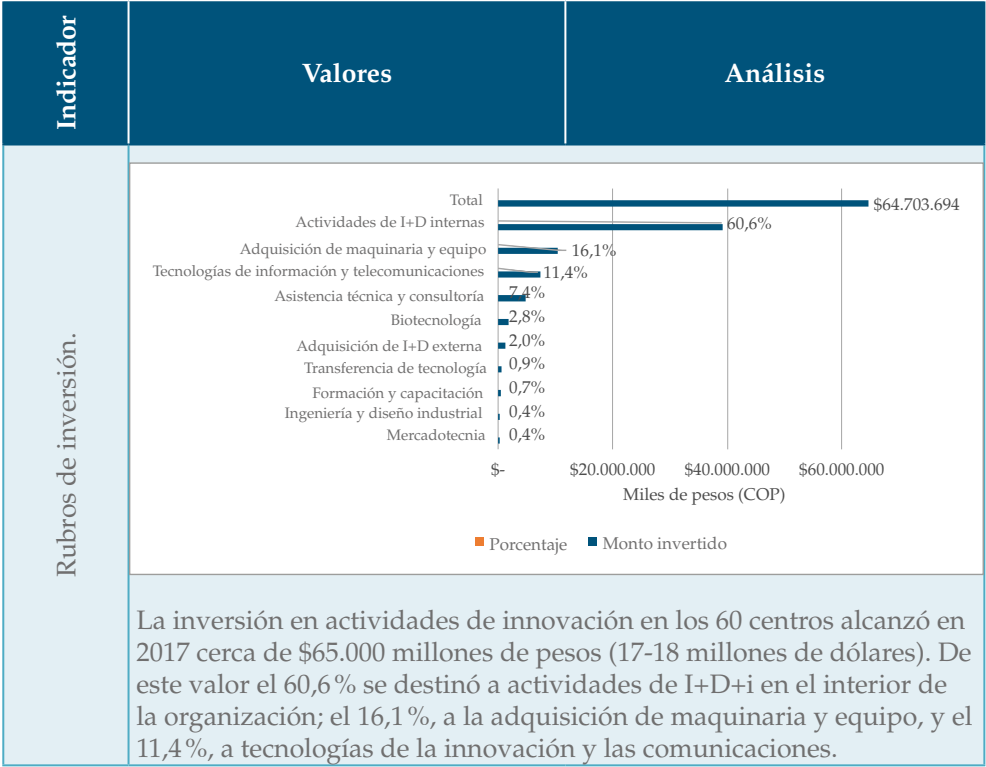
Indicador	Valores	Análisis																																																																
Importancia de las innovaciones llevadas a cabo por las empresas innovadoras.	N.º de empresas por impacto percibido en la innovación <table><tr><th>Innovación</th><th>Alta</th><th>Media</th><th>Nula</th></tr><tr><td>Mejora en la calidad de servicios o bienes</td><td>21</td><td>6</td><td>3</td></tr><tr><td>Ampliación de la gama de servicios o bienes ofrecidos</td><td>15</td><td>8</td><td>7</td></tr><tr><td>Ha mantenido su participación en el mercado geográfico de su empresa</td><td>13</td><td>12</td><td>5</td></tr><tr><td>Ha ingresado a un mercado geográfico nuevo</td><td>3</td><td>13</td><td>14</td></tr><tr><td>Aumento de la productividad</td><td>10</td><td>13</td><td>7</td></tr><tr><td>Reducción costos laborales</td><td>5</td><td>10</td><td>15</td></tr><tr><td>Reducción en el uso de insumos</td><td>5</td><td>11</td><td>14</td></tr><tr><td>Reducción consumo de energía</td><td>4</td><td>8</td><td>18</td></tr><tr><td>Reducción consumo de agua</td><td>3</td><td>8</td><td>19</td></tr><tr><td>Reducción en costos asociados a comunicaciones</td><td>5</td><td>8</td><td>17</td></tr><tr><td>Reducción en costos asociados a transporte</td><td>3</td><td>6</td><td>21</td></tr><tr><td>Reducción en costos de mantenimiento y reparaciones</td><td>1</td><td>9</td><td>21</td></tr><tr><td>Mejora en el cumplimiento de regulaciones, normas y reglamentos técnicos</td><td>10</td><td>7</td><td>13</td></tr><tr><td>Aprovechamiento de residuos del proceso productivo</td><td>4</td><td>6</td><td>21</td></tr><tr><td>Disminución en el pago de impuestos</td><td>3</td><td>2</td><td>25</td></tr></table>	Innovación	Alta	Media	Nula	Mejora en la calidad de servicios o bienes	21	6	3	Ampliación de la gama de servicios o bienes ofrecidos	15	8	7	Ha mantenido su participación en el mercado geográfico de su empresa	13	12	5	Ha ingresado a un mercado geográfico nuevo	3	13	14	Aumento de la productividad	10	13	7	Reducción costos laborales	5	10	15	Reducción en el uso de insumos	5	11	14	Reducción consumo de energía	4	8	18	Reducción consumo de agua	3	8	19	Reducción en costos asociados a comunicaciones	5	8	17	Reducción en costos asociados a transporte	3	6	21	Reducción en costos de mantenimiento y reparaciones	1	9	21	Mejora en el cumplimiento de regulaciones, normas y reglamentos técnicos	10	7	13	Aprovechamiento de residuos del proceso productivo	4	6	21	Disminución en el pago de impuestos	3	2	25	
	Innovación	Alta	Media	Nula																																																														
Mejora en la calidad de servicios o bienes	21	6	3																																																															
Ampliación de la gama de servicios o bienes ofrecidos	15	8	7																																																															
Ha mantenido su participación en el mercado geográfico de su empresa	13	12	5																																																															
Ha ingresado a un mercado geográfico nuevo	3	13	14																																																															
Aumento de la productividad	10	13	7																																																															
Reducción costos laborales	5	10	15																																																															
Reducción en el uso de insumos	5	11	14																																																															
Reducción consumo de energía	4	8	18																																																															
Reducción consumo de agua	3	8	19																																																															
Reducción en costos asociados a comunicaciones	5	8	17																																																															
Reducción en costos asociados a transporte	3	6	21																																																															
Reducción en costos de mantenimiento y reparaciones	1	9	21																																																															
Mejora en el cumplimiento de regulaciones, normas y reglamentos técnicos	10	7	13																																																															
Aprovechamiento de residuos del proceso productivo	4	6	21																																																															
Disminución en el pago de impuestos	3	2	25																																																															
	Los tipos de innovación con mayor percepción de impacto son aquellos orientados a la calidad de servicios o bienes, a la ampliación de la gama de servicios o bienes ofrecidos y a mantener la participación en el mercado geográfico. A su vez, los tipos de innovación con percepción nula de impacto son los que están encaminados a la disminución de impuestos, al aprovechamiento de residuos del proceso productivo y a la reducción de costos asociados a transporte.																																																																	

(Continúa)



(Continúa)

(Continuación tabla 2)



Fuente: Elaboración propia, a partir del DANE (2019)

Centros de investigación del sector agropecuario

Aunque actualmente Minciencias solo contempla algunas entidades en su proceso de reconocimiento de actores, como centros de investigación y centros de desarrollo tecnológico, el sector agropecuario cuenta con diez centros de investigación clave reconocidos por la Corporación Red Especializada de Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Agropecuario (Cenired), los cuales tienen laboratorios especializados para el desarrollo de actividades de I+D+i o para la oferta de servicios a los demás actores del SNIA (tabla 3).

Tabla 3. Centros de investigación del sector agropecuario y servicios de laboratorio

Centro de investigación	Laboratorios y servicios al SNIA
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).	Servicios orientados al productor agrícola, al producto pecuario y a la investigación.
Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).	Cuatro unidades de laboratorio que ofertan servicios en química analítica, física de suelos, gases de efecto invernadero y biología de suelos.
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña).	Cinco servicios de laboratorio: inspección fitopatológica, multiplicación de variedades, análisis de suelo, análisis de tejido foliar, diagnóstico de enfermedades.
Corporación Centro de Investigación de la Acuicultura de Colombia (Ceniacua).	Tres unidades de laboratorio que ofertan servicios en análisis sanitarios, análisis de suelos y análisis de la calidad del agua.
Centro de Investigación y Transferencia de Tecnología de la Cadena Agroalimentaria de los Cereales y las Leguminosas (Cenichel).	No se reportan servicios de laboratorio al SNIA.
Centro de Investigaciones del Banano (Cenibanano).	No se reportan servicios de laboratorio al SNIA.
Centro de Investigación en Aceite de Palma (Cenipalma).	Una unidad de laboratorio que oferta servicios en análisis foliar y de suelos.
Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafé).	No se reportan servicios de laboratorio al SNIA.
Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (Conif).	No se reportan servicios de laboratorio al SNIA.
Centro de Innovación de la Floricultura Colombiana (Ceniflores).	No se reportan servicios de laboratorio al SNIA.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Cenired (2020)

AGROSAVIA, en su rol de articulador del SNIA, ha desarrollado alianzas para la prestación de servicios especializados de laboratorio con estos nueve centros, con el objetivo de aumentar la cobertura, la especialización y la confianza en los procesos y resultados de investigación frente al productor, a la comunidad de asistentes técnicos y extensionistas agropecuarios, y a los productores y los tomadores de decisiones.

Una aproximación a la importancia de los servicios de laboratorio en la investigación agropecuaria

Los servicios de laboratorio especializados en actividades de I+D+i son considerados un elemento clave en el desarrollo de proyectos de investigación y en la generación de resultados de conocimiento; estos últimos se reflejan principalmente en artículos científicos, actas de conferencia, reseñas, capítulo de libro y libros.

A través de un escaneo tecnológico⁴ se analiza la incidencia de los servicios de laboratorio en la producción de este conocimiento científico. Para la implementación del escaneo, se diseñó una estrategia de búsqueda específica para Scopus® de Elsevier. Las palabras clave que se escogieron tienen una orientación general para identificar las principales tendencias en laboratorios de referencia, prácticas de medición y análisis de laboratorio, servicios de laboratorio de investigación y de diagnóstico, experimentos y ensayos, específicamente en tópicos clave y recurrentes del sector agropecuario (tabla 4).

Tabla 4. Ecuaciones de búsqueda

Base de datos	Ecuación	N.º de registros
Scopus (2000-2020)	TITLE-ABS-KEY(("laborator*" OR "laborator* service*" OR "laborator* analys*" OR "laborator* test*" OR "research laborator*" OR "innovation laborator*" OR "service* laborator*" OR "laborator* tech*" OR "laborator* experiment*" OR "laborator practice" OR "laborator* standard*" OR "laborator equipment*" OR "laborator* method*" OR "laborator* scheme" OR "service* laborator*" OR "laborator* essay*" OR "laborator* unit*" OR "laborator* process*" OR "laborator* control" OR "laborator* reference" OR "laborator* model*" OR "diagnosis laborator*" OR "national laborator*" OR "regional laborator*") W/2 ("agri" OR "dairy*" OR "husbandry*" OR "cattle*" OR "food*" OR "forestry" OR "gene*" OR "pest*" OR "postharvest*" OR "physiolog*" OR "innocuity" OR "safety" OR "agro" OR "water" OR "soil" OR "nutri*" OR "reproduct*" OR "crop*" OR "soil use" OR "irrigation water")) AND PUBYEAR > 1999 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"AGRI"))	6.996

Fuente: Elaboración propia

En la figura 17 se presenta la dinámica de publicaciones en Scopus para la investigación agropecuaria, la cual se caracteriza por un comportamiento de crecimiento constante y sostenido, lo que indica que el sector agropecuario sigue siendo un área de investigación activa y relevante. En la figura 18 se muestra la evolución de las publicaciones en Scopus para la investigación agropecuaria, la cual se caracteriza por un comportamiento de crecimiento constante y sostenido, lo que indica que el sector agropecuario sigue siendo un área de investigación activa y relevante.

creciente y una oscilación convergente (crecimientos y decrecimientos suaves a lo largo de la ventana de tiempo). El crecimiento en la productividad en la base de datos Scopus logró su pico en 2017, con 443. En 2020, se identificaron en Scopus 398 publicaciones y 4 en 2022.

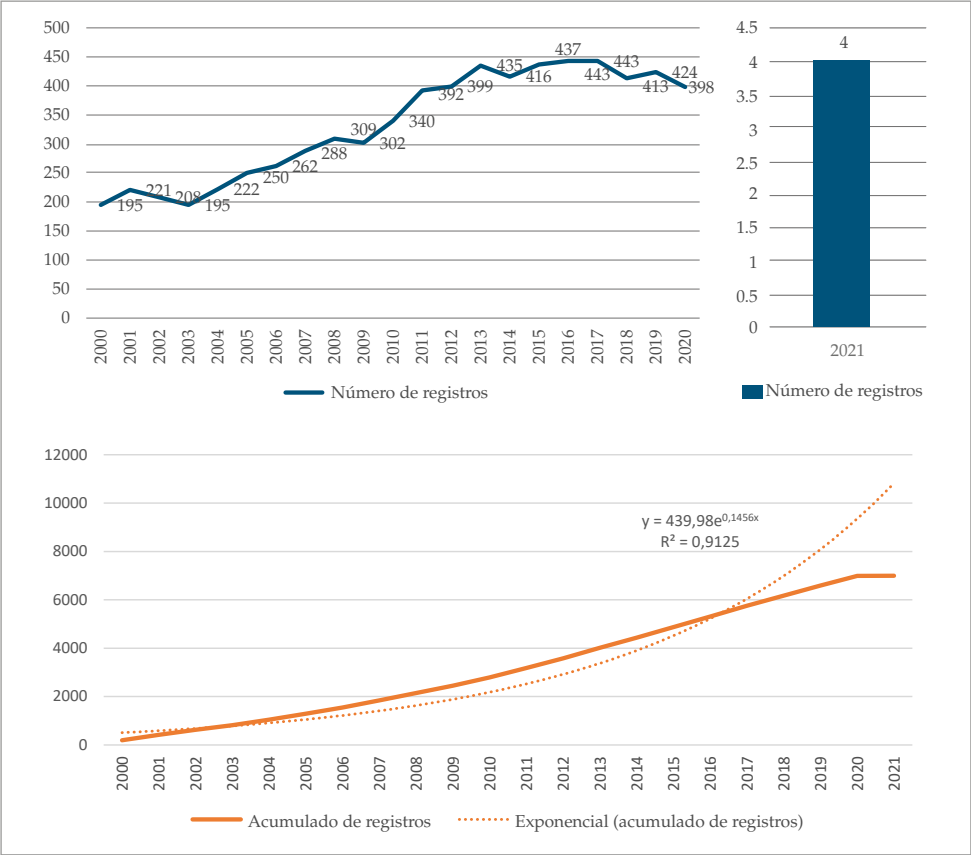


Figura 12. Dinámica de publicaciones acumuladas 2000-2020.
Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Elsevier (2020)

Analizando el crecimiento acumulado de publicaciones en el periodo 2000-2020, a través de la ley de crecimiento de la ciencia de Solla-Price, se estima el porcentaje de crecimiento anual y el periodo que tarda en duplicarse la generación de conocimiento científico. La ecuación de la línea de tendencia permite a través del valor del exponente (b =0,1456) realizar los siguientes cálculos (De Solla Price, 1989, 1976):

$$\text{Tasa de crecimiento} = 100(e^b - 1) ; = 15,67\%$$

$$\text{Periodo de duplicidad} = \frac{\ln(2)}{b} ; = 4,76 \text{ años}$$

El crecimiento en las publicaciones científicas en el objeto de estudio se debe a la necesidad de fortalecer la productividad y competitividad a través de estándares de calidad e inocuidad por parte de los productores (DNP, 2019). Otro factor clave para el incremento en la productividad científica, en el que se evidencia la importancia de los servicios especializados de laboratorio, es la integración de la cadena de valor de la I+D+i y las realimentaciones desde la generación de ideas de investigación, la conformación del portafolio de proyectos y servicios (oferta), el desarrollo de actividades de investigación básica, aplicada y de escalamientos, y la comercialización de los productos y su incursión en el mercado (Moreno et al., 2017).

Desde la investigación *per se*, este incremento se percibe como una orientación de excelencia, al contar con técnicas y análisis reproducibles y resultados replicables por pares locales, regionales, nacionales y transnacionales; eficiencia en la generación de resultados y la demanda por parte de los usuarios (Bongiovanni et al., 2015). Desde lo económico, la inversión en infraestructura tecnológica, capacidades humanas e integración de actores ha generado crecimiento y visibilidad de los análisis de laboratorio en la cadena de valor de la I+D+i del sector (World Health Organization (WHO) & Regional Office for Africa and United States Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2008; Yao et al., 2010).

Los países líderes en publicaciones relacionadas con la temática en estudio y con mayor productividad en la base de datos de Scopus, para el periodo de análisis, son Estados Unidos con 2043 publicaciones; China con 704; Reino Unido con 445; Brasil con 431, y Alemania con 400 publicaciones (figura 13).

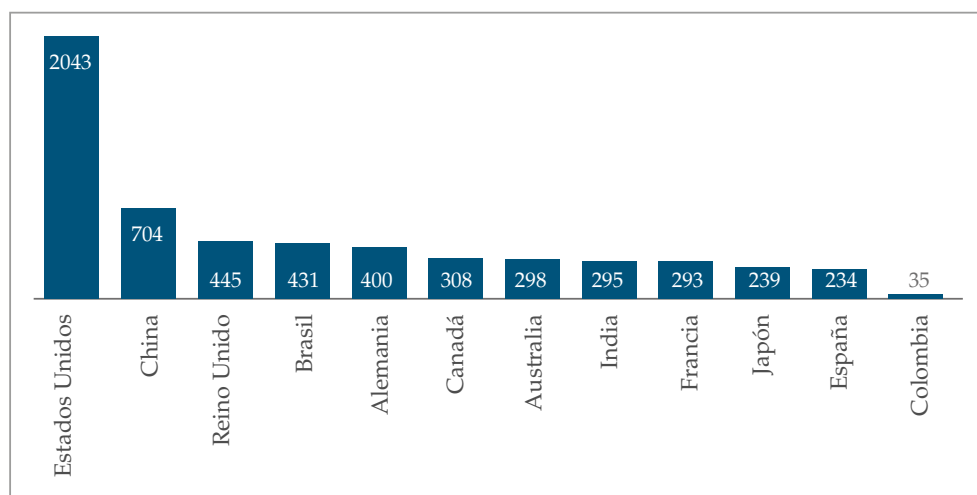


Figura 13. Países referentes en publicaciones por motor de búsqueda (2000-2020).

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Elsevier (2020)

El análisis que se presentó anteriormente da indicios del comportamiento creciente de la investigación, así como la importancia de destacar el uso de servicios de laboratorios públicos, privados y de investigación; sin embargo, para analizar con mayor profundidad, se planteó un estudio de redes o paisajes científicos, por medio del software VOSViewer.

El análisis de paisajes científicos, contruidos a partir de los metadatos descargados de cada uno de los motores de búsqueda, permite identificar grupos específicos de trabajo relacionados con la temática central, pero que se diferencian por un enfoque temático propio. El software toma como insumo las palabras clave (*keywords*) y los campos textos en los campos de título y resumen (*title and abstract*) de las publicaciones, para hacer el análisis de correlación e intensidad de palabras (figura 14).

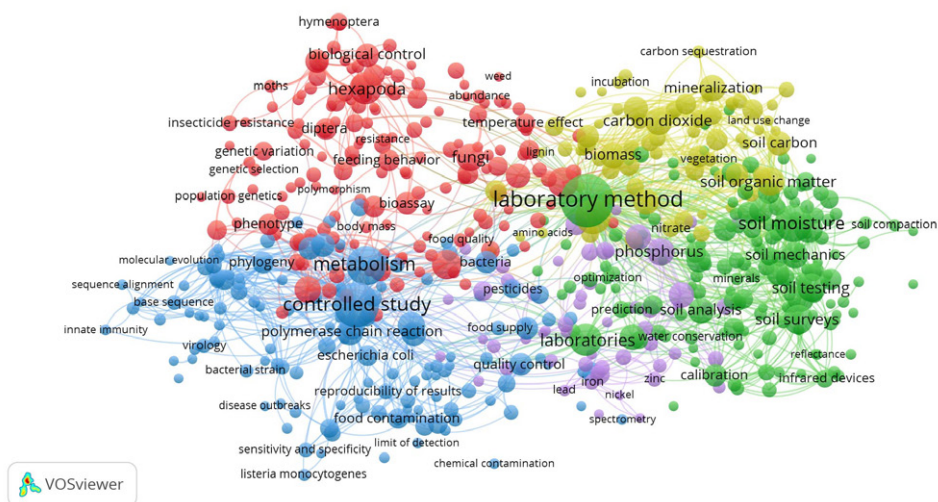
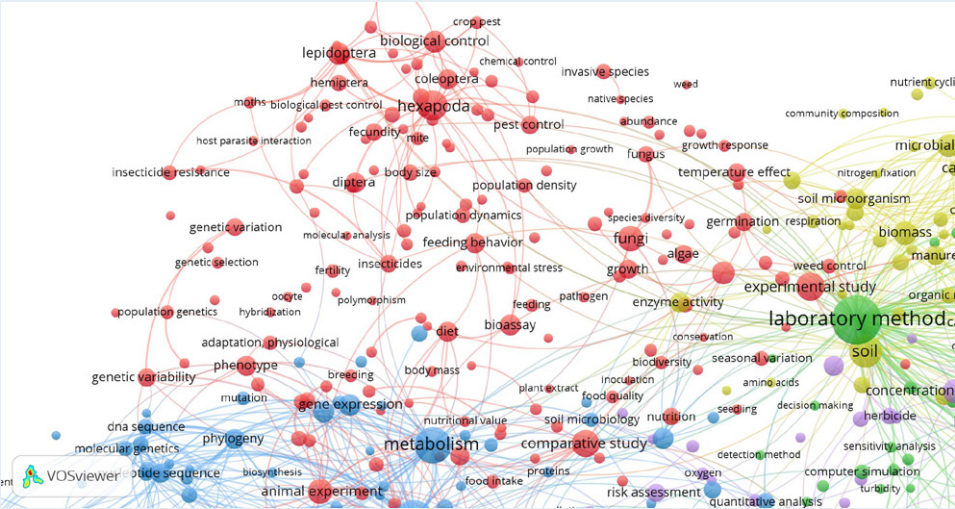


Figura 14. Paisaje científico para la temática de laboratorios de servicio. Estructura de red, palabras clave.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Elsevier (2020)

La red de coocurrencias está conformada por cinco clústeres que integran 590 nodos (tópicos), que conforman 42.546 enlaces. En la tabla 5, se analizan en detalle los cinco clústeres.

Tabla 5. Clústeres identificados en el paisaje científico de Scopus

Clúster	Análisis
Manejo sanitario y fitosanitario – control de plagas y enfermedades	 El clúster rojo comprende en un sentido amplio la temática de manejo sanitario y fitosanitario, en la cual las investigaciones se centran en el análisis de insectos, hongos y virus, en el diseño de estrategia y productos de control biológico (biocontroladores), y en el análisis genético en busca de resistencia y tolerancia. De igual manera, se relaciona con el análisis de insectos-plaga como vectores de estos virus. Algunos tópicos clave son: prevalencia de virus, análisis de secuenciación, aislamiento de virus, estudio de anticuerpos y de cultivos de células, líneas genéticas, epidemiología, entre otras. Se destaca la importancia de los laboratorios nacionales de referencia en esta temática, en la implementación de métodos de detección, implementación de ensayos de resistencia, testeo de bioplaguicidas y dinámicas poblacionales.

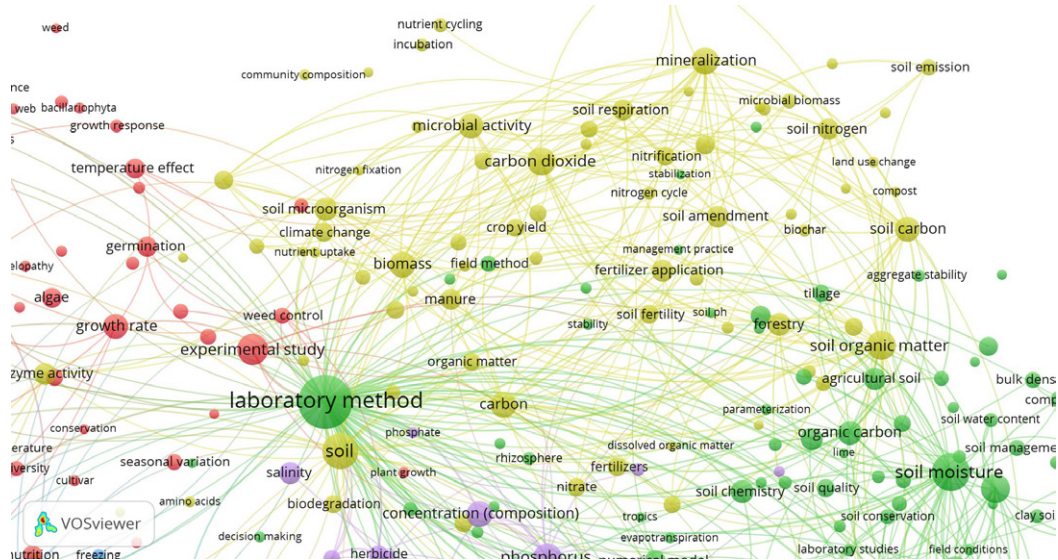
(Continúa)

(Continuación tabla 5)

[illegible]

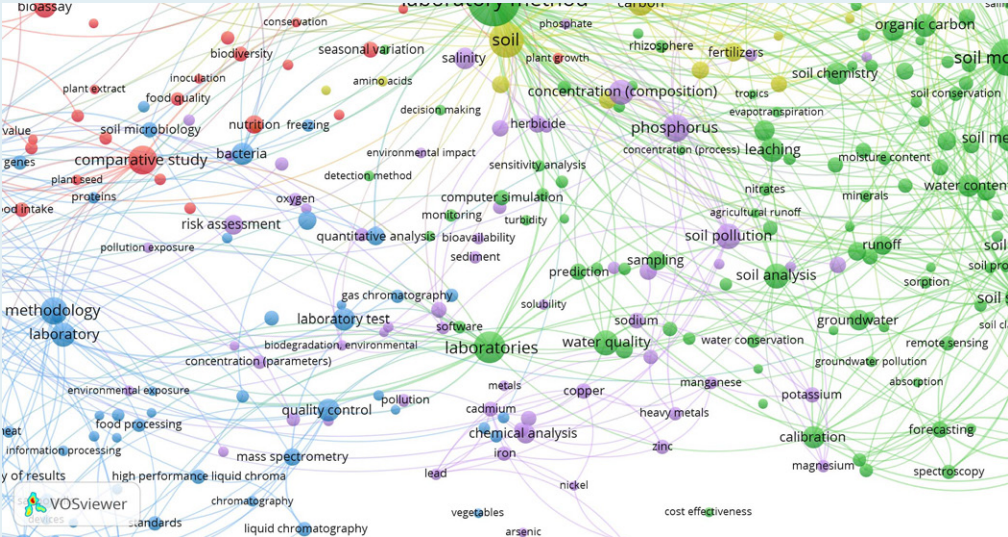
(Continúa)

(Continuación tabla 5)

Clúster	Análisis
Fertilización y nutrición	 Este clúster amarillo se enfoca en la investigación que se apoya en los métodos de laboratorio para el desarrollo de estudios experimentales en nutrición de suelo, análisis del contenido de minerales y metales traza, estudio del contenido de materia orgánica y de la actividad microbiana del suelo, evaluación de enmiendas, análisis de la efectividad de fertilizantes y de cambio del uso del suelo. Por extensión se utilizan las técnicas de laboratorio para evaluar la nitrificación del suelo, la capacidad de captura de carbono y otros gases de efecto invernadero.

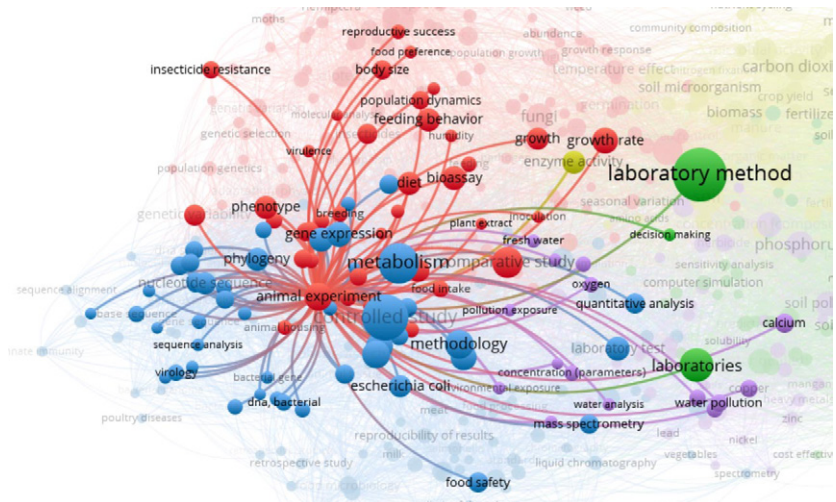
(Continúa)

(Continuación tabla 5)

Clúster	Análisis
Análisis ambiental	 El clúster violeta comprende el análisis de suelos, el cual se integra con el análisis de aguas y de contaminantes en fuentes hídricas para generar estudios de monitoreo ambiental, principalmente con técnicas y métodos pululantes del suelo, nivel de oxígeno en el agua, residuos de pesticidas y herbicidas, y análisis de metales pesados, implementando tecnologías de simulación, medición de biodisponibilidad, curvas de absorción, etcétera.

(Continúa)

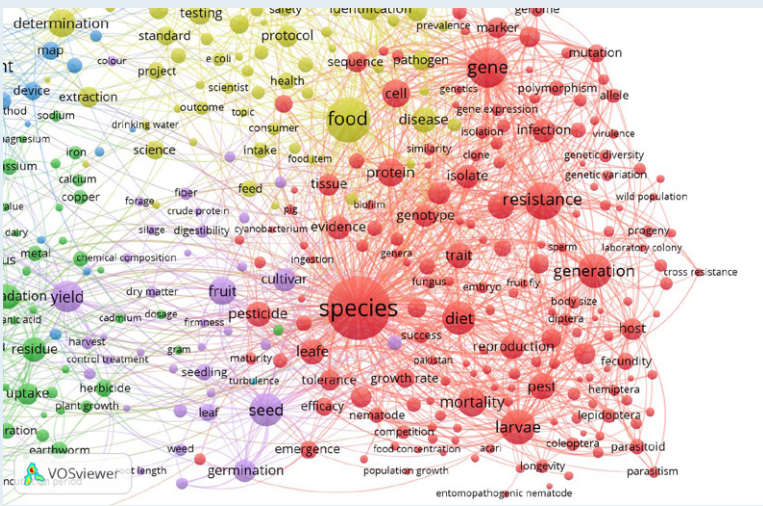
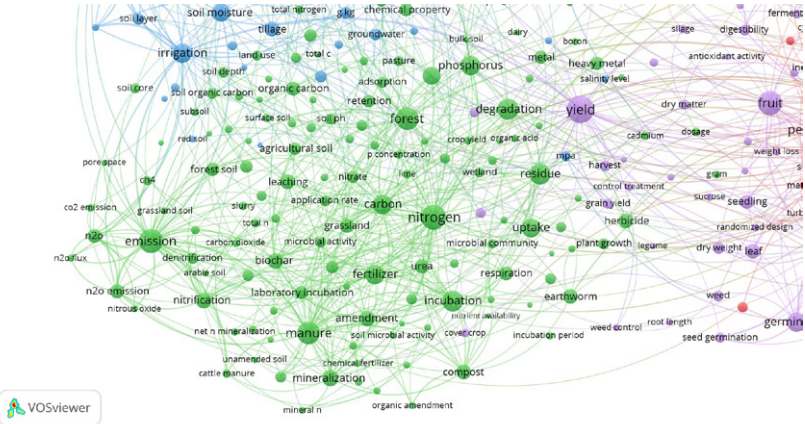
(Continuación tabla 5)

Clúster	Análisis
Animales	 La interacción del clúster rojo, azul, violeta y verde tiene relación directa con la alimentación de pecuarios, principalmente en la detección y el análisis de enfermedades ocasionadas por virus. Además, se analiza a través de servicios de laboratorio todo lo referente a genética, organismos, contenido nutricional, factores en la finca, entre otros. Es importante destacar el marco propuesto de laboratorios de referencia. Este clúster evidencia la conformación de tópicos específicos relacionados con laboratorios de medición, su legislación, validación de técnicas y procedimientos, acreditación y precisión de sus análisis, y su connotación como laboratorios de referencia. Dichos laboratorios comprenden tópicos clave, por ejemplo: simulación, análisis microbiológico, servicios a la comunidad, análisis de calidad, análisis estandarizados, estudios de productos alimenticios, observación visual de fenómenos, reproducibilidad en el diseño de experimentos, corrección de datos, diseño de algoritmos para el análisis de muestras, entre otros. Es importante destacar algunas técnicas de <i>Screening</i>, <i>HPLC</i>, <i>multiplex pcr</i>, entre otros.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Elsevier (2020)

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Elsevier (2020)

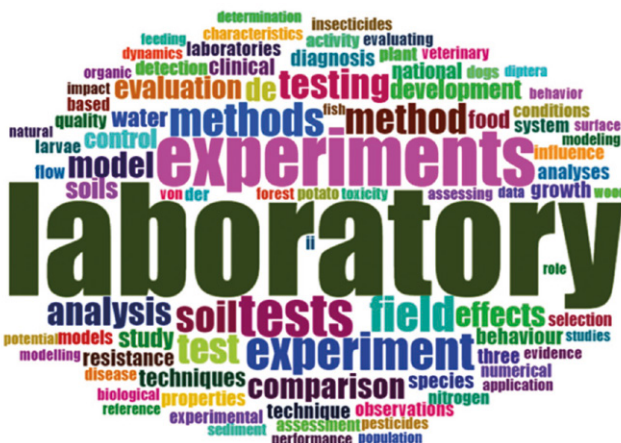
Tabla 6. Análisis de clústeres complemento

Clúster	Red detallada
Mejoramiento genético y control biológico	 En el clúster rojo se especifica el análisis de control de plagas y enfermedades a través de la integración de estudios específicos de resistencia, dinámicas poblacionales y epidemiología, análisis de control biológico con enemigos naturales, estudio de tolerancia a la investigación y de resistencia a insecticidas.
Nutrición de suelos	 El clúster verde se enfoca en el análisis de fertilización y biorremediación de suelos agrícolas, suelo de bosques, suelos de pasturas y suelos degradados. Se identifican prioritariamente análisis relacionados con la nitrificación del suelo, bioasimilación y biodisponibilidad de carbono, así como estudios de contenido de fósforo, calcio, cobre, potasio y metales pesados.

(Continúa)

66

En la figura 16, se presenta un análisis de palabras clave en la temática de servicios de laboratorio, a través de la técnica “*wordcloud*”, la cual permite generar una infografía de los principales tópicos de trabajo, en un tema de análisis en el que cada palabra representada se caracteriza por un tamaño y un color.



Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Elsevier (2020)

De acuerdo con la figura 16, el tópico central, en el primer nivel, es el laboratorio como unidad estructural y organizacional, donde se desarrollan análisis y se implementan técnicas y tecnologías. En el segundo nivel, se encuentran los ejes de trabajo más frecuentes como el análisis de suelos, de aguas, de alimentos, de semillas, de virus y enfermedades, de genética animal, vegetal y microorganismos. En el tercer nivel, hay técnicas o tipos de análisis como espectroscopía, análisis de proteína, genotipado, cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), y objetos puntuales de estudio; por ejemplo, productos lácteos, ganado bovino, elementos químicos, etcétera.

Análisis comparativo entre los servicios de laboratorio de AGROSAVIA y los institutos nacionales de investigación agropecuaria de América Latina y el Caribe

En el contexto latinoamericano, AGROSAVIA cumple el rol de ser el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Colombia. De acuerdo con Trigo et al. (2013), las organizaciones que desarrollan actividades de I+D+i en el sector deben contemplar lo siguiente:

- Marcos institucionales y organizativos, que contemplen estrategias de participación con diferentes actores de su ecosistema de innovación, fuentes y estructuras de financiamiento, alineación de las características y requerimientos de las actividades de investigación con el entorno.
- Capacidades de gestión: específicamente de los procesos de investigación y desarrollo tecnológico, contemplando actividades como propiedad intelectual, vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva.
- Esquemas e instrumentos para gestión de conocimiento y para la transferencia, adopción y apropiación de tecnologías.
- Desarrollo de sus recursos humanos e infraestructuras, específicamente el fortalecimiento de laboratorios y bases que contemplen áreas de trabajo como biotecnología, agricultura de precisión, poscosecha y agroindustria.

Esta última característica es el foco de análisis de la tabla 7, la cual presenta un estudio comparativo de tipo cualitativo para los servicios tecnológicos de laboratorio de AGROSAVIA (19 servicios en total), frente a servicios de laboratorios ofertados por los principales institutos nacionales de investigación agraria de

América Latina y el Caribe. Las entidades seleccionadas son: 1) la Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria (Embrapa), Brasil; 2) el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina; 3) el Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile (INIA), Chile; 4) el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México; 5) el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia; 6) el Instituto Nacional de Innovación y Tecnología Agropecuaria de Costa Rica (INTA), y 7) el Instituto Nacional de Innovación Agraria de Perú (INIA).

En la tabla 7, se encuentran identificados los servicios que presentan un mayor grado de similitud con los ofertados por AGROSAVIA, a través de una escala colorimétrica de tres niveles, con lo cual se categorizaron los servicios referentes:

- **Verde:** servicios de laboratorio con mayor similitud con la oferta tecnológica de AGROSAVIA.
- **Amarillo:** servicios de laboratorio con una similitud próxima a la oferta tecnológica de AGROSAVIA.
- **Rojo:** servicios con una similitud básica con la oferta tecnológica de AGROSAVIA.

Las casillas con la letra x muestran que la institución analizada no oferta servicios similares a los de AGROSAVIA.

Tabla 7. Análisis comparativo de servicios de laboratorios ofertados por institutos nacionales de investigación agraria seleccionados de América Latina y el Caribe

Organizaciones o entidades que brindan servicios similares y tienen un rol parecido o afín al de AGROSAVIA							
AGROSAVIA OT de servicios de laboratorio	Embrapa	INTA Argentina	INIA Chile	Inifap México	CIAT	INTA Costa Rica	INIA Perú
Servicio de producción y mantenimiento de cría de lepidópteros de importancia agronómica.	1. Análisis Clínica Entomológica.	X	X	X	X	1. Diagnóstico de entomología.	1. Servicios de biocontroladores.
Servicio de genotipado a gran escala con chips de array para especies animales y vegetales.	1. Predicción genómica en la raza Girolando. 2. Servicio de genotipado ovino para detectar la presencia de la mutación Booroola.	X	X	X	X	1. Servicio de extracción de ácidos nucleicos (ADN, ARN).	1. 1. Prueba de identificación genética (genotipado). 2. Prueba de filiación (paternidad o maternidad). 3. Diagnóstico molecular de Freemartin en bovinos. 4. Genotipado de proteínas lácteas. 5. Servicios de electroforesis capilar.
Servicio de secuenciación de fragmentos (Sanger)		x	x	x	x		
Servicios de laboratorio para el control de calidad de bioplaguicidas.	1. Determinación de la toxicidad de productos biológicos basados en <i>Lysinibacillus sphaericus</i> y <i>Bacillus thuringiensis</i> para mosquitos y orugas. 2. Introducciones de bioagentes de control en el país por el Laboratorio de Cuarentena.	X	X	X	1. Análisis de insumos agrícolas.	1. Evaluación de productos químicos y naturales biodegradables para fitoprotección en invernadero. 2. Control microbiológico de insumos biológicos. 3. Patogenicidad en la determinación de insumos biológicos.	X

(Continúa)

(Continuación tabla 7)

Organizaciones o entidades que brindan servicios similares y tienen un rol parecido o afín al de AGROSAVIA							
AGROSAVIA OT de servicios de laboratorio	Embrapa	INTA Argentina	INIA Chile	Inifap México	CIAT	INTA Costa Rica	INIA Perú
Servicios de laboratorio para el control de calidad de bioplaguicidas.	X	X	X	X	X	1. Revigorización de cepas de hongos utilizados en control biológico. 2. Producción de matrices de hongos benéficos. 3. Producción masiva de hongos benéficos.	X
Servicio integral de control de calidad de inoculantes.	1. Determinación de la toxicidad de productos biológicos a base de <i>Lysinibacillus sphaericus</i> y <i>Bacillus thuringien.</i> Control de calidad de inoculantes. 2. Validación agronómica de inoculantes.	X	X	X	X	X	X
Servicio de control de calidad microbiológico de abonos orgánicos (recuento de <i>E. coli</i> /coliformes totales y <i>Salmonella</i> sp.).	X	X	X	X	X	1. Patogenicidad en la determinación de insumos biológicos. 2. Control microbiológico de insumos biológicos. 3. Análisis químico de abonos orgánicos (NT, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Carbono orgánico, relación C/N), humedad.	X

(Continúa)

Organizaciones o entidades que brindan servicios similares y tienen un rol parecido o afín al de AGROSAVIA							
AGROSAVIA OT de servicios de laboratorio	Embrapa	INTA Argentina	INTA Chile	Inifap México	CIAT	INTA Costa Rica	INIA Perú
Servicio de indicadores de calidad microbiológica de suelos.	1. Servicios de análisis de hongos micorrízicos arbusculares en suelos o raíces. 2. Recomendaciones de piedra caliza para suelos de Sierra Gaúcha. 3. Base de datos de suelos (B. D. Soils).	1. Análisis microbiológicos de muestras de suelos.	1. Laboratorio de suelos.	X	X	1. Diagnóstico microbiología de Suelos. 2. Biomasa en suelos y abonos orgánicos. 3. Respiración microbiana en suelos y abonos orgánicos.	X
Servicio de determinación de calidad higiénica, composicional y sanitaria de leche cruda.	1. Análisis de la calidad de la leche. 2. Laboratorio de Calidad de la Leche (Lableite).	1. Análisis de calidad de leche y agroindustria.	X	X	X	X	X
Servicio para evaluación de indicadores microbiológicos en alimentos.	1. Análisis de la calidad de la leche. 2. Laboratorio de Calidad de la Leche (Lableite).	1. Análisis de miel. 2. Diagnósticos de hongos y micotoxinas en posturas y granos. 3. Análisis de parámetros nutricionales.	X	X	X	X	X
Servicio de micropropagación vegetal.	X	X	X	X	X	1. Vitroplantas.	X
Servicio de análisis de fertilidad en suelo.	1. Análisis comparativo de la calidad del agua de los recursos hídricos en áreas urbanas y agrícolas. 2. Análisis químico, físico y de fertilidad de la nutrición del suelo y las plantas. 3. Fertmovel (laboratorio móvil de análisis de fertilidad del suelo).	1. Determinación de fracciones texturales - textura. 2. Determinación de conductividad eléctrica. 3. Determinación de pH. 4. Determinación de azufre extraíble - sulfatos. 5. Determinación de nitrógeno disponible - nitratos. 6. Determinación de fósforo extraíble 7. Determinación de nitrógeno total en suelo		1. Análisis de suelos.	X		X

(Continúa)

(Continuación tabla 7)

Organizaciones o entidades que brindan servicios similares y tienen un rol parecido o afín al de AGROSAVIA							
AGROSAVIA OT de servicios de laboratorio	Embrapa	INTA Argentina	INIA Chile	Inifap México	CIAT	INTA Costa Rica	INIA Perú
Servicio de análisis de fertilidad en suelo.	1. Análisis comparativo de la calidad del agua de los recursos hídricos en áreas urbanas y agrícolas. 2. Análisis químico, físico y de fertilidad de la nutrición del suelo y las plantas. 3. Fertmovel (laboratorio móvil de análisis de fertilidad del suelo).	8. Determinación de conductividad eléctrica. 9. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC). 10. Determinación de cationes intercambiables. 11. Muestreo de calicata para la determinación de agua útil. 12. Determinación de carbonatos y bicarbonatos.		1. Análisis de suelos.	X		X
Servicio de análisis de calidad de leche y componentes en alimentos.	Análisis de la calidad de la leche.	X	X	X	X	X	X
Servicio de producción de pajillas de semen bovino.	X	1. Calidad seminal.	X	1. Diagnóstico de enfermedades reproductivas en ganado bovino.	x	X	X
Servicio de producción <i>in vitro</i> de embriones bovinos.	X	1. Calidad seminal.	X	1. Diagnóstico de enfermedades reproductivas en ganado bovino.	X	X	X
Total verdes	10	19	0	0	1	8	0
Total amarillos	7	4	2	0	0	7	6
Total rojos	0	2	0	2	1	0	0

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Embrapa (s. f.), Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria [inta] (s. f.), Instituto de Investigaciones Agropecuarias [INIA] (s. f.), Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA] (s. f.), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA] (s. f.), Bioversity International & CIAT (s. f.), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales [INIFAP] (2018)

De acuerdo con la información de la tabla 7, se puede afirmar que las entidades como el INIA de Chile, INIA de Perú, INTA de Costa Rica y el Inifap de México son consideradas referentes para el desarrollo tecnológico de servicios para el sector agropecuario en Latinoamérica. Los servicios tecnológicos de AGROSAVIA son equiparables a sus pares de Embrapa e INTA, como resultado del análisis del número de servicios de laboratorio similares (verde) dispuestos para el sector.

Los servicios en amarillo representan oportunidades en el corto y mediano plazo para la diversificación de la oferta corporativa: 1) generar a través de la alianza con Embrapa el desarrollo de servicios para el análisis de la calidad de productos apícolas como miel y polen, y servicios de pronóstico a cambios en las características del suelo a través de *big data analytics*; adaptar y desarrollar servicios de genotipado para especies pecuarias menores; 2) a través de convenios técnicos con el INTA de Argentina desarrollar el servicio de análisis de hongos y micotoxinas en sistemas forrajeros, y 3) con el INTA de Costa Rica, diseñar el servicio de evaluación de productos químicos y naturales biodegradables para fitoprotección en sistemas de agricultura protegida.

Los servicios en rojo representan oportunidades en el largo plazo para diversificar la planeación estratégica de los laboratorios de AGROSAVIA; así, se destacan las siguientes: 1) diagnóstico de enfermedades reproductivas en especies pecuarias a través de la cooperación con el Inifap de México; 2) análisis de insumos agrícolas en colaboración con el CIAT, y 3) análisis de la calidad seminal en colaboración con el INTA de Argentina. De manera complementaria, estos servicios potenciales deben ser contrastados frente a las posibles demandas relacionadas por parte de la Agenda Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación, que trabaja a través del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario (Pectia) (Colciencias et al., 2017).

Visibilidad de los servicios de laboratorio en la producción científica de AGROSAVIA

En el contexto internacional, la visibilidad científica de entidades de investigación y desarrollo tecnológico e instituciones de educación superior se puede analizar a través de las bases de datos de los sistemas de indexación

de revistas científicas; de igual forma, se puede hacer otro tipo de estudio con la información indexada.

Para examinar la visibilidad de los servicios de laboratorio en las publicaciones científicas de AGROSAVIA (artículos, actas de conferencias, libros, capítulo de libro, artículos cortos y editoriales), se analizaron en VOSViewer los 810 registros disponibles en Scopus desde 1993 hasta octubre de 2020; asimismo, las palabras clave asignadas por autores y por los gestores bibliográficos, y los textos correspondientes a los campos de título y resumen.

En la figura 17, se presentan las redes de coocurrencias entre palabras de los campos de título y resumen, y la red de coocurrencias entre palabras clave. La red de palabras clave abarca 11 clústeres y 999 ítems que conforman 30.536 enlaces. Estos ítems pueden tener relaciones con ítems de su mismo clúster (relaciones intraclúster) o ítems de otros clústeres (interclúster). De manera general, las principales áreas de investigación son en entomología agrícola, mejoramiento genético animal, vegetal y microorganismos, diseño de bioproductos, manejos de suelos y aguas, alimentación animal, y manejo de sistemas silvopastoriles y suplementación animal.

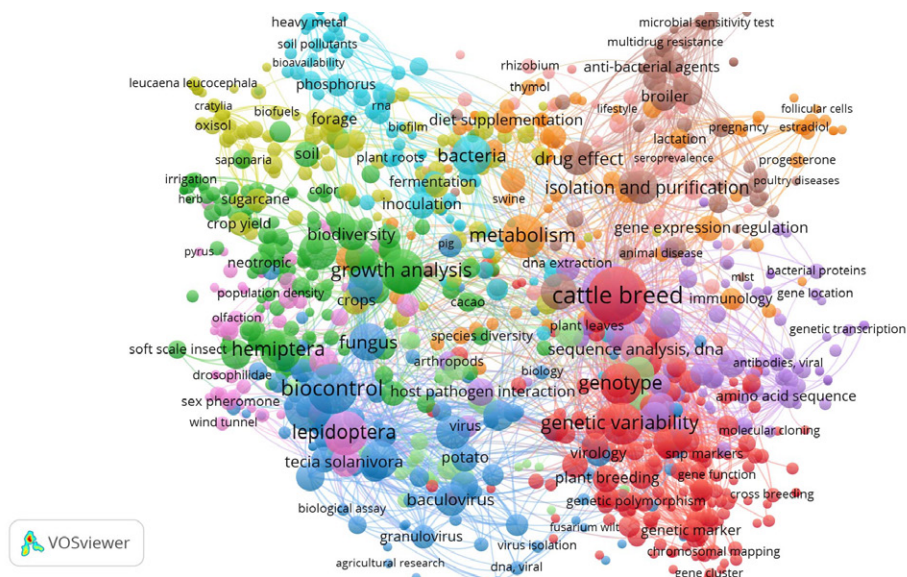


Figura 17. Redes de coocurrencia de palabras clave, productividad científica de AGROSAVIA en Scopus.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus

Cada uno de los clústeres se estudió frente a las 19 ofertas tecnológicas de servicios de laboratorio y su correspondencia con las unidades de laboratorio que las ofertan. Este análisis de tipo inferencial buscó identificar si las técnicas de laboratorio, análisis o equipos son referenciadas en las publicaciones científicas. En los capítulos tercero, cuarto y quinto se desarrollará el análisis de los clústeres en relación con los servicios de laboratorio orientados al productor agrícola, al productor pecuario y a la investigación, respectivamente.

Conclusiones

Los servicios de laboratorio se han convertido en un elemento clave para la investigación en el sector agropecuario, así como para la oferta de servicios para los diferentes actores que conforman los sistemas nacionales de innovación agropecuaria. El modelo funcional de unidades de laboratorio que describe la FAO (2015b) es un punto de referenciar para la identificación de las técnicas nucleares en agricultura, para la oferta de servicios de análisis, y tiene en América Latina y el Caribe una fuerte representación. Así es como la estructuración de unidades de laboratorio en centros de investigación, o instituciones de educación superior con programas de formación en agricultura y ciencias biológicas, contribuye a la investigación, la docencia y la extensión con laboratorios de producción y salud animal, laboratorios de calidad alimentaria, laboratorios de entomología, laboratorios de mejoramiento genético animal, vegetal y microorganismos, y laboratorios de manejo de suelos y aguas.

El análisis posiciona a AGROSAVIA en Colombia, junto con Embrapa en Brasil y el INTA de Argentina, como el INIA con las mejores unidades de laboratorio para el sector agropecuario en América Latina y el Caribe. Sin embargo, solo AGROSAVIA cuenta con 19 de sus servicios de laboratorio, que se presentan como ofertas tecnológicas para todos los actores del SNIA, hecho que lo convierte en un aliado clave de otros centros de investigación y otras universidades para generar una red de laboratorios especializados.

El impacto y la importancia de estos servicios se ven reflejados en el análisis específico del corpus de información, el cual muestra las áreas temáticas a las que los laboratorios dan soporte a la investigación, como lo son el análisis de suelos, las semillas, la genética, el virus, los métodos analíticos, la resistencia, entre otros. Sin embargo, es necesario que los investigadores evidencien en los medios de divulgación mencionados la importancia de los servicios de laboratorio para la investigación, y que resalten las técnicas y áreas temáticas específicas a las que estos se orientan. De esta manera, los servicios de laboratorio se transforman en un elemento vinculante en la cadena de valor de la I+D+i, que garantizan una mayor confiabilidad y trazabilidad en la I+D para llegar a la innovación.

NO LLENE LA BOLSA PASANDO ESTA LÍNEA

BOLSA DE SEGURIDAD ANÁLISIS DE FERTILIDAD DE SUELOS

83525

AGROSAVIA
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

SERVIENTREGA
Centro de Soluciones

Verifique que los círculos debajo de la cinta se encuentren sin signos de haber sido alterada o forzada.

SI LA PALABRA "VOID" APARECE EN LA CINTA DE SEGURIDAD, ESTO INDICA QUE PUEDE HABER SIDO VIOLADA LA BOLSA. NO LA ABRA. NOTIFIQUE DE INMEDIATO AL REMITENTE.

Antes de sembrar, el suelo debe analizarse

1. INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Nombre y Apellido	Alfonso Sánchez	Cédula o NIT	61477891
Dirección de residencia	Villa Sofia	Teléfono de residencia	
Carrera Electrónica	Rio Tancayagua	Número Celular	321811468
Departamento	Valle	Municipio	Toro
Provincia	Valle		
Vereda	Toro	Municipio	Toro

2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Identificación de la muestra	Toro	Finca donde se tomó la muestra	Villa Sofia
Altura sobre el nivel del mar	976	Cultivo para el cual requiere la recomendación de fertilización (finca cultivo por muestra)	Uva paraguay
¿Establecido o por establecer?	Si	Si esta establecido, ¿cuánto tiempo lleva de establecido?	9 meses
Identificación de la muestra	CASA	Profundidad a la cual tomó la muestra	25 cm
Topografía del terreno (Plano, ondulado, pendiente)	Plano	Drenaje de la finca (bueno, regular, malo)	buena
Sistema de riego (no tiene, aspersión, gota, etc.)	Gota	Indique cuál ha sido el rendimiento de su cultivo establecido anteriormente	—
Si ha aplicado fertilizantes en el último año, indique cuáles y si es posible, la cantidad para un área determinada.	—	Observaciones	ASAVIA

Coordenada geográfica

Latitud		Longitud	
---------	--	----------	--

FIRMA DEL SOLICITANTE DEL ANÁLISIS
CORPOVALLE Calle 11 N° 3-58 PISO 6

DIRECCIÓN DE ENVÍO: KILÓMETRO 14, VÍA A MOSQUERA, CUNDINAMARCA / CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBATATA

3. ESPACIO PARA LABORATORIO POR FAVOR NO DILIGENCIAR

Número de laboratorio

Firma del personal encargado de recepción de la muestra

Esta solicitud diligenciada tiene por objeto la realización de análisis de fertilidad de suelos a nombre de quien firma y por el carácter del análisis se entiende que es para la producción agropecuaria, por lo cual el valor es excluido de IVA.
Mayor información a través del correo electrónico: suelos@agrosavia.co

DADO: CUALQUIER EVIDENCIA DE SELLO TÉRMICO EN LA PARTE INFERIOR DE LA BOLSA PUEDE SER INDICATIVO DE VIOLACIÓN.

NO LLENE LA BOLSA PASANDO ESTA LÍNEA

BOLSA DE SEGURIDAD ANÁLISIS DE FERTILIDAD DE SUELOS

83538

AGROSAVIA
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

SERVIENTREGA
Centro de Soluciones

Verifique que los círculos debajo de la cinta se encuentren sin signos de haber sido alterada o forzada.

SI LA PALABRA "VOID" APARECE EN LA CINTA DE SEGURIDAD, ESTO INDICA QUE PUEDE HABER SIDO VIOLADA LA BOLSA. NO LA ABRA. NOTIFIQUE DE INMEDIATO AL REMITENTE.

Antes de sembrar, el suelo debe analizarse

1. INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Nombre y Apellido	Alfonso Sánchez	Cédula o NIT	61477891
Dirección de residencia	Villa Sofia	Teléfono de residencia	
Carrera Electrónica	Rio Tancayagua	Número Celular	321811468
Departamento	Valle	Municipio	Toro
Provincia	Valle		
Vereda	Toro	Municipio	Toro

2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Identificación de la muestra	Toro	Finca donde se tomó la muestra	Villa Sofia
Altura sobre el nivel del mar	974 msnm	Cultivo para el cual requiere la recomendación de fertilización (finca cultivo por muestra)	Uva paraguay
¿Establecido o por establecer?	Establecido	Si esta establecido, ¿cuánto tiempo lleva de establecido?	4 años
Identificación de la muestra	Lote 3	Profundidad a la cual tomó la muestra	25 cm
Topografía del terreno (Plano, ondulado, pendiente)	Plano	Drenaje de la finca (bueno, regular, malo)	Buena
Sistema de riego (no tiene, aspersión, gota, etc.)	Gota	Indique cuál ha sido el rendimiento de su cultivo establecido anteriormente	20 t
Si ha aplicado fertilizantes en el último año, indique cuáles y si es posible, la cantidad para un área determinada.	—	Observaciones	ASAVIA

Coordenada geográfica

Latitud		Longitud	
---------	--	----------	--

FIRMA DEL SOLICITANTE DEL ANÁLISIS
CORPOVALLE Calle 11 N° 3-58 PISO 6

DIRECCIÓN DE ENVÍO: KILÓMETRO 14, VÍA A MOSQUERA, CUNDINAMARCA / CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBATATA

3. ESPACIO PARA LABORATORIO POR FAVOR NO DILIGENCIAR

Número de laboratorio

Firma del personal encargado de recepción de la muestra

Esta solicitud diligenciada tiene por objeto la realización de análisis de fertilidad de suelos a nombre de quien firma y por el carácter del análisis se entiende que es para la producción agropecuaria, por lo cual el valor es excluido de IVA.
Mayor información a través del correo electrónico: suelos@agrosavia.co

Capítulo II

Servicios de laboratorio orientados al productor agrícola

En este capítulo, se analiza la relación de los servicios tecnológicos de laboratorio que AGROSAVIA ha venido desarrollando y adaptando a las particularidades de las condiciones productivas en diferentes especies de interés agrícola. Para ello, se describen los servicios, y cómo estos contribuyen a resolver problemas específicos en los cultivos y el análisis de esos servicios en la vigilancia tecnológica.

Introducción

Los eventos extremos del clima —como inundaciones, sequías, incendios o extinción de distintas especies animales y vegetales—, y el incremento de patologías en la salud humana, entre otras circunstancias relacionadas con las dinámicas propias del sector rural, demuestran el impacto del accionar humano sobre la naturaleza y las dificultades cada vez más apremiantes para garantizar la vida de las personas en el mundo; por ejemplo, el acceso al agua, la producción de alimentos, la salud y el medio ambiente. En ese sentido, llama la atención el nivel de vulnerabilidad de América Latina y el Caribe por su condición geográfica, climática, socioeconómica y demográfica, y por su alta sensibilidad en activos naturales, como bosques y biodiversidad (Sánchez, 2018; Nordhaus, 2007).

En cuanto al incremento de la producción agrícola, la cual se ha triplicado en los últimos 50 años y ha estado apalancada principalmente por el desarrollo de tecnologías y la expansión en el uso de tierras, si bien genera mayor disponibilidad de alimentos y de ingresos económicos representados en las

mejores condiciones de vida para la población, debe estar acompañado de medidas de gestión sostenible y de conservación del suelo, que permitan optimizar la utilización de las tierras y reducir al mismo tiempo el impacto ambiental negativo (Gustavsson et al., 2011, 2015a, 2017).

Un ejemplo de este impacto son los bajos indicadores de productividad reportados en países en desarrollo, atribuidos a la pérdida de la fertilidad del suelo, a lo que se suma el uso excesivo de pesticidas y fertilizantes de síntesis química, que son peligrosos para la salud de los agricultores y de los consumidores, y además son una amenaza para las poblaciones de insectos y microorganismos benéficos, al tiempo que generan resistencia a las plagas (Amare et al., 2016; Watanabe et al., 2015); junto a esto están otros efectos adversos sobre el ambiente por la contaminación de fuentes hídricas.

De acuerdo con lo anterior, el análisis de suelos es una herramienta fundamental para optimizar su uso en las áreas destinadas a la agricultura, las cuales se estiman a nivel mundial en 1,5 billones de hectáreas (Demattê et al., 2019). Recientemente con el incremento de la población y las demandas por alimentos saludables, el objetivo del análisis de suelos se ha reconocido como un aspecto crítico para mantener activo el desarrollo del sector agrícola (Snyder et al., 2015), ya que entender la compleja relación entre la producción agrícola, el ambiente y la economía permite generar programas de fertilización que contribuyen a disminuir el uso de productos químicos y, por ende, reducir el impacto ambiental negativo resultado de las prácticas agrícolas (Bos et al., 2017).

En consecuencia, sigue siendo importante la ejecución de actividades de investigación, transferencia y adopción de tecnologías adaptadas a los sistemas productivos, las cuales desarrollen recomendaciones de manejo sostenible (Schröder et al., 2019). Estas preocupaciones generan iniciativas para que, mediante la co-construcción y corresponsabilidad entre productores y consumidores a partir de relaciones de intercambio más justas y equitativas, se propicien cambios en la explotación de los recursos naturales, y así demandar el acceso a productos y servicios que son el resultado de prácticas productivas ecológicas y saludables, que favorezcan el equilibrio en el medio ambiente y propicien mejores condiciones de vida para los agricultores (FAO, 2018b).

Descripción de los servicios de laboratorio

AGROSAVIA ha desarrollado y estandarizado diferentes metodologías de análisis, a partir de los procesos de investigación para el diagnóstico de enfermedades en cultivos y aislamiento de microorganismos con potencial para el desarrollo de biofertilizantes y bioplaguicidas, análisis de fertilidad de suelos, determinación del contenido de nutrientes en muestras de tejido vegetal, caracterización de abonos orgánicos y diagnóstico de calidad de agua para riego de uso agrícola. A continuación, se presenta una breve descripción de los servicios que presta AGROSAVIA (véase: www.agrosavia.co), las técnicas y los enfoques de estos servicios.

Indicadores de calidad microbiológica de suelos. Los parámetros que hacen parte de este servicio incluyen la cuantificación de bacterias mesófilas aerobias, hongos y actinomicetos; la determinación de bacterias fijadoras de nitrógeno, bacterias solubilizadoras de fósforo y esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA), además de la determinación de biomasa y respiración microbiana. La información que se obtuvo del análisis es una herramienta de decisión para el manejo agronómico del cultivo.

Control de calidad microbiológico de abonos orgánicos. Con este servicio se determina la calidad microbiológica de abonos orgánicos a partir de la detección de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp., mediante metodologías estandarizadas acordes con la norma técnica colombiana aplicada a productos orgánicos que se usan como abonos o fertilizantes, enmiendas o acondicionadores de suelo. El resultado hace parte de la documentación requerida para obtener los registros de comercialización.

Análisis nutricional de material vegetal. Este servicio brinda el análisis de los principales elementos químicos (nitrógeno, fósforo, sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso, zinc, boro y azufre) que una planta absorbe en su etapa de desarrollo, crecimiento y producción. Con la información que da el análisis de laboratorio se realizan diagnósticos nutricionales de los cultivos, principalmente de semiperennes y perennes, para identificar las posibles deficiencias o excesos de nutrientes. Esto se convierte en una herramienta que ayuda a diagnosticar y monitorear el estado o la situación nutricional que presenta un cultivo, lo cual permite hacer modificaciones o correcciones nutricionales oportunas que garanticen su adecuado desarrollo, así como medir

el efecto de prácticas de manejo agronómico con el propósito de llevar un manejo nutricional robusto del cultivo y lograr un adecuado potencial de rendimiento.

Análisis de fertilidad en suelo. Este servicio ayuda a determinar las características fisicoquímicas más importantes del suelo (materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, acidez, aluminio intercambiable, calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables, azufre y fósforo disponibles, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro) y, en consecuencia, evaluar la necesidad de aplicar enmiendas y agroquímicos; con ello se optimizan los sistemas productivos al hacer uso racional de fertilizantes. Los resultados se obtienen mediante equipos automatizados, protocolos estandarizados y un análisis agronómico apoyado por un sistema de inteligencia artificial que permite generar recomendaciones técnicas adaptadas a un cultivo en particular.

Análisis de la red integrada de servicios de laboratorio

De acuerdo con los aspectos técnicos de cada servicio de laboratorio, se construyeron las ecuaciones de búsqueda para ser aplicadas en Scopus (tabla 8).

Tabla 8. Ecuaciones de búsqueda para los servicios de laboratorio aplicables a los sistemas productivos agrícolas

Servicio	Ecuación	Número de publicaciones encontradas
Indicadores de calidad microbiológica de suelos.	TITLE-ABS(("laborator*"OR"laborator*service*"OR"qualitycontrol"OR"qualityenhancement"OR"laborator*analyze*"OR"laborator*test*")AND ("soilanalysis"OR"soilmicrobiologicalanalysis"OR"microbialpopulation"OR"microbialidentification"OR"microbialcharacterization")AND ("aerobicmesophilicbacteria"OR"fungi"OR"actinomycetes"OR"nitrogen-fixingbacteria"OR"phosphorus-solubilizingbacteria"OR"mycorrhizalfungisporoes"OR"biomass"OR"microbialrespiration"OR"arbuscularmycorrhizalformingfungi"OR"AMF"))AND(LIMIT-TO(SUBJAREA,"AGRI"))	113

(Continúa)

(Continuación tabla 8)

Servicio	Ecuación	Número de publicaciones encontradas
Control de calidad microbiológico de abonos orgánicos (recuento de <i>E. coli</i> /coliformes totales y <i>Salmonella</i> sp.).	TITLE-ABS-KEY(("laborator*service*"OR"qualitycontrol"OR"qualityenhancement"OR"laborator*analyze*"OR"laborator*test*")AND("organicfertilizeranalysis"OR"organicfertiliz*"OR"biofertiliz*"OR"organicamendments"OR"organicsoilconditioners"OR"E.colianalysis"OR"totalcoliformsanalysis"OR"Salmonellaspp"))AND(LIMIT-TO(SUBJAREA,"AGRI"))	148
Análisis de fertilidad en suelo.	TITLE-ABS-KEY(("laborator*service*"OR"qualitycontrol"OR"qualityenhancement"OR"laborator*analyze*"OR"laborator*test*")AND("tracelements"OR"majorelements"OR"inorganicchemicalanalysis"OR"acidextractable"OR"soilanalysis"OR"exchangablebasesinsoils")AND("fertility"OR"organicmatter"OR"pH"OR"electricconductivity"OR"acidity"OR"aluminum"OR"calcium"OR"magnesium"OR"potasium"OR"sodium"OR"sulfur"OR"phosphorus"OR"micronutrient*"OR"iron"OR"manganese"OR"zinc"OR"copper"OR"boron"))AND(LIMIT-TO(SUBJAREA,"AGRI"))	283
Análisis nutricional de material vegetal.	TITLE-ABS-KEY(("laborator*"OR"laborator*service*"OR"laborator*analyze*"OR"laborator*test*")AND("inorganicchemicalcomposition"OR"tracelements"OR"vegetalmaterial"))AND(LIMIT-TO(SUBJAREA,"AGRI"))	482

Fuente: Elaboración propia

La vigilancia tecnológica muestra que las publicaciones han estado orientadas principalmente al control de calidad, a la identificación de los niveles de fertilidad de suelos, al análisis de los elementos químicos nocivos para el ser humano, por consumo de alimentos con contenidos de metales pesados (cadmio, plomo, cobre y cromo) superiores a los límites permitidos, y su influencia sobre los cultivos y el crecimiento de las plantas. En la figura 18, se ilustra cómo el término *quality control*, que se destaca en el clúster 4 de color amarillo, cuenta con 145 enlaces, 322 ocurrencias y tiene una fuerza de enlace de 2.777. Asimismo, se cuantifican los micronutrientes y macronutrientes disponibles en el suelo para la nutrición vegetal ("*phosphorus*", "*nitrogen*", "*potassium*", "*nutrients*"). Esta es información importante en el momento de formular un plan de fertilización, práctica determinante en la cual se han hecho esfuerzos para lograr la optimización de fertilizantes, la medición del impacto ambiental por el uso de fertilizantes y el planteamiento de prácticas que permitan de forma sostenible y paralela mejorar el rendimiento de los cultivos y garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas (Freitas et al., 2014).

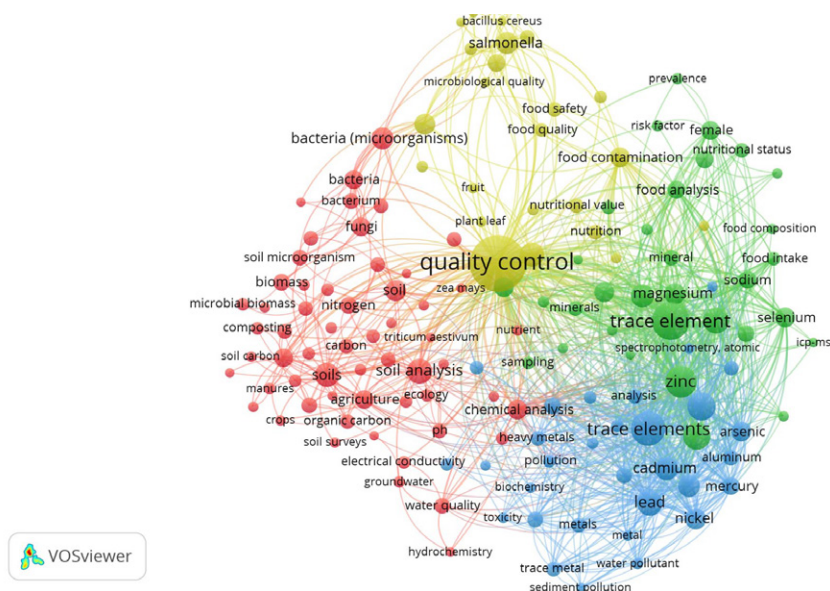


Figura 18. Estructura de red para los servicios orientados al sector agrícola.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus

De igual forma, se identifica el desarrollo de estudios sobre análisis instrumentales de espectrometría ("*spectrophotometry*", "*atomic absorption spectrometry*"), como una opción para mejorar o reemplazar técnicas tradicionales de análisis

Figura 19. Estructura de red para el servicio de análisis de fertilidad de suelos. a. Tecnologías de medición; b. Análisis de elementos traza.



de la producción agrícola del país, aspecto que mejora los rendimientos, la fitosanidad y el uso racional de los recursos naturales.

En ese sentido, es importante destacar que muchas de las preguntas de investigación de los estudios analizados, resultado de la ecuación de búsqueda, están relacionadas con la exploración de alternativas para dar respuesta a necesidades de los consumidores de productos alimentos y agroindustriales, quienes demandan bienes y servicios con mejores condiciones sanitarias y sostenibles para el medio ambiente.

Validando los temas de frontera de las investigaciones, se evidencia la importancia de que esta red de laboratorios desarrolle una adecuada articulación con otras redes de laboratorios y expertos a nivel corporativo, nacional e internacional, que permitan el uso de técnicas innovadoras para mejorar los procesos de diagnóstico de agentes causales de problemas fitosanitarios; por ejemplo, biología molecular, química analítica y entomología. Además de la constante cooperación con expertos en temas como la fisiología vegetal y los suelos para el desarrollo de validaciones de usos de bioplaguicidas, bioinsumos y, en general, de la microbiología, con el fin de incrementar el empleo de estos microorganismos en los sistemas productivos.

Finalmente, los resultados de la vigilancia tecnológica permitieron identificar que los esfuerzos deberían orientarse a la articulación con tecnologías que permitan ampliar el uso de los microorganismos en los sistemas agropecuarios, como el desarrollo de bioproductos más eficientes y asequibles a los productores, y que les permitan obtener alimentos con menores aplicaciones de productos de síntesis química y que contribuyan a la conservación de fuentes de agua y suelos de uso agrícola.





Actum
Ingenio en acción

Actum
Ingenio en acción

Actum
Ingenio en acción

Este capítulo tiene el objetivo de analizar cómo los servicios de laboratorio están en concordancia con las tendencias de investigación orientadas al sector pecuario. Para ello, los servicios disponibles se centran en cuatro principales tópicos: la reproducción animal, la nutrición animal, el análisis de alimentos de origen animal y el mejoramiento genético.

Introducción

La principal fuente de proteína para la población humana es la de origen animal; sin embargo, la actividad ganadera requiere grandes extensiones de tierra y numerosos recursos que se deben optimizar (Delevatti et al., 2019); entre esos recursos se encuentran los forrajes, cuyo incremento en la producción se logra a través de la aplicación de fertilizantes, el manejo de pastoreo y el control de arvenses (McCarthy et al., 2016). Los bajos desempeños en la producción de forrajes se ven afectados, entre otras cosas, por factores como el cambio climático, la composición de pasturas y la calidad del forraje (FAO, 2016). En consecuencia, la baja productividad de las especies ganaderas en términos de carne, leche y doble propósito se debe al consumo de alimentos concentrados que no satisfacen las necesidades nutricionales y que se caracterizan por un bajo contenido proteico, alta fibra cruda y baja digestibilidad (Muhakka et al., 2019).

Si bien la producción ganadera es considerada una de las actividades que más contribuyen al deterioro del medio ambiente, su práctica está justificada en el incremento del consumo de proteína animal (Abbasi & Abbasi, 2016),

producto de los cambios en la dieta humana que a su vez han aportado a la expansión agropecuaria y al uso de tierras para tal fin. Debido a esto, el principal reto para las investigaciones es generar productos resistentes a las externalidades ambientales y que permitan mantener la resiliencia de los ecosistemas (Bennett & Balvanera, 2007); en un contexto regional, como Latinoamérica, debe responder a los cambios globales de consumo y tecnología para hacer más eficiente y sostenible el uso del suelo (Grau & Aide, 2008).

La seguridad alimentaria de la población mundial, y en general la sostenibilidad a corto plazo de la agricultura, va a depender de los cambios oportunos que se realicen para mitigar la pérdida de las cosechas y la disminución en los rendimientos de los animales como consecuencia del cambio climático; asimismo, será importante lograr una producción de alimentos en la que se priorice la disminución de los incidentes de enfermedades en humanos por contaminación y hábitos de consumo de alimentos pobres en nutrientes. Esta es una preocupación que se ha acrecentado, entre otras cosas, por escenarios como los que plantea la FAO (2017), organización que argumenta que estos riesgos se ven agravados por el aumento de la resistencia a los antimicrobianos, lo cual amenaza la prevención y el tratamiento de una variedad de infecciones. Más aun cuando cada vez son más estrictos los límites permisibles en los mercados para la calidad física, química y microbiológica de los productos agroalimentarios, que debe ser respaldada desde la siembra, la cosecha, la distribución y la preparación de los alimentos.

Mediante mejoras genéticas es posible obtener animales con óptimas características productivas, además de reducir la edad para el sacrificio del ganado bovino y del número de días que los animales se alimentan en los corrales de engorde; esto permite tener un impacto significativo en las emisiones de los gases efecto invernadero provenientes de los sistemas de producción de carne a partir de bovinos o de otros animales (Gerber et al., 2013), así como mejoras en la conservación del suelo, en el bienestar de los animales y en la productividad al conseguir alimentos de calidad superior. Por ello, Colombia ha generado acuerdos para incrementar la competitividad en el sector ganadero relacionados, entre otros, con investigación y desarrollos tecnológicos dirigidos a socializar el conocimiento y los avances científicos, propiciar la innovación, transferir la tecnología necesaria para el abordaje de la problemática de las cadenas de valor y realizar acompañamiento de procesos (Corredor et al., 2018).

Desde ese contexto, las actividades a nivel de laboratorio son relevantes si se considera que la importancia de los ensayos de laboratorio radica en que los resultados generados no difieren de las pruebas realizadas *in vivo* (Galli et al., 2001; Galli et al., 2003). Así, actualmente AGROSAVIA dispone de un portafolio de servicios tecnológicos de laboratorio dirigidos a ofrecer, a través de los resultados de los análisis, herramientas de decisión para optimizar la actividad ganadera; por ejemplo, aquellos que brindan evaluación de la calidad de los productos característicos de los sistemas de producción pecuaria, como el análisis de forrajes, los alimentos para animales, el análisis de leche y de carne o tecnologías avanzadas y de amplio uso en procesos de investigación, como el caso de los análisis relacionados con genética molecular. De hecho, el componente genético es un aspecto determinante en la calidad y cantidad de leche y carne producidos que, junto a los programas de mejoramiento animal, permitirá desarrollar e implementar programas enfocados en mejorar las características productivas de cada región (Federación Colombiana de Ganaderos [Fedegán], 2006).

Descripción de los servicios de laboratorio

A continuación, se describen los servicios analizados a partir de la información disponible en AGROSAVIA (véase: www.agrosavia.co), los cuales buscan atender las necesidades de los sistemas productivos pecuarios. Posteriormente, se mencionan las ecuaciones de búsqueda de cada servicio y, por último, se analizan los clústeres identificados.

Análisis de componentes de alimentos. Dirigido específicamente a la caracterización fisicoquímica y sensorial de carne para consumo humano, como determinación de perfil de ácidos grasos, terneza, color y humedad, información con la cual es posible evaluar la calidad nutricional, realizar trazabilidad de los procesos en sistemas productivos cárnicos y evaluar el manejo dado a los animales en cuanto a su alimentación y cuidado.

Análisis proximal de alimentos para animales por química húmeda. En este servicio se emplean técnicas de química húmeda, la cual comprende los principales parámetros químicos (materia seca, grasa cruda, ceniza, fibra y proteína cruda, fibra detergente ácida [FDA] y fibra detergente neutra [FDN]). Estos indicadores permiten conocer la calidad composicional de forrajes y

subproductos de la agroindustria, paso fundamental para la formulación de alimentos balanceados; esto evita la ausencia o los excesos de componentes importantes en la nutrición animal, que se reflejan en la productividad del sistema pecuario.

Determinación de la calidad higiénica, sanitaria y composicional de leche.

El servicio está orientado a la determinación de la calidad higiénica, sanitaria y composicional de leche, y está fundamentado en lo que describe el Conpes 3675 “Política nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano” (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2019), que busca mejorar la competitividad del sector lechero, el ingreso de los productores y la participación en mercados nacionales e internacionales. Para ello, se plantearon diferentes estrategias, entre las cuales está la conformación y acreditación de una red de laboratorios que estableciera la calidad de la leche y sus derivados, específicamente el pago por calidad de leche a los productores; esto con el fin de promover la mejora en la calidad higiénica, sanitaria y composicional (grasa, proteína, sólidos totales, mesófilos totales y células somáticas) de la leche y, por consiguiente, el incremento en su consumo y comercialización. El laboratorio realiza el diagnóstico de la calidad de la leche cruda, empleando metodologías automatizadas que permiten optimizar el tiempo de respuesta a ganaderos e industriales.

Producción de embriones bovinos. Los embriones producidos por el laboratorio se obtienen a partir de parentales de alto valor genético, por técnicas convencionales o de fertilización *in vitro* a partir de gametos (óvulos y espermatozoides) utilizando semen convencional o sexado, o de toros y vacas donadores seleccionados por sus características genéticas; adicionalmente, se entregan frescos o criopreservados. Esta técnica de producción *in vitro* es una importante biotecnología de reproducción que ha sido muy estudiada con fines comerciales para reducir de manera significativa el número de generaciones requeridas en una población bovina. Estas últimas son necesarias para alcanzar un progreso genético marcado en poco tiempo, comparado con otras técnicas como inseminación artificial o sistemas de monta natural. Asimismo, la producción *in vitro* permite obtener embriones de vacas vacías, además de vacas preñadas y de novillas.

En el servicio de producción de pajillas de semen bovino, se facilita la implementación de las tecnologías reproductivas como la inseminación

artificial, también la reducción de los intervalos generacionales para obtener características productivas en los animales, y así evitar el mantenimiento de toros vivos, optimizar el uso del suelo y disminuir el impacto ambiental generado por la actividad ganadera. Las pajillas de semen de toros producidas incluyen razas criollas colombianas como el Blanco Orejinegro (BON), Romosinuano y Hartón del Valle, así como otras razas cebuínas, de Simmental y Kiwi-Jersey, cuyos parentales fueron seleccionados por pruebas de desempeño y altos valores genéticos. Estos servicios corresponden al resultado de proyectos de investigación cuyo objetivo es escoger animales con altos valores genéticos respecto a características productivas, ya sean de carne, leche o de doble propósito. La utilización de pajillas de toros provenientes de dicha selectividad reduce el tiempo requerido para obtener resultados directos en la productividad de los animales, y su marcada eficiencia de producción se ve reflejada en mayores ingresos económicos para los productores.

Servicio de genotipado a gran escala con chips de array. Se realiza a partir de muestras provenientes de ADN de especies animales o vegetales de interés productivo (bovinos, ovinos, porcinos, caprinos, equinos, avena, papa, tomate, arveja, entre otras). El proceso se lleva a cabo con equipos de alta tecnología que permiten la edición y la limpieza de los genotipos a nivel poblacional, previo a un proceso de dilución de material genético, genotipado y lectura de los chips. Con esta tecnología, se identifican parámetros genéticos asociados a características de interés económico para el productor, entre ellos la estimación de los valores genómicos de crecimiento, reproducción, relación con enfermedades, identificación de los rasgos productivos de la especie y de mutaciones genéticas no deseables.

Análisis de los clústeres

Desde un análisis general de los servicios tecnológicos asociados a los sistemas de producción pecuaria se obtuvo la figura 24, y a partir de esta se analizaron los clústeres de manera individual, que se relacionaron con los servicios de laboratorio descritos anteriormente. Como principal hallazgo, el término *cattle* se resalta en el clúster de color azul, con 230 enlaces, 468 ocurrencias y una fuerza total de enlace de 4.353; le siguen los términos *female* en el clúster de color verde, con 222 enlaces, 273 ocurrencias y fuerza

total de enlace de 2.751; *male* en el clúster amarillo, con 199 enlaces, 206 ocurrencias y fuerza total de enlace de 2.425; *milk* en el clúster de color rojo, con 161 enlaces, 119 ocurrencias y fuerza total de enlace de 961, y *quality control* en el clúster morado, con 145 enlaces, 203 ocurrencias y fuerza total de enlace de 1.565.

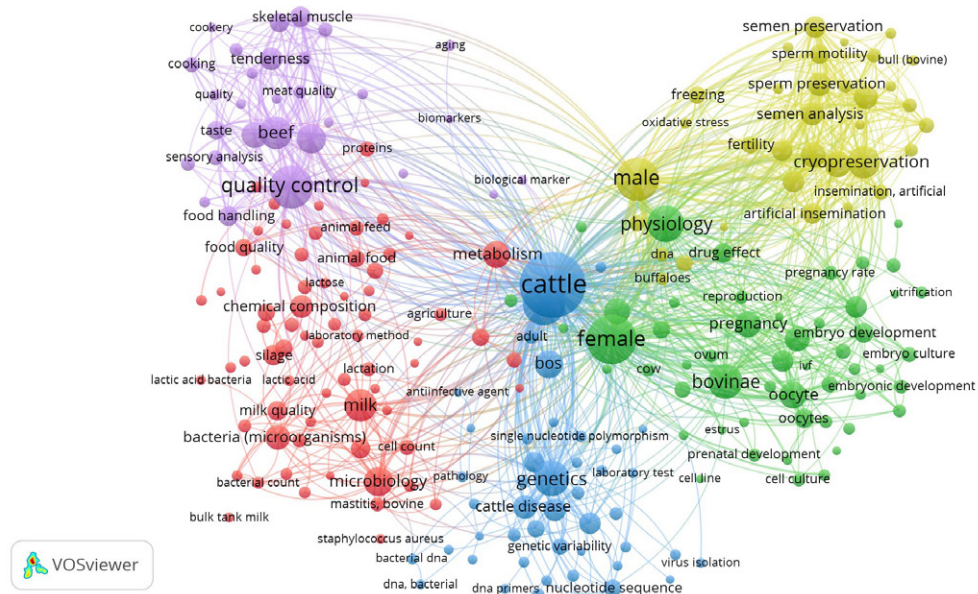


Figura 24. Estructura de red para los servicios orientados al sector pecuario.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus

Las ecuaciones de búsqueda relacionadas con los servicios que dan origen a cada clúster se encuentran detalladas en la tabla 9. Con la presentación de cada clúster encontrado se analiza la forma como los servicios de laboratorio guardan consonancia con las tendencias de investigación en temas agropecuarios, a la vez que identifican la evolución de dichas investigaciones con miras a trabajar la mejora, el crecimiento y lo específico de cada servicio de acuerdo con las demandas de investigación a nivel mundial.

Tabla 9. Ecuaciones de búsqueda para los servicios de laboratorio aplicables a los sistemas productivos pecuarios

Servicio	Ecuación	Número de publicaciones encontradas
Análisis de componentes de alimentos.	TITLE-ABS-KEY ((“laborator*” OR “laborator* service*” OR “quality control” OR “laborator* analyze*” OR “laborator* test*”) AND (“beef” OR “bovine meat” OR “cattle meat” OR “cow meat” OR “beef cattle”) AND (“fatty acid content” OR “sensor* analysis” OR “sensor* evaluation” OR “tenderness”)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, “AGRI”))	184
Análisis proximal de alimentos para animales.	TITLE-ABS-KEY ((“laborator*” OR “laborator* service*” OR “quality control” OR “laborator* analyze*” OR “laborator* test*”) AND (“beef” OR “bovine meat” OR “cattle meat” OR “cow meat” OR “beef cattle”) AND (“fatty acid content” OR “sensor* analysis” OR “sensor* evaluation” OR “tenderness”)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, “AGRI”))	152
Determinación de calidad higiénica, composicional y sanitaria de leche cruda.	TITLE-ABS-KEY ((“laboratory*” OR “laborator* service*” OR “quality control” OR “quality enhancement” OR “laborator* analyze*” OR “laborator* test*”) AND (“higienic quality” OR “nutritional content” OR “chemical composition” OR “quality analysis” OR “composition analysis” OR “milk quality” OR “flow cytometry” OR “medium infrared spectroscopy” OR “nutrients analysis”) AND (“raw cow milk” OR “cow milk” OR “dairy”)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , “AGRI”))	239
Producción <i>in vitro</i> de embriones bovinos.	TITLE-ABS-KEY ((“laborator*” OR “laborator* service*” OR “laborator* analyze*” OR “laborator* test*”) AND (“embryo cryopreserv*” OR “seminal material” OR “embryo” OR “in vitro insemination” OR “embryonic development” OR “freezing embryos” OR “oocytes” OR “germplasm banks” OR “embryo culture” OR “andrology” OR “embryology” OR “cell micromanipulation” OR “embryo transfer”) AND (“bovine” OR “cattle” OR “cow”)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , “AGRI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “VETE”))	297
Producción de pajillas de semen bovino.	TITLE-ABS-KEY ((“laborator*” OR “laborator* service*” OR “laborator* analyze*” OR “laborator* test*” OR “analysis”) AND (“seminal material” OR “semen straws” OR “semen freezing” OR “semen cryopreservation” OR “spermatic quality”) AND (“bovine” OR “cattle” OR “cow” OR “bull” OR “simmental” OR “kiwi” OR “jersey”))	111
Genotipado a gran escala con chips de array para especies animales y vegetales.	TITLE-ABS-KEY ((“laborator*”) AND (“animal genom*” OR “animal genetic*” OR “bovine” OR “cattle” OR “beef” OR “bos taurus” OR “bos indicus”) AND (“genom* sequence” OR “genomic features” OR “large-scale genotyp*” OR “array chips” OR “SNP-type regions” OR “simple nucleotide polymorphisms” OR “genomic values” OR “genomic” OR “growth characteristic*” OR “reproduction characteristic” OR “quantitative traits” OR “genetic merit” OR “population structure” OR “genetic diversity” OR “genetic mapping” OR “linkage disequilibrium” OR “comparative genetics” OR “parentage control” OR “assignment of paternity” OR “evaluation of racial purity” OR “genetic mutations” OR “HiScan SQ”)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , “AGRI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “VETE”))	216

Fuente: Elaboración propia

Servicio de análisis de componentes de alimentos

El primer clúster analizado e ilustrado en la figura 25 corresponde al servicio de análisis de componentes en alimentos, el cual se destaca por temas como control de calidad y otros parámetros propios de estos análisis, entre ellos pruebas de terneza y análisis sensorial. En estos, se privilegian aspectos como el color y el sabor, además de características importantes para procesamiento y cocción, y las aplicaciones industriales que derivan de la carne como insumo primario para la obtención de subproductos. En los últimos años, los consumidores prefieren consumir alimentos saludables, lo que resulta en una mayor demanda de estos debido sus datos nutricionales (Song et al., 2018). Asimismo, ha crecido el interés por productos orgánicos, con la idea de que su producción, además de ser saludable por tener menos residuos de pesticidas y mayor contenido nutricional, se considera de mejor calidad y de bajo impacto ambiental, comparado con los alimentos industrialmente procesados (Galgano et al., 2016), aun cuando los resultados de investigaciones sobre calidad de alimentos han evidenciado inconsistencias respecto a esta afirmación (Watanabe et al., 2015). Ahora bien, ya que los minerales son esenciales para las funciones vitales humanas, prevenir enfermedades y promover la salud, y ya que su ingesta es necesaria para satisfacer las necesidades corporales y prevenir deficiencias de sustancias (Choi et al., 2019), las recientes tendencias en consumo se enfocan en la búsqueda constante de alimentos con beneficios nutricionales y farmacológicos (Ogundola et al., 2018).

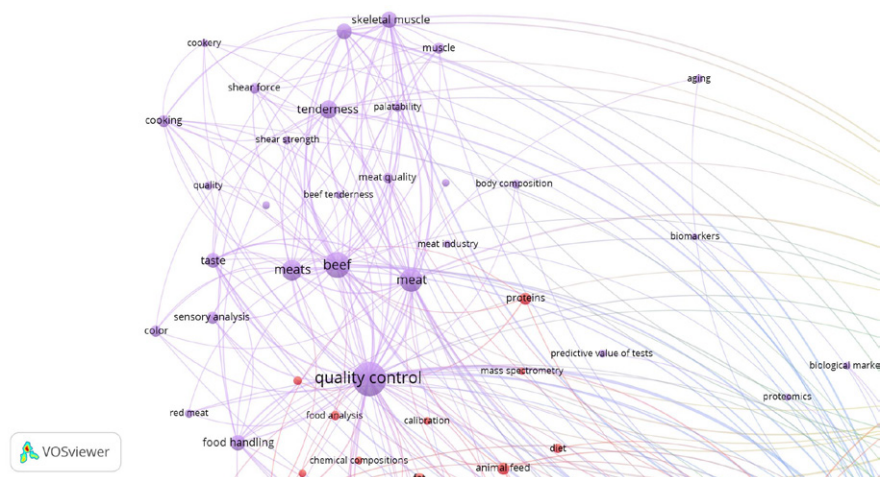


Figura 25. Estructura de red para el servicio de análisis de componentes en alimentos.
Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus

Determinación de calidad higiénica, composicional y sanitaria de leche cruda

El segundo clúster, identificado con color rojo e ilustrado en la figura 26, representa los servicios de determinación de calidad higiénica, composicional y sanitaria de leche cruda y el servicio de análisis proximal de alimentos para animales. Este clúster agrupa ambos servicios por la incidencia que tienen entre sí, si se parte del hecho de que el bienestar animal, visto desde una adecuada nutrición, representa una mejora en la calidad de la leche obtenida, para el caso de especies bovinas. Además, el clúster evidencia el interés por las mejores fuentes de alimentación para los animales dependiendo de su raza, manejo de la salud y bienestar, ubicación geográfica y demás condiciones determinantes para obtener mejores productividades.

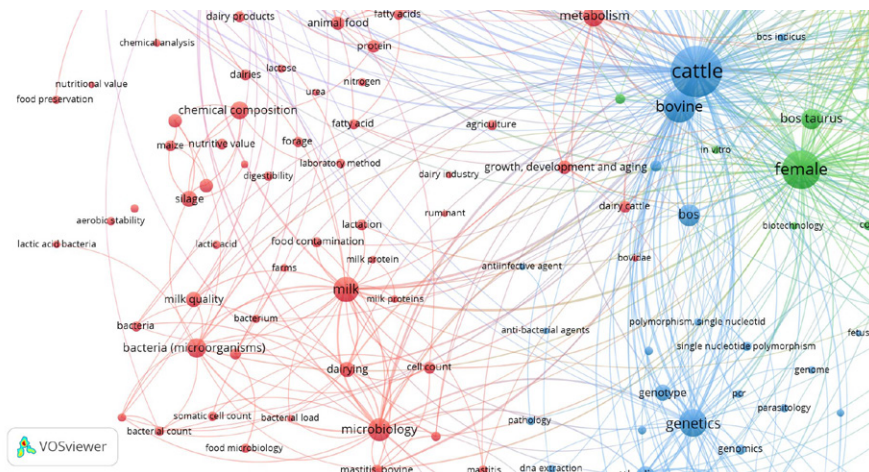


Figura 26. Estructura de red para el servicio de determinación de calidad higiénica, composicional y sanitaria de leche cruda y de análisis proximal de alimentos para animales.
Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus

El servicio de análisis de calidad de leche está relacionado con las palabras que asocian sus principales aspectos, como análisis microbiológico, cuya consecuencia de valores anormales en los resultados permite identificar problemas en los animales; por ejemplo, mastitis y malas prácticas de manejo animal. Se destacan también aspectos que tienen que ver con la calidad de alimentos de consumo humano, así como las publicaciones relacionadas con las mejores prácticas de recolección, distribución y almacenamiento de

la leche para garantizar su calidad. Los resultados muestran registros de publicaciones en temas de estandarización de estas técnicas para determinar la calidad microbiológica en otras fuentes de leche, como cabras y ovejas. Así lo muestran Tomáška et al. (2006), quienes evaluaron la relación de conversión entre los resultados de *individual bacterial cells* (IBC) (células bacterianas individuales) y *colony forming units* (CFU) (unidades formadoras de colonias) en leche cruda de oveja, para posteriormente validar la necesidad de aplicar diferentes ecuaciones de conversión para la leche de vaca y de oveja.

De igual forma, se observa la atención que han logrado las publicaciones relacionadas con proteínas, grasas y sólidos totales en diferentes alimentos lácteos como fuente para la nutrición humana; asimismo, aquellas que conciernen a la mejora de las técnicas de laboratorio para el conteo de células somáticas en leche cruda (De Marchi et al., 2014). Las metodologías instrumentales son un instrumento que tiene potencial para predecir los rasgos de calidad de la leche y otras de sus características relacionadas con la salud del animal, y que podría utilizarse para la predicción de otros rasgos de la leche asociados con su valor nutricional. De manera que las mediciones de la calidad de leche se convierten en uno de los indicadores más importantes para el pago por calidad a los productores, y también son un buen ejemplo de la importancia y el impacto en los productores pecuarios a partir del relacionamiento entre los procesos de CTI en favor de los procesos agropecuarios.

Análisis proximal de alimentos para animales

En el servicio de análisis de alimentos para animales, se identifican palabras como alimentación, dietas y nutrición animal, temas que juegan un papel importante en los sistemas pecuarios. También se resaltan los parámetros analizados en las pruebas bromatológicas y los análisis químicos (como proteína, ácidos grasos, nitrógeno y urea) a los que son sometidos los alimentos, los forrajes, los ensilajes, los pastos y otros subproductos destinados al consumo animal. Entre otros registros se encuentran diferentes estudios que establecen la relación bioquímica entre los ensilajes, los rendimientos y la calidad de leche.

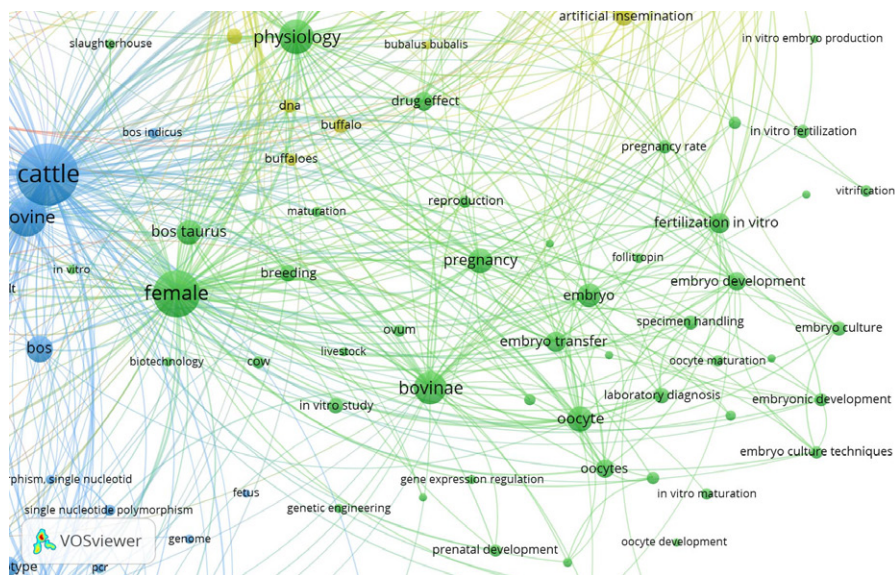
De igual manera, se resaltan palabras asociadas a las pruebas que se realizaron en laboratorio y que se aplican principalmente en ensilajes, análisis de laboratorio que determinan el contenido nutricional de un forraje y otras pruebas hechas a los forrajes como digestibilidad y fibra cruda. Dichas pruebas son el fin último del análisis proximal, que es determinar la composición del forraje y establecer la formulación que debe ser aplicada para incrementar la productividad animal. El mayor número de citaciones en la última década tiene que ver con el análisis de FDN a nivel de laboratorio y con otros estudios sobre la composición de los concentrados, los parámetros de calidad nutricional de los forrajes y la evaluación *in vitro* de la digestibilidad del alimento.

Además, se ilustran los temas sobre los cuales se han concentrado las publicaciones y que presentan el mayor número de citaciones en la última década, en este caso el análisis de FDN a nivel de laboratorio. Lo anterior se explica porque este parámetro es un indicador del volumen y consumo del forraje en rumiantes, es decir, los componentes que están siendo digeridos y aprovechados durante el consumo del animal. En el mismo contexto, la mayoría de las publicaciones se centra en la composición de los concentrados, así como en los parámetros de calidad nutricional de los forrajes. Es importante mencionar que uno de los temas de frontera es la evaluación *in vitro* de la digestibilidad del alimento.

Producción *in vitro* de embriones bovinos

El clúster verde de la figura 27 corresponde al servicio de producción *in vitro* de embriones bovinos. Por un lado, este clúster asocia palabras como ovarios, madurez y aspiración folicular, que correlacionan el tema de desarrollo embrionario, lo cual está alineado con la alta demanda de estudios sobre producción embrionaria y que generan la necesidad de investigar nuevos métodos para hacer más eficiente la criopreservación de embriones bovinos (Sanches et al., 2017). Por otro lado, incluye palabras como ganado, preñez, transferencia y criopreservación; temas que también han jugado un rol clave en la implementación de biotecnologías reproductivas (Iriar, 2015) y que han tenido un incremento progresivo en los últimos años (Grötter et al., 2019).

Lo anterior coincide con las investigaciones adelantadas en el laboratorio de reproducción animal, en la que a través de técnicas *in vitro* estandarizadas se garantizan altas tasas de preñez y fertilidad, con el posterior desarrollo y obtención de un ternero de óptimas características de desempeño productivo en carne, leche o doble propósito. La escala evolutiva de temas citados resalta nuevamente los relacionados con tasas de maduración, fertilidad y preñez a través de técnicas de producción *in vitro* (IVP) y fertilización de ovocitos madurados (IVM), y selección morfológica. Estos temas abarcan las principales metodologías para el procesamiento de los embriones, desde su extracción y maduración hasta su transferencia para lograr tasas de preñez significativamente efectivas. Por su parte, las investigaciones que se llevaron a cabo en los primeros años del tiempo en estudio muestran publicaciones primarias relacionadas con animales de laboratorio que posteriormente se fueron direccionando hacia la calidad embrionaria y las técnicas de inseminación artificial y transferencia que, si se llevan a la práctica, son los indicadores de productividad que se buscan con las investigaciones más recientes. Un último análisis del servicio de producción de embriones *in vitro* confirma los principales temas de publicaciones que tienen que ver con ovarios y técnicas de procesamiento por medio de transferencia embrionaria, con el objetivo de incrementar las tasas de fertilidad. Así como se muestra en la figura 26, es evidente la segmentación en dos grupos, y ganado es la palabra con más concentración. Esto se debe a que es una de las especies más consumidas por el hombre, tanto en carne como en leche y en doble propósito, y su producción se ha incrementado durante los últimos años (Chatellier, 2021; Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD), & FAO, 2021; Schierhorn et al., 2016).



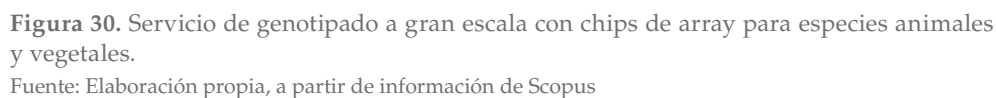
Se infiere que las primeras publicaciones de la escala de tiempo para 2010 corresponden a estudios en condiciones de laboratorio acerca de fertilización *in vitro* y la selección de las razas más apropiadas para mejorar las características reproductivas, mientras que las publicaciones más recientes se centran en la evaluación de las características que influyen en la efectividad del semen criopreservado al realizar la inseminación y obtener una preñez efectiva. En un contexto práctico llevado al laboratorio de reproducción animal, mediante el análisis de la calidad espermática del semen se producen pajillas y se incrementan las probabilidades de preñez, incluso con el semen sexado, lo que permite elegir, de acuerdo con los requerimientos del hato, entre hembra o macho. Por su parte, los estudios que buscan sustancias que permitan conservar el material seminal durante su almacenamiento, sin alterar las propiedades que lo hacen efectivo en el momento de ejecutar la inseminación artificial, tienen importancia en la comunidad científica (Raheja et al., 2018).

En el análisis de las publicaciones encontradas y caracterizadas en Scopus como las más relevantes, se evidencia que las investigaciones están dirigidas a la mejora de la calidad espermática y al incremento en las tasas de fertilidad y preñez exitosa, así como a las técnicas de preservación del semen. Por su parte, las publicaciones más citadas incluyen estudios sobre parámetros de calidad y fertilidad sobre el semen criopreservado. Para el sector ganadero colombiano, este tipo de publicaciones cobra importancia en el momento de desarrollar o investigar dichos factores, que permitan seleccionar el material seminal que garantice una transferencia efectiva y, por consiguiente, preñez. En este sentido, el laboratorio además de estar alineado con la tecnología que más se emplea para uso y conservación de semen, lo está con temas de frontera encaminados hacia la mejora de los protocolos y su ampliación hacia otras especies que han cobrado importancia económica en los últimos años, como es el caso de los búfalos.

Por último, el clúster de la figura 29 representa la asociación directa de las publicaciones de AGROSAVIA con los servicios de reproducción animal en producción de pajillas de semen bovino y producción *in vitro* de embriones bovinos. Se puede observar en la red de análisis un enfoque en el mejoramiento genético de razas criollas ("*creole breed's*"), como el Blanco Orejinegro y el Romosinuano, orientado a tópicos de diversidad y variabilidad en condiciones de las regiones intertropicales. Investigaciones en calidad seminal, suplementación dietaria, digestibilidad, inmunología y ganancia de peso complementan el clúster.



El clúster de color azul, que se presenta en la figura 30, reúne las generalidades del servicio de genotipado a gran escala con chips de array para especies animales y vegetales.



Para los sistemas productivos pecuarios, las herramientas genéticas contribuyen a la mejora en la salud animal, a la resistencia a patógenos y al incremento de la productividad, lo cual ha permitido dirigir esfuerzos científicos en torno al uso y a la orientación de las variantes genéticas hacia una mejora genética evidente, como en el caso de marcadores moleculares para detección de características productivas (Lin et al., 2020). Los estudios hasta ahora realizados han demostrado que las técnicas selectivas de ADN pueden acelerar la selección de los índices productivos, mediante la identificación de los principales genes que controlan los rasgos económicos en animales relacionados con producción y calidad de carne y leche, reproducción y conformación corporal (Anggraeni et al., 2020; Liu et al., 2020). En el caso colombiano, los parentales se seleccionan en función de los fenotipos, dada la escasez de datos de los rebaños, a pesar de que el mejoramiento genético se consolida como una importante oportunidad para lograr mayor productividad en la industria ganadera; por lo tanto, su aplicación y disponibilidad de estudios y herramientas de plataformas genómicas han sido una gran preocupación para los especialistas del sector (Martínez et al., 2016)

Si bien los análisis de genética molecular no están exclusivamente orientados a su aplicación en sistemas productivos pecuarios, sí se han realizado con estos diversas aplicaciones en Colombia, con la evolución de las tecnologías y los programas de mejora genética en bovinos (Campos Gaona et al., 2015; Vergara, 2012). En estudios vegetales también existen importantes avances tecnológicos con el uso de otras herramientas de secuenciación, las cuales han permitido dirigir estos análisis a un público mayormente académico, aunque su uso aún no sea ampliamente utilizado a nivel de laboratorio (Díaz Granados & Chaparro-Giraldo, 2012).

Conclusiones

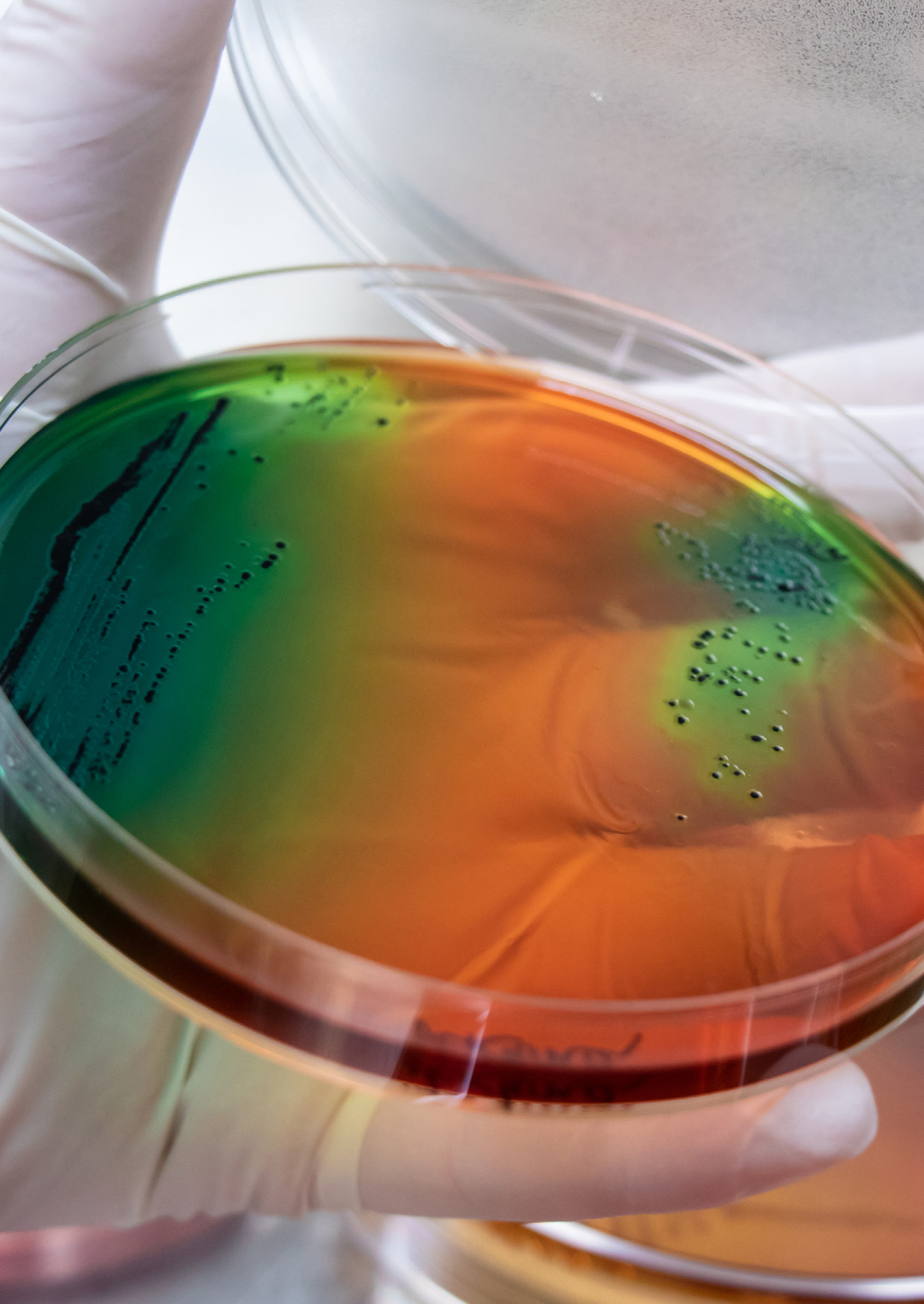
Los servicios de laboratorio dirigidos al sector pecuario constituyen un conjunto de soluciones tecnológicas en torno a los sistemas productivos que, al ser adoptados, permiten satisfacer las necesidades de los ganaderos en cuanto a actualización tecnológica, optimización de los procesos, obtención de productos de mejor calidad y de valor agregado, además de optimización del bienestar animal.

Uno de los principales desafíos para la agricultura en Latinoamérica es la adaptación a la degradación ambiental y variabilidad climática, mientras que al mismo tiempo se debe satisfacer la demanda de productos animales manteniendo los recursos naturales productivos (FAO, 2018a). Por esto, la contribución de los sistemas ganaderos tradicionales al alivio de la pobreza y al incremento de los ingresos económicos de la población rural se ha modificado en los últimos años, y ha llevado a la diversificación genética para proveer animales adaptables a los cambios climáticos, deficiencias alimentarias y resistentes a enfermedades (Hoffmann, 2014).

En suma, el análisis de las publicaciones encontradas y caracterizadas en Scopus como las más relevantes evidencia que las investigaciones están dirigidas a biotecnologías reproductivas como la transferencia embrionaria para selección e incremento de la fertilidad en el ganado en razas bovinas con altos valores en sus características productivas. Se destacan también aquellos estudios enfocados en la criopreservación de embriones y su rol clave en la implementación de biotecnologías reproductivas; asimismo, se encuentra la producción *in vitro* de embriones como la técnica más utilizada y cuyo fin en ambos casos es incrementar las tasas de fertilidad. Lo anterior coincide con el objetivo del servicio tecnológico, que busca ser una herramienta para los actores productivos que les permita optimizar los recursos productivos al realizar procesos de transferencia de embriones efectivos en vacas receptoras, al asegurar la preñez y el posterior desarrollo del ternero.

Los productos y servicios dirigidos al sector pecuario están alineados con las investigaciones realizadas en el resto del mundo, que tienen en común el objeto de impactar positivamente en los parámetros productivos ganaderos y su rentabilidad. Si bien el sector agropecuario tiene diversas demandas para ser resueltas, el laboratorio de reproducción animal de AGROSAVIA contribuye al beneficio de pequeños y medianos productores, al proveerles el acceso a recursos genéticos animales con marcada eficiencia de producción. De hecho, el uso de ganadería mejorada puede representar beneficios para la industria pecuaria y económicos en la cadena de valor (FAO, 2010; Moreno et al., 2007), así como tecnologías para garantizar la sostenibilidad ambiental de la ganadería sobre el uso del uso, y así evitar la manutención de animales vivos.





Este capítulo muestra cómo los resultados de proyectos de investigación contribuyen al desarrollo y a la materialización de soluciones tecnológicas como los servicios de laboratorios, responden a las demandas y ayudan a resolver necesidades y retos que enfrentan constantemente los actores del sector productivo agropecuario.

Introducción

El interés por el consumo de productos con alta calidad nutricional y funcional, sumado a la valoración de los consumidores por los cultivos con un menor impacto ambiental, ha llevado a priorizar procesos de investigación acerca del uso de productos de origen natural, como base para el desarrollo de tecnologías que favorezcan el rendimiento de los cultivos, pero que a su vez permitan disminuir los costos de cultivo y reducir la incidencia y resistencia de plagas de enfermedades a los productos de síntesis química (Kocira et al., 2020). De esta manera, se ha validado la forma como los avances tecnológicos *in vitro*, biotecnológicos y moleculares ayudan a mejorar la producción, la protección superior de las plantas, el envejecimiento y la mejora genética de los cultivos (Sau et al., 2021).

La biotecnología juega un importante rol en la conservación de diversas especies, tanto vegetales como animales, ya que permite controlar, manipular y optimizar la biosíntesis, la micropropagación, la biotransformación de componentes bioactivos, la conservación de células y órganos vegetales; es decir, ayuda a superar las limitaciones asociadas al rendimiento y a la

producción de los sistemas productivos (Nazir et al., 2021). Así, resulta oportuno el uso de la biotecnología y la bioprospección, como instrumentos tecnológicos resultado de los procesos de ciencia, tecnología e innovación para aprovechar la diversidad y los sistemas biológicos, y ponerlos al servicio de una agricultura sostenible que aproveche esta coyuntura en los mercados de los bioinsumos, aditivos funcionales para la alimentación animal, biorremediación de suelos y aguas, reproducción *in vitro* y semillas mejoradas (Cotes Prado et al., 2012).

Las perspectivas para enriquecer los suelos con insumos bioorgánicos, alterar la biología del suelo con prácticas culturales y manipular la rizosfera de las plantas mediante la inoculación de una cantidad definida de población microbiana benéfica son enormes, pues han mostrado impactos positivos en la producción de cultivos, una mayor resistencia y tolerancia de las plantas al estrés biótico y abiótico, inmunización de las plantas contra enfermedades y plagas, remediación y mejora en la fertilidad del suelo (Singh & Prabha, 2019). Sin embargo, aunque existe popularidad en el uso de bioproductos basados en microorganismos, cuya notoriedad ha incrementado debido a su reducida toxicidad, especificidad y seguridad para el cultivo, aún se enfrentan retos de mercado, regulación y comercialización que limitan su adopción y producción a mayor escala (Díaz García et al., 2019; Kumar et al., 2019).

Ahora bien, algunas plagas no pueden ser controladas con solo productos biológicos, porque no cumplen por completo las expectativas de los usuarios finales, que se basan principalmente en la experiencia con insecticidas químicos (Mascarín et al., 2019). Esta circunstancia se estima que representa entre el 20 % y el 40 % de las pérdidas de la producción a nivel mundial y que puede ser mitigada mediante el manejo integrado, el uso de bioplaguicidas y agentes de biocontrol (Rodríguez, 2017). Es justo en este punto donde las investigaciones para evaluar y validar el resultado y la acción en condiciones de campo de nuevos bioinsecticidas toman relevancia, en particular las evaluaciones de laboratorio desarrolladas a través del uso de crías masivas de los insectos plaga, obtenidas bajo condiciones controladas (Torres-Torres et al., 2020).

De forma similar, la micropropagación de plantas se ha desarrollado como un recurso comercialmente productivo debido a los beneficios que ofrece sobre las prácticas agrícolas tradicionales, al facilitar la producción de gran cantidad de plantas idénticas a su original, libres de enfermedades (Nazir et al., 2021). Además, la micropropagación cuenta con potencial de contribuir

en la generación de resultados a partir de resultados de investigación relacionados con los mecanismos genéticos de las plantas asociados con la biología de las plagas, resistencia a los insecticidas y transmisión de virus (Rotenberg et al., 2020). De esta manera, la producción de material vegetal *in vitro* representa una alternativa para crear bancos de semillas de alta calidad y satisfacer la demanda de productores por semillas, material vegetal y áreas productivas con variedades mejoradas y resistentes a diferentes factores como la sequía, el manejo del suelo y las enfermedades causadas por microorganismos y agentes patógenos (Nápoles et al., 2019).

Descripción de los servicios de laboratorio

Los servicios de laboratorio que serán analizados a continuación y que están disponibles en el portafolio de AGROSAVIA (véase: www.agrosavia.co) son el control de calidad de bioplaguicidas e inoculantes, cría de insectos lepidópteros de importancia agronómica con fines de investigación, secuenciación molecular de fragmentos y producción de plantas *in vitro*.

Secuenciación molecular de fragmentos. Este servicio se desarrolla con la metodología *Sanger*, la cual permite determinar el orden de los nucleótidos presentes en un fragmento de ADN, previamente amplificado por reacciones en cadena de la polimerasa (PCR). Con esta información es posible evaluar fragmentos de genes de interés productivo o sanitario de microorganismos o de cualquier especie animal, vegetal o en general, así como obtener datos necesarios para la identificación o caracterización genética de microorganismos de interés, realizar estudios genéticos comparativos, evaluación de estructura y diversidad genética, identificación de variantes asociadas con calidad agronómica o pecuaria y detectar mutaciones puntuales de lecciones, adiciones o inversiones.

Micropropagación de material vegetal. Es la producción de plántulas *in vitro* a partir de un segmento (yemas o meristemos), con lo cual se consigue el material genéticamente idéntico a la planta madre, con sistema foliar y radicular desarrollado, aclimatado a condiciones ambientales naturales y calidad fitosanitaria. Esto permite al productor tener un cultivo seguro, libre de virus, con un menor número de aplicaciones de productos químicos y, por consiguiente, con una mayor rentabilidad económica.

Cría y mantenimiento de lepidópteros de importancia agronómica. Es la producción de insectos del orden lepidóptero bajo condiciones controladas de humedad relativa, temperatura y fotoperiodo, los cuales son alimentados con dietas naturales, mediante el mantenimiento y la producción de pies de cría. Los insectos obtenidos pertenecen a especies de interés agronómico como *Tecia solanivora*, *Diatraea saccharalis*, *Spodoptera frugiperda* y *Helicoverpa zea*, porque ocasionan pérdidas económicas a los cultivos o a los productos agroalimentarios que se van a comercializar.

Las crías de insectos que se obtienen están libres de patógenos y presentan homogeneidad en sus características morfológicas, fisiológicas y nutricionales, condición que permite emplearlas como insumo estable para realizar investigaciones acerca de la producción de enemigos naturales y contribuir a la búsqueda de alternativas para manejo de plagas (control biológico, ecología química, feromonas).

Control de calidad de bioplaguicidas a base de agentes de control biológico.

Este servicio consiste en realizar el análisis microbiológico, fisicoquímico y biológico a bioinsumos desarrollados con agentes de control biológico como virus entomopatógenos, bacterias esporuladas u hongos biocontroladores. El análisis permite al fabricante tener el registro de venta del bioinsumo producido a partir de la calidad y eficiencia de acción en los cultivos.

El análisis busca determinar la concentración del principio activo (para hongos *Trichoderma koningiopsis*, *T. asperellum*, *T. koningii*, *T. harzianum*, *Beauveria bassiana*, *B. brogniartii*, *Metarhizium anisopliae*, *M. rileyi* e *Isaria fumosorosea*, y para bacterias *Bacillus amyloliquefaciens* y *Bacillus thuringiensis*) mediante recuento en cámara de Neubauer, el contenido de contaminantes, la evaluación de parámetros fisicoquímicos, que incluyen la determinación del pH, el tamaño de partícula y humedad. Para la actividad biológica sobre los insectos plaga, se cuenta con diferentes metodologías en condiciones de laboratorio e invernadero. Además, se realizan estudios de vida útil o estabilidad en diferentes condiciones de almacenamiento.

Control de calidad de inoculantes. Este servicio ofrece análisis microbiológico y biológico para productos a base de bacterias u hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA). En inoculantes a base de bacterias, se hace determinación y cuantificación de principio activo (*Rizobios* y *Azotobacter*

sp.), y la determinación de la pureza y la actividad biológica evaluada en condiciones de invernadero. En productos a base de HFMA, los análisis se centran en cuantificar esporas y el porcentaje de infección en raíces, así como en determinar la actividad biológica y los estudios de vida útil o estabilidad del producto bajo condiciones de almacenamiento. Con la información conseguida en el análisis de calidad, el productor de bioinsumos puede obtener el registro de venta del inoculante biológico.

Análisis de los clústeres

Los servicios relacionados con la investigación integran un conjunto de clústeres que se muestran en la figura 31, y que justamente son los temas más coincidentes con el objetivo de los servicios descritos. Así, se hace alusión al tipo de análisis, por ejemplo, los términos PCR y microorganismos en el caso de los análisis de genética molecular; patógeno, *Fungi* y *Fusarium*, que contextualizan el accionar de los servicios y las investigaciones dirigidas a microbiología agrícola, y lepidópteros, insectos, control biológico y bioensayos, que asocian las investigaciones en entomopatógenos y control de plagas a través de bioproductos.

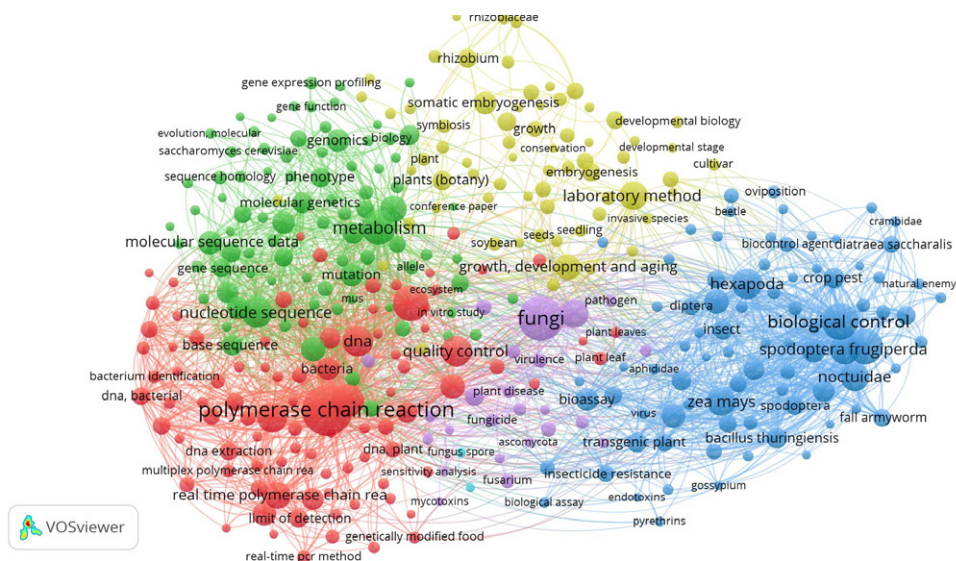


Figura 31. Estructura de red para los servicios orientados a la investigación.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopys

Las ecuaciones de búsqueda que dan origen a la figura 31 y al análisis individual de cada clúster (asociándolo a los servicios) se describen en la tabla 10.

Tabla 10. Ecuaciones de búsqueda para los servicios de laboratorio aplicables a la investigación

Servicio	Ecuación	Número de publicaciones encontradas
Servicios de laboratorio para el control de calidad de bioplaguicidas.	TITLE-ABS (("laborator* service*" OR "quality control" OR "quality enhancement" OR "laborator* analyze*" OR "laborator* test*") AND ("entomopathogenic biopest*" OR "biopest*" OR "entomopathogenic virus*" OR "fungi" OR "bacteri" OR "bioessa*" OR "biological activit*")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "AGRI"))	475
Servicio de producción y mantenimiento de cría de lepidópteros de importancia agronómica.	TITLE-ABS-KEY (("laborator*") AND ("beneficial insects" OR "biological control" OR "population dynamic" OR "crop pest" OR "entomology" OR "insect rear*" OR "insect breed*" OR "insect brood*" OR "breeding") AND ("Tecia solanivora" OR "Diatraea saccharalis" OR "Helicoverpa zea" OR "Spodoptera frugiperda"))	220
Servicio de secuenciación de fragmentos (Sanger).	TITLE-ABS (("laborato*" OR "laborator* service*" OR "laborator* analyze*" OR "laborator* test*") AND ("fragment sequenc*" OR "sanger methodolog*" OR "nucleotid* order*" OR "DNA fragment" OR "PCR method" OR "gene fragment" OR "comparative genetic studies" OR "structure evaluation" OR "functional genomic*" OR "point mutations")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "AGRI"))	804

(Continúa)

(Continuación tabla 10)

Servicio	Ecuación	Número de publicaciones encontradas
Servicio de micropropagación vegetal.	TITLE-ABS-KEY (("laborato*" OR "laborator* service*" OR "laborator* analyze*" OR "laborator* test*") AND ("plant micropropagation" OR "vegetative propagation" OR "large-scale plant micropropagation" OR "vegetal micropropagation" OR "vitroplant*" OR "organogenesis" OR "embryogenesis" OR "phytosanitary quality" OR "genetic homogeneity")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "AGRI"))	542
Servicio integral de control de calidad de inoculantes.	TITLE-ABS-KEY (("laborator*" OR "laborator* service*" OR "quality control" OR "quality enhancement" OR "laborator* analyze*" OR "laborator* test*") AND ("inoculant*" OR "bio-inoculant*" OR "bioinoculant*") AND ("arborescence mycorrhizal fungi" OR "arbuscular mycorrhizal fungi" OR "rhizobium" OR "azotobacter")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "AGRI"))	79

Fuente: Elaboración propia

En la figura 32a se evidencia que el análisis de laboratorio se basa en el insumo fundamental obtenido de la PCR, palabra que concentra las publicaciones entorno a estudios de genética molecular con 294 enlaces, fuerza total de enlace de 2.019 y 272 ocurrencias. Además, se encuentran los temas inherentes, por ejemplo, ADN y RNA, como herramienta base para procesos de mejoramiento genético de especies de interés para el sector agropecuario, pero también para la identificación específica de agentes causales de plagas o enfermedades en cultivos o animales. En ese sentido, se encuentran las investigaciones de secuenciación, en las cuales el objeto de estudio son las plantas y los microorganismos (*bacterial gene*, *bacterium culture*, *viruses*), como factores decisivos en procesos de seguridad alimentaria, estudios de validación y estándares de referencia.

Contar una base genética de variedades ampliamente utilizadas en sistemas productivos y emplear marcadores genéticos en programas de mejoramiento es una estrategia de investigación para el mejoramiento eficaz de la resistencia a largo plazo a patógenos fúngicos variables (término *fungi* en el clúster violeta) y un instrumento que ayuda a incrementar el rendimiento de los cultivos expuestos a cambios climáticos (Chaudhary et al., 2020; Dubina et al., 2020).

Sibien la mayoría de las publicaciones se relacionan con contenidos agrícolas, la genética molecular tiene un amplio uso en el sector pecuario, lo cual orienta las investigaciones a la mejora genética de especies animales e información sobre enfermedades que afectan las poblaciones de animales de interés productivo (Meekins et al., 2020). Las metodologías de secuenciación integrales serán fundamentales para identificar instancias de evolución molecular de virus, en particular las alteraciones que tienen efecto en los ensayos de diagnóstico, la virulencia o compatibilidad, que pueden incidir positivamente en las estrategias para el desarrollo de vacunas y herramientas de diagnóstico y control.

De esta manera, es importante resaltar la relación específica de la genética molecular para el análisis de especies pecuarias, especies agrícolas y microorganismos. Algunas de las especies que han sido objeto de investigación en las publicaciones de AGROSAVIA son: cítricos, uchuva, tomate, papa, ganado bovino, yuca, frijoles, tomate de árbol, lulo, entre otros. Estos sistemas productivos son prioridad para las cadenas productivas, la seguridad alimentaria y la competitividad del sector agropecuario. En cadenas pecuarias, la investigación en mejoramiento genético, las investigaciones se relacionan con ganadería bovina, sistemas de carne y leche, avicultura y porcicultura. La figura 33 representa las publicaciones de AGROSAVIA y relacionadas con los servicios de análisis en torno a genética molecular; se encuentran términos clave como variabilidad genética, diferenciación genética, análisis filogenético, expresión genética, genotipado, secuenciación genética, marcadores moleculares, marcadores microsatelitales, genomas completos, metagenómica, genómica, marcadores genéticos, estructuras poblacionales, etcétera.



En el clúster de color amarillo (figura 34), sobresale el término *laboratory method*, con 92 ocurrencias, 198 enlaces y una fuerza total de enlace de 624. Esto se traduce en el enfoque principal de las publicaciones de producción vegetal, que está relacionado con los elementos para hacer la micropropagación *in vitro* (a partir de brotes, yemas, explantes, callos y demás tejido celular), aprovechando la totipotencia de especies vegetales. Con esta última, en condiciones controladas de nutrientes (hormonas), temperatura y luminosidad, se desarrollan medios de cultivo específicos para propagar plántulas como material de siembra homogéneo, de calidad fitosanitaria para el posterior aprovechamiento de su biodiversidad, especialmente con fines agrícolas, industriales y medicinales. Un ejemplo de la experimentación alrededor

de la optimización y especialización de la micropropagación es lo que desarrollan Haque et al. (2015), quienes evaluaron la eficiencia en protocolos de inducción de callos y regeneración de plántulas de cebada empleando nitrato de plata y aminoácidos.

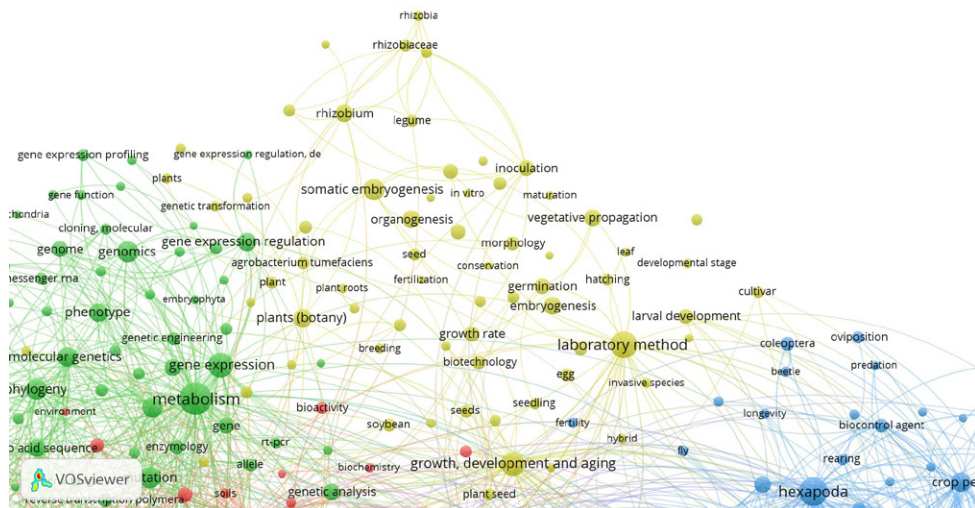


Figura 34. Clúster asociado a micropropagación vegetal.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus

Uno de los problemas más relevantes en los procesos de micropropagación es la contaminación de las plántulas por la presencia de microorganismos en los medios de cultivo, los cuales limitan su crecimiento y, por su puesto, su calidad fitosanitaria. Existe una diversidad de publicaciones relacionadas con el análisis de las técnicas para el desarrollo de cultivos de tejidos, en los cuales es primordial el control del crecimiento de patógenos que limiten el crecimiento de los brotes de las plántulas en los medios de cultivo, además del interés por los aislamientos celulares. Así lo desarrollaron Tekielska et al. (2019), quienes al emplear técnicas de secuenciación de ADN identificaron bacterias contaminantes en cultivos *in vitro* de laboratorios comerciales.

Junto a las técnicas de micropropagación están las publicaciones que se enfocan en la comprensión de la fisiología alrededor de semillas, del establecimiento de condiciones óptimas de temperatura, la fertilización/nutrición y la maduración, que hacen viable su germinación y la producción de material de siembra

adecuado para posterior siembra en ambientes extremos de humedad, temperatura, suelos degradados y demás factores que afectan su productividad, reproducción o cualquiera que sea el rol esperado para el que son multiplicadas. Hazarika (2006) afirmaba que el desarrollo de un protocolo de trasplante exitoso parte de la comprensión de la fisiología de las plantas cultivadas *in vitro* y los cambios que sufren durante el proceso de endurecimiento, por lo cual se deben aclimatar las plántulas con varios métodos.

Identificar los mecanismos por los cuales se potencializa el recurso biológico de las plantas permitirá, entre otras cosas, el diseño de alternativas para el control de especies invasoras, la adaptación de especies en ambientes extremos (áridos o húmedos) o simplemente la conservación de especies sobre las cuales existe interés de bioprospección (Jeziorek et al., 2019). Los estudios relacionados con la adaptación de cultivos en zonas con condiciones adversas a partir de la multiplicación de vitroplántulas se han vuelto más relevantes, pues los suelos tienen ahora menor disponibilidad de nutrientes y es más evidente el impacto en los cultivos por la variabilidad y el cambio climático (Haque et al., 2015; Hazarika, 2006).

De esta forma, se resaltan publicaciones en las que se evaluaron diferentes técnicas de propagación que ayudan a mantener jardines clonales para el posterior establecimiento del cultivo de olivo en una zona caracterizada por sus bajas temperaturas (Wulff Schuch et al., 2019), así como una en la que se estudiaron las especies vegetales para la producción de compuestos bioquímicos, donde se empleó un cultivo *in vitro* de raíces de *Cynoglossum columnae* para el aislamiento de naftoquinonas, conocidas por su efecto antiparasitario, antibacteriano, antifúngico y anticancerígeno (Jeziorek et al. 2019).

Con respecto a las publicaciones de cría de insectos (figura 35), los términos que sobresalen en este clúster están relacionados con estudios sobre control biológico de plagas en cultivos de interés, como *Diatrea saccharalis* o *spodoptera*, a pesar de que el término biológico control tiene un destaque principal al contar con 171 enlaces, 1.103 de fuerza total de enlace y 146 ocurrencias. La interacción más clara de este clúster con los demás es que emplea agentes de biocontrol, por ejemplo, hongos entomopatógenos, como medida de control más sostenible ambientalmente. Entre estos hongos se encuentra la cepa de *Beauveria bassiana* sp. en el uso contra diferentes etapas larvarias de insectos lepidópteros (Wakil et al., 2020).

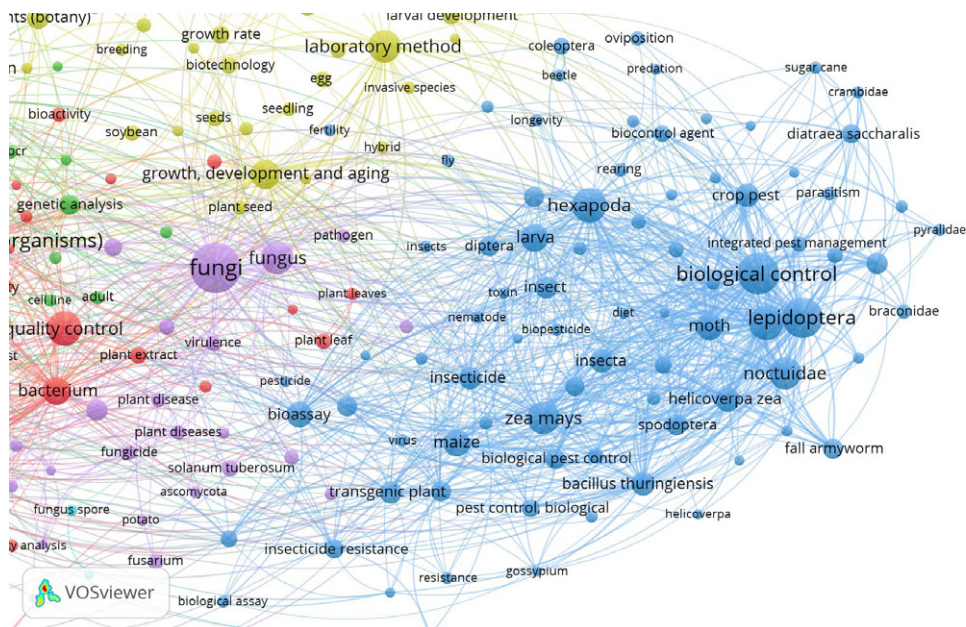


Figura 35. Clúster asociado a cría de insectos.
Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus

En el país, los estudios básicos sobre comportamiento de insectos provienen de la comunidad académica; sin embargo, el servicio de laboratorio pretende ir más allá de esto, a través del suministro de la cría de insectos a los investigadores, como insumo necesario para llevar a cabo las investigaciones asociadas a la aplicación práctica del comportamiento del insecto. Esto, con el propósito de analizar su impacto en el cultivo y los umbrales de daño, y con base en ese saber fusionar los conocimientos sobre insectos benéficos y plagas para llegar a un controlador biológico efectivo y rentable en el uso agrícola.

En cuanto a la relación de las publicaciones de AGROSAVIA y los servicios de laboratorio, los análisis en los clústeres 2 y 3, representados en la figura 36, comprenden investigaciones relacionadas con entomología agrícola, específicamente en hemípteros y lepidópteros.

En el paisaje científico de los microorganismos biocontroladores (figura 37), se destaca el término *Fungi*, con 260 enlaces, 217 ocurrencias y una fuerza total de enlace de 1.085. Además, sobresalen las investigaciones alrededor del tema de suelo como fuente principal de estos microorganismos, medio en el cual existen múltiples interacciones entre factores biológicos, químicos y físicos. Así, múltiples investigaciones en virus entomopatógenos se han desarrollado en bioensayos que tratan de simular condiciones de suelo. Estos experimentos proporcionan información útil, pero tienden a extrapolar los resultados y se deben verificar en condiciones *in situ* los fenómenos observados *in vitro*, de acuerdo con Nannipieri & Ceccanti (2017). De ahí radica la importancia de realizar de forma articulada y consecuente estudios de laboratorio y de campo, que permitan proporcionar oportunamente visiones técnicas pertinentes desde la microbiología, la agronomía o la pedología, según corresponda. En este punto, es importante mencionar que los procesos de I+D realizados en AGROSAVIA, y que tienen como objeto de estudio los microorganismos, frecuentemente involucran ensayos de laboratorio y pruebas de campo, pues la corporación dispone de un equipo de investigadores expertos en temas asociados con la microbiología, el suelo y la fitosanidad.

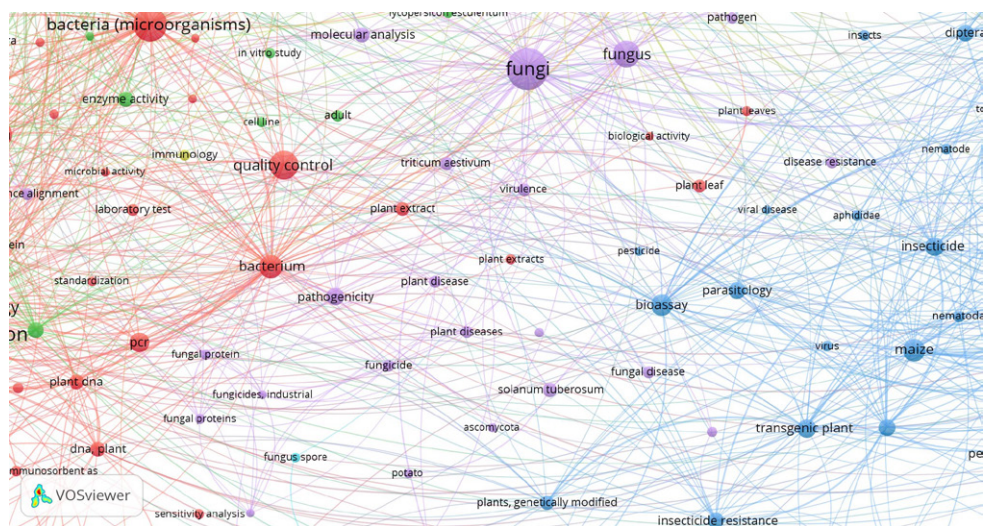


Figura 37. Clúster asociado a microorganismos biocontroladores.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus

Con respecto a los estudios del comportamiento de los entomopatógenos, los resultados de la vigilancia tecnológica para el control de calidad de bioinsumos obtenidos a partir de hongos, virus y bacterias están relacionados con la identificación y el establecimiento de condiciones óptimas para el crecimiento, la reproducción y el comportamiento de cada uno de los insectos o microorganismos. Estos se estudian usualmente con la intención de generar el conocimiento base para el desarrollo de alternativas de control a partir de su comportamiento en el orden taxonómico de insectos lepidópteros, coleópteros, hemípteros y dípteros, los cuales ocasionan daños al follaje y la transmisión de enfermedades, principalmente. De hecho, las publicaciones a partir de 2010 relacionadas con hongos entomopatógenos tienen como objeto de estudio la virulencia de estos microorganismos en condiciones de laboratorio; así lo evaluó Ashour (2019) empleando *B. bassiana* y *M. anisopliae* para el control de un coleóptero.

Continúan siendo de gran relevancia para las investigaciones en control biológico el *M. anisopliae* y *T. harzianum* para el control de plagas y enfermedades en diferentes cultivos de importancia económica. En este sentido, el servicio de laboratorio está actualizado con respecto a los microorganismos empleados como objeto de investigación y, sobre todo, para el análisis de la calidad de bioinsumos producidos a base de estos agentes de control biológico. De igual forma, estas investigaciones buscan comprender el comportamiento de los patógenos y sus niveles de mortalidad en diferentes dosis y exposición a pesticidas, toxinas y bioplaguicidas.

Los estudios también se centran en los procesos bioquímicos que se presentan durante las interacciones patógeno-planta y biocontrolador-patógeno. Con la información recogida es posible desarrollar opciones sostenibles para disminuir las pérdidas económicas en los cultivos y la contaminación de los ecosistemas por aplicaciones de productos de síntesis química, como lo evaluaron Anjum et al. (2019), quienes emplearon *Trichoderma* y *Bacillus* como agentes antagonistas de *Phytophthora drechsleri*, el cual causa la pudrición de raíz en el cultivo de melón.

Asimismo, muchos estudios consideran de gran importancia ecológica la actividad biológica en el suelo, el impacto de los insumos agrícolas en los organismos del suelo, la producción natural de enzimas para la degradación

de insectos y el uso de herramientas tecnológicas como la biología molecular para la identificación de especies de patógenos y entomopatógenos.

Con respecto al tema de condiciones de laboratorio, la vigilancia resalta las técnicas empleadas para desarrollar el ambiente propicio para la producción en masa de los hongos, los virus y las bacterias entomopatógenos, específicamente medios de cultivo y sustratos. Además, se estudian las técnicas para el aislamiento de aceites esenciales (feromonas) de diferentes especies vegetales, como biocontroladores de insectos. Para dichas técnicas, se investigan particularmente compuestos bioquímicos y moléculas que actúan como controladores de los patógenos, con el fin de lograr el aislamiento para su posterior síntesis en condiciones de laboratorio.

El impacto en el control de patógenos a partir del aislamiento de compuestos bioquímicos se evidencia en el paisaje científico alrededor de las bacterias entomopatógenas. En el clúster, se observa la cercanía entre este tipo de estudios y la producción de biopesticidas en condiciones de laboratorio para adelantar formulaciones y preparaciones con distintas dosis de los productos que posteriormente son probados a través de los niveles de infección y virulencia sobre los patógenos. Lo anterior es similar a lo que proponen Hock et al. (2019) con el estudio del mecanismo de acción de *B. subtilis* en el control de mildiu en cultivos de vid y su interacción con los compuestos bioactivos para la protección de las plantas. Se ha incursionado en el uso de la morfología, la formación de esporas y herramientas como la biología molecular, para promover la producción de biomoléculas en las bacterias y que por ende actúan con mayor eficacia en los patógenos (Eski et al., 2015).

Los estudios identificados en la vigilancia tienen que ver con el análisis del comportamiento de los microorganismos en la rizosfera, en diferentes plantas hospedero o condiciones experimentales, bajo las cuales se desarrollan inoculantes para su posterior comercialización y con el fin de favorecer en campo la fijación de nitrógeno en suelo, lo cual se considera un complemento de la fertilización con productos orgánicos. A esto se suma el efecto antagónico de los inoculantes frente a patógenos del suelo, experimentación realizada por Singh et al. (2010) en uno de los estudios relevantes como resultado de la ecuación de búsqueda, en el cual, bajo diferentes aplicaciones de fertilizantes químicos y bioinoculantes, se incrementaron significativamente

los rendimientos del cultivo de fresa y la disponibilidad de nitrógeno y fósforo. Además, se consideran importantes los estudios de inoculación de semillas de cultivos de leguminosas con *rhizobios* para propiciar con mayor eficacia la simbiosis. Esta última, de acuerdo con Rocha et al. (2019), se convierte en una tecnología pertinente para los sistemas agrícolas que emplean bajos insumos, para la búsqueda de beneficios ambientales y la mejora en la calidad de los alimentos.

Finalmente, las investigaciones en virus, hongos y bacterias realizadas por AGROSAVIA se relacionan específicamente con la microbiología agrícola. Para la temática de virus, los estudios se orientan al análisis y a la formulación de bioplaguicidas para el control de insectos plaga; algunos ejemplos son los baculovirus, específicamente los granulovirus. Las investigaciones en hongos tienen por objetivo el análisis de biopesticidas para control biológico de plagas y enfermedades, como una alternativa para el manejo del cultivo; por su parte, las relacionadas con bacterias se enfocan en el análisis de rizobacterias del suelo. Estas investigaciones son coherentes con los servicios de laboratorio de AGROSAVIA, las cuales tienen como objetivo prestar el servicio integral de control de calidad de bioplaguicidas a base de hongos, bacterias y virus.

En ese sentido, es importante destacar que muchas de las preguntas de investigación de los estudios analizados resultado de la ecuación de búsqueda están relacionadas con la exploración de alternativas para dar respuesta a necesidades de los consumidores de productos alimenticios y agroindustriales, quienes demandan bienes y servicios con mejores condiciones sanitarias y sostenibles para el medio ambiente.

Los temas de frontera de las investigaciones en microbiología evidencian la importancia de articularse con otras redes de laboratorios y expertos, nacional e internacional, que permitan el uso de técnicas innovadoras y el desarrollo de validaciones para mejorar los procesos de diagnóstico de agentes causales de problemas fitosanitarios, como la biología, la genética molecular y la entomología, a través de la prestación de servicios de laboratorio.

La producción de material vegetal y semillas debe mejorar los procesos de diagnóstico de la calidad genética, fisiológica o física en diferentes especies productivas, información con la cual es posible tomar decisiones para el establecimiento de los cultivos y las proyecciones del manejo agronómico y, en general, sobre los rendimientos esperados de los cultivos. En ese sentido, y resaltando los conocimientos tradicionales y la diversidad genética, es importante crear y fortalecer interacciones con los actores del sistema nacional de semillas, en especial con comunidades indígenas y agricultores en procesos de I+D+i (Chacón & García, 2016).

El estudio de probióticos, biocontroladores e inoculantes, fundamentado en las colecciones que existen en los bancos de germoplasma, ha permitido desarrollar bioinsumos para aplicación en diferentes sistemas productivos; por consiguiente, deben ser considerados como una solución a las necesidades del sector, basados en el conocimiento, la conservación y el aprovechamiento de los microorganismos. Lograr el incremento en la adopción de estos productos requiere un esfuerzo en la generación de estrategias para la transferencia de tecnología en diferentes tipologías de actores involucrados e interesados en difundir con mayor asertividad sus beneficios económicos y ambientales en los sistemas de producción agropecuaria.

Por último, en el desarrollo de procesos de investigación asociados al control de calidad de los bioplaguicidas, es importante mencionar la necesidad de emplear estos resultados en escala industrial para su producción en condiciones controladas y en proporciones que permitan su disposición constante en los mercados y el acceso de los productores agropecuarios. Adicionalmente, se evidencia una permanente orientación a la identificación de moléculas potenciales (aceites esenciales) como bioplaguicidas y los impactos que puede ocasionar la permanencia de los microorganismos entomopatógenos en el suelo y sus efectos en la actividad biológica de este.



Capítulo V

Lineamientos estratégicos para los servicios tecnológicos de laboratorio de AGROSAVIA

El objetivo de este capítulo es implementar la metodología *technological roadmapping*, que se presentó en el primer capítulo, para el diseño de la hoja de ruta del fortalecimiento de los servicios tecnológicos de AGROSAVIA.

Introducción

La disponibilidad de servicios tecnológicos para el sector agropecuario por parte de AGROSAVIA es el resultado de la apuesta al mejoramiento y a la actualización de su infraestructura tecnológica (equipos, instalaciones y áreas de trabajo), a la adaptación e incorporación de nuevas técnicas de análisis y al fortalecimiento de su recurso humano especializado en diferentes disciplinas como bioinformática, biología molecular, entomología, biotecnología, mejoramiento genético, bioestadística, bioquímica y demás áreas con las cuales es posible la innovación para el desarrollo de soluciones tecnológicas. Esto último también permite generar la vocación múltiple de las unidades de laboratorio, no solo hacia el acondicionamiento de servicios tecnológicos para los actores del SNIA, sino también como instrumento base para avanzar en la agenda de investigación para el sector agropecuario nacional. Así, este capítulo busca integrar los resultados de los capítulos segundo, tercero, cuarto y quinto para el diseño de una hoja de ruta general para el fortalecimiento estratégico del modelo de laboratorios de AGROSAVIA, el cual puede ser replicado por otros actores del SNIA.

La sinergia entre investigación, servicios de laboratorio y actores del SNIA son el objeto de las posibles rutas o caminos para fortalecer y posicionar el accionar de AGROSAVIA en su rol como motor, actor y soporte del SNIA. En la figura 39, se presenta un análisis macro de la potencial hoja de ruta para la prestación de servicios tecnológicos de laboratorio, a partir del estado actual y las perspectivas tecnológicas desarrolladas en este capítulo.

La estructura del *roadmap* comprende la interacción de recursos de base (recuadros en verde) y los servicios tecnológicos que actualmente oferta AGROSAVIA como centro de investigación (recuadro rojo), a partir de las tecnologías (equipos, técnicos, instrumentos e insumos) disponibles (recuadro azul). De manera complementaria, en función del análisis realizado en el segundo capítulo, se incluyen los servicios tecnológicos potenciales (recuadro rojo segmentado) que se podrían ofertar a través de la interacción con referentes nacionales y latinoamericanos, lo que implica procesos de transferencia, adopción y apropiación de nuevos conocimientos y tecnologías (recuadro azul segmentado).

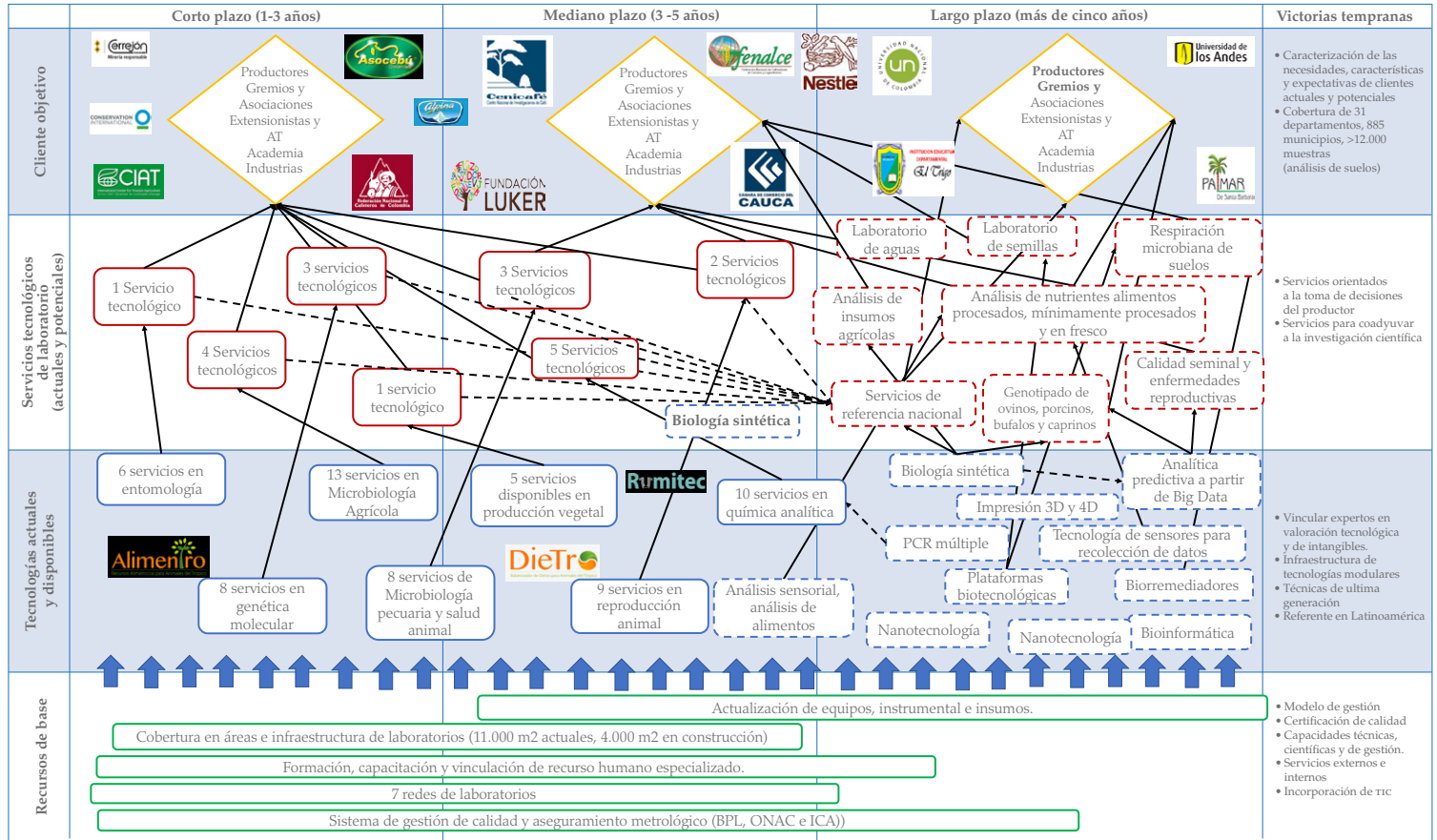


Figura 39. Roadmap global de servicios de laboratorio de AGROSAVIA.

Fuente: Elaboración propia

Las interacciones entre estos cuatro elementos se realizan a través de conectores de flujo que representan interacciones intercapas (línea continua) e interacción intracapas (línea segmentada). A continuación, se explica cada una de las capas de la hoja de ruta integrada

- Capa 1. Recursos disponibles (infraestructura y recursos humanos): esta capa es la base de la hoja de ruta, en la cual se establecen los recursos actuales con los que se cuenta para la prestación de los servicios tecnológicos actuales, la prestación de servicios futuros y la proyección de los requerimientos necesarios para esto. Se destaca principalmente mantener la dinámica de crecimiento descentralizado de la infraestructura de laboratorios en los territorios donde se diseñan y ejecutan proyectos de investigación; el fortalecimiento de capacidades científicas y tecnológicas del recurso humano en el uso de tecnologías, implementación de protocolos de medición y diseños experimentales; el fortalecimiento de las unidades especializadas (redes de laboratorio temáticas), que integran capacidades para la prestación de servicios en tópicos afines, y el robustecimiento de la calidad de los análisis a través de la implementación y certificación de normas técnicas nacionales e internacionales. Esta capa cuenta también con una proyección de hitos clave que permiten garantizar el crecimiento de los recursos: 1) contar con un modelo de gestión de laboratorios que permitan armonizar las funciones de servicios a terceros y que soporten los procesos de investigación; 2) mantener el registro de calidad por entes certificadores nacionales e internacionales, y apostar por el reconocimiento como laboratorio nacional de referencia en los diferentes servicios tecnológicos ofertados; 3) fortalecer las capacidades técnicas (instrumentalistas, auxiliares, analistas), científicas (investigadores en niveles de formación de maestría y doctorado) y de gestión (coordinadores de unidad, metrólogos y gestores de calidad), y 4) incorporar tecnologías de la cuarta revolución industrial, como computación en la nube, *blockchain*, gamificación, realidad virtual, realidad aumentada, analítica de grandes volúmenes de dato, gestión remota de datos de laboratorio, cuadernos electrónicos de laboratorio, entre otros.
- Capa 2. Tecnologías actuales y disponibles: en esta capa, se consigna la capacidad actual en servicios de análisis de laboratorio que puede desarrollar la institución, contemplando las tecnologías adquiridas y los protocolos, las metodologías y los procedimientos aprobados y certificados. Asimismo, se integran en función del tiempo tecnologías que podrían ser incorporadas de manera paralela al mejoramiento de la

infraestructura física, la formación de capacidades del recurso humano y el fortalecimiento de las unidades de análisis en red. Un aspecto clave que permita la adquisición y adopción de tecnologías es contar con procesos previos de valoración tecnológica e intangibles, que contribuyan a definir los criterios de priorización y elección de las tecnologías y los protocolos en sinergia, con el conocimiento científico-tecnológico de investigadores y personal del laboratorio. Como complemento al modelo de gestión, se debe adoptar y extender el concepto de unidades modulares que permitan su despliegue, la interconexión y el uso en procesos de investigación y servicios que demanden diferentes servicios tecnológicos. El hito es pasar de ser un referente nacional en servicios y soporte a la investigación a ser un referente latinoamericano en su modelo de gestión.

- Capa 3. Servicios tecnológicos: en esta capa, se configura el portafolio de servicios actuales que han sido reconocidos como los de mayor cobertura e interés por parte del público objetivo externo. Estos servicios en el mediano plazo deben ser servicios de referencia nacionales, que contribuyan a garantizar la trazabilidad de los análisis de otros laboratorios y que acompañen procesos de verificación de diferente naturaleza. La interacción entre esta capa y la capa 2 recae en la adopción de tecnologías y protocolos que permitan fortalecer servicios tecnológicos existentes y diseñar nuevos servicios tecnológicos. Los hitos que se destacan en esta etapa son la orientación de la toma de decisiones al productor agropecuario a través de servicios con calidad, trazabilidad y oportunidad, y los servicios que contribuyen a la generación de nuevo conocimiento científico.
- Capa 4. Nichos de mercado: de acuerdo con el rol de AGROSAVIA en el marco del SNIA, su accionar misional se orienta al productor y a su cliente; sin embargo, los impactos positivos de sus proyectos y resultados de I+D+i permean a otros actores como gremios, extensionistas, academia y empresa privada. Estos actores directos e indirectos pueden tener roles de aliados, clientes o proveedores, que cambian en el horizonte de tiempo y contribuyen a la generación y transferencia de conocimiento, fortalecimiento de capacidades y articulaciones horizontales y verticales.

Teniendo en cuenta que el objetivo del *roadmap* es establecer una mirada general de las interacciones de las capas y los elementos que lo conforman, el diseño de las rutas específicas acorde con la situación actual, intereses y proyecciones depende del equipo científico y estratégico de las unidades de

laboratorio. Para cada horizonte de tiempo, se esbozan tres rutas genéricas que pueden ser guía para el diseño de rutas más especializadas.

- Ruta 1. Consolidación en el corto plazo (Cp): esta ruta contempla el fortalecimiento de los servicios tecnológicos de laboratorios de la capa 3, a partir del sostenimiento de su línea de base en la capa 1, para orientar de manera específica y diferenciada a los clientes actuales, acorde con sus necesidades y expectativas (capa 4). Para esto, se cuenta con la victoria temprana de un estudio de mercado detallado de las perspectivas por tipo de cliente.
- Ruta 2. Diversificación en el mediano plazo (Mp): esta ruta contempla la incorporación de nuevas técnicas y nuevos equipos tecnológicos para fortalecer los servicios tecnológicos actuales de laboratorio y de manera paralela consolidar servicios de laboratorio disponibles por demanda en servicios tecnológicos de laboratorio de oferta continua. Para esto, se cuenta con la victoria temprana de un plan estratégico de fortalecimiento, la configuración modular de la infraestructura de laboratorio y la necesidad identificada de vinculación de expertos en valoración de tecnologías e intangibles. Esto lleva a diversificar por servicio los tipos de cliente.
- Ruta 3. Empuje tecnológico de largo plazo (Lp): esta ruta busca que las técnicas, los equipos y los desarrollos científico-tecnológicos relacionados con servicios de laboratorio para la investigación y para la comunidad permitan el diseño de nuevos servicios tecnológicos, la conformación o reconfiguración de nodos de laboratorio y el fortalecimiento de la línea de base. Esto permite incrementar la cobertura por nicho de mercado geográfico y por tipología de cliente.

Para los servicios, se debe considerar la base científica y tecnológica disponible en la actualidad como punto de partida para favorecer el desarrollo de procesos oportunos de diagnóstico fitosanitario; esto, empleando técnicas de biología y genética molecular, orientadas principalmente a gremios, asociaciones y, por supuesto, productores, quienes requieren este tipo de instrumentos para la toma de decisiones apropiada en el mantenimiento de sus cultivos y en el incremento de sus rendimientos.

Es importante apostar por la promoción del uso sostenible de la agrobiodiversidad a través de la disposición de materiales de siembra con atributos específicos para la adaptación de los cultivos a las condiciones de los ecosistemas, como resultado de la variabilidad y el cambio climático (suelos degradados, plagas y enfermedades, etcétera), además de las demandas en términos nutricionales.

Algunas de las apuestas de los servicios pecuarios deberían enfocarse en la articulación de los eslabones de producción primaria, distribución, transformación y restauración para reducir los riesgos por contaminación microbiológica de los alimentos, bien sea por el uso de agua, insumos o herramientas que no cumplan con la normatividad de inocuidad. De esta manera, es importante considerar en primera instancia los servicios agrícolas dentro de un equipo de trabajo multidisciplinario, el cual estudie, desarrolle y fomente en toda la cadena agroalimentaria mejores prácticas agrícolas y manufactureras, así como el diagnóstico de microorganismos causantes de enfermedades en humanos a partir de la biología molecular.

Uno de los principales retos de las investigaciones futuras debe estar dirigido hacia la investigación aplicada, con el fin de mejorar las tecnologías de producción y modernización agrícola que contribuyan al crecimiento de la productividad agropecuaria, y de garantizar la sostenibilidad ambiental. Otro reto es contribuir a la eficiencia en el uso de fertilizantes y pesticidas a partir del diagnóstico de la eficiencia, para promover los sistemas de rotación de pasturas. En la siguiente sección, se presentan algunas rutas específicas tipo.

Rutas tipo

Cada uno de los servicios tecnológicos de laboratorio analizados para el centro de investigación y confrontados con las dinámicas del entorno generan elementos clave que permiten identificar la brecha que existe y la posible ruta de acción para cerrarla. A continuación, se describen específicamente los elementos de futuro sobre cada uno de los servicios contrastados entre las tendencias mundiales y su aplicación en el centro de investigación.

Control de calidad de bioplaguicidas a base de virus. Uso articulado de técnicas de bioprospección, biología molecular, microbiología y entomología, las cuales garanticen el desarrollo de servicios que consideren las condiciones biológicas, físicas y químicas del medio donde se desarrollan los cultivos. Asimismo, desarrollo de estudios que involucren los sistemas de conservación y producción de los bancos de germoplasma para el aprovechamiento de especies de microorganismos de interés con atributos deseables (figura 40).

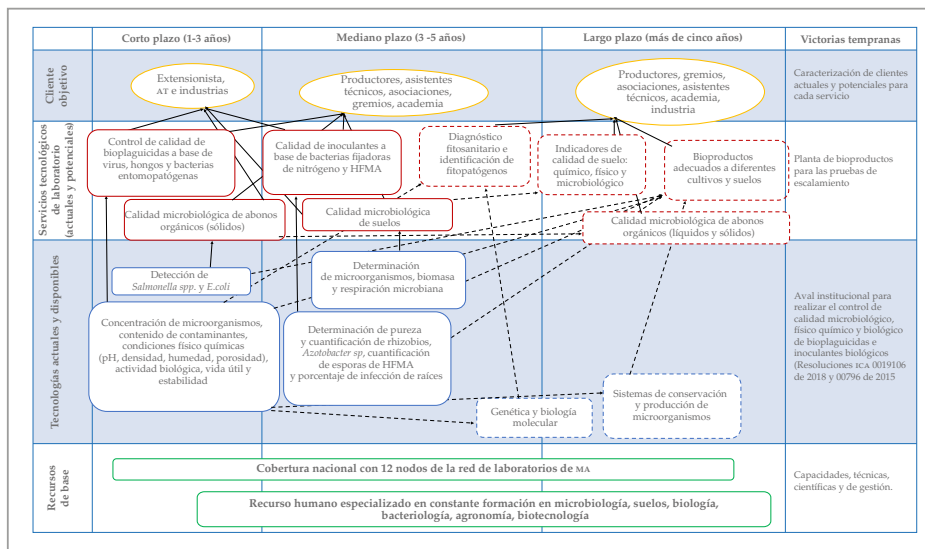


Figura 40. Hoja de ruta tipo - bioplaguicidas.

Fuente: Elaboración propia

Producción y mantenimiento de crías de lepidópteros. Articulación entre los servicios de cría y aquellos asociados a bioplaguicidas y genética, que propendan al desarrollo de conocimiento acertado sobre el comportamiento biológico de los insectos bajo aplicaciones de controladores biológicos entomopatógenos y entomófagos (figura 41).

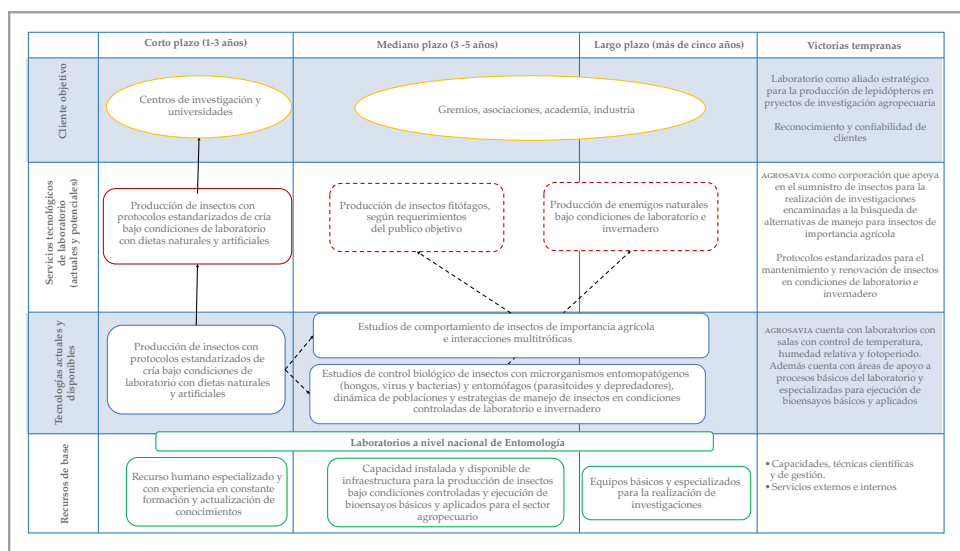


Figura 41. Hoja de ruta tipo - entomología.

Fuente: Elaboración propia

Micropropagación vegetal. Implementación de la multiplicación vegetal a través de técnicas que favorezcan el estudio de su desarrollo fisiológico y adaptación a condiciones extremas antes de ser establecidas en campo. Con esto se contribuye, entre otras cosas, a reducir las pérdidas de los cultivos y evitar la aplicación excesiva de fertilizantes y enmiendas orgánicas (figura 42).

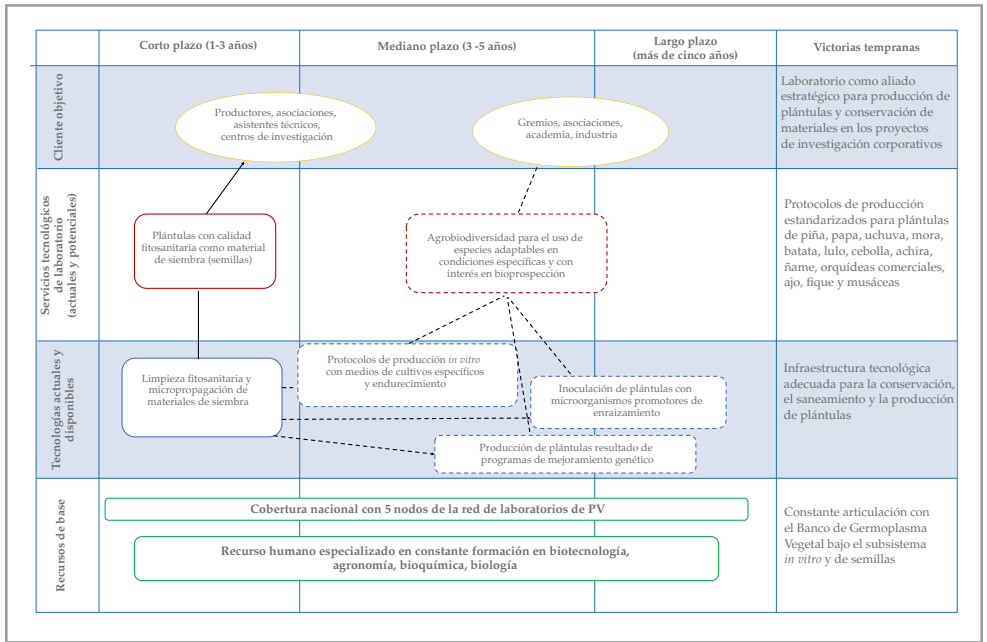


Figura 42. Hoja de ruta tipo - micropropagación vegetal.
Fuente: Elaboración propia

Secuenciación de nueva generación. Fortalecer los equipos y procesos de identificación de expresiones diferenciales de genes y de mutaciones no deseables, principalmente en animales; esto aunado a las tendencias de edición génica, entre otras, que favorezcan la predicción de los comportamientos de las especies bajo condiciones de interacción con otros individuos y con el medio ambiente (figura 43).

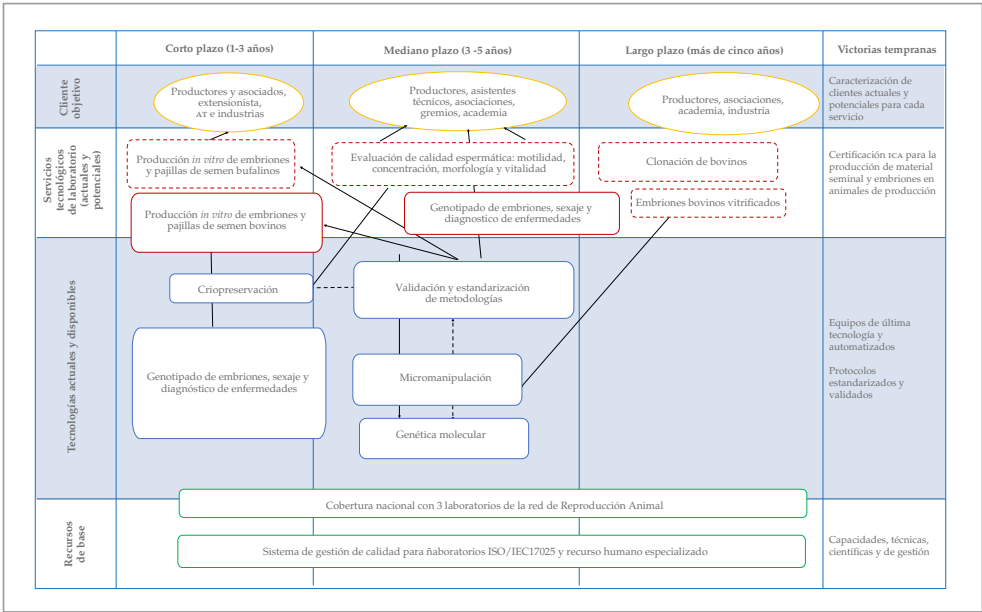


Figura 43. Hoja de ruta tipo - genética.
Fuente: Elaboración propia

Producción *in vitro* de embriones bovinos. Fortalecer la producción *in vitro* de embriones, teniendo en cuenta el beneficio que otorga a pequeños y medianos productores gracias al acceso a recursos genéticos animales de marcada eficiencia de producción y rentabilidad. Esto, consecuentemente, se ve reflejado en mayores ingresos económicos y contribuye a garantizar la sostenibilidad ambiental de la actividad ganadera sobre el uso del suelo (figura 44).

Determinación de calidad higiénica, composicional y sanitaria de leche cruda. Fortalecer la estandarización de técnicas para determinar la calidad microbiológica de leche bovina, las cuales podrían ampliarse a otras fuentes de leche cruda, como cabras y ovejas. Además, considerar el desarrollo de tecnologías que permitan identificar adulterantes y contaminantes en este tipo de alimentos.

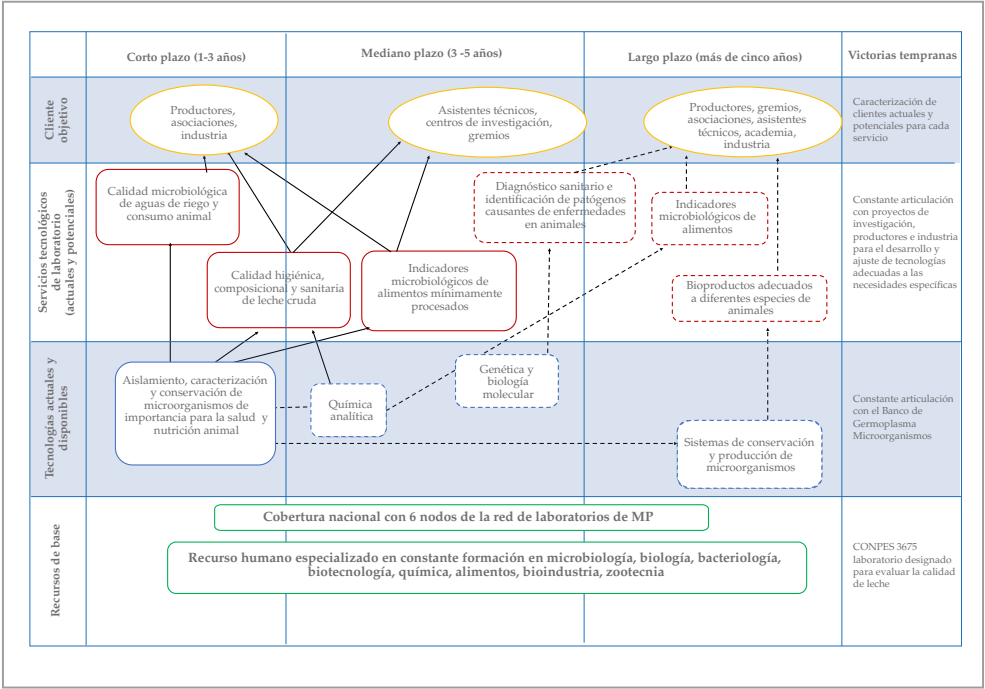


Figura 44. Hoja de ruta tipo - servicios pecuarios.
Fuente: Elaboración propia

Análisis de fertilidad de suelos. Fortalecer la eficiencia del uso de fertilizantes a través de herramientas para la toma de decisiones acertadas y recomendaciones de manejo agronómico, así como el análisis de correlación entre la eficiencia de los fertilizantes con una mejor selectividad de cultivos, que promuevan el uso racional de pesticidas para el control de plagas y el establecimiento de sistemas de rotación de pasturas (figura 45).

y en especies vegetales, deficiencias nutricionales y alternativas para la sostenibilidad y la competitividad del sector agropecuario. Cada uno de los servicios tecnológicos de laboratorio que se estudiaron para el centro de investigación y que se confrontaron con las dinámicas del entorno, genera elementos clave que permiten identificar la brecha existente y la posible ruta de acción para cerrarla.

De esta forma, tecnologías como el control biológico y el desarrollo de bioproductos, a mediano y largo plazo, contribuirán en gran medida a la disminución de aplicaciones de productos de síntesis química y al aprovechamiento de la biodiversidad. Lograr estas metas requiere, en primera instancia, la constante cooperación interlaboratorios para el uso articulado de técnicas de bioprospección, biología molecular, microbiología y entomología, las cuales garantizan el desarrollo de servicios que consideren las condiciones biológicas, físicas y químicas del medio donde se desarrollan los cultivos; en segunda instancia, el desarrollo de estudios que involucren los sistemas de conservación y producción de los bancos de germoplasma para el aprovechamiento de especies de microorganismos de interés con atributos deseables.

El uso de técnicas de micropropagación en el centro de investigación, con respecto a lo que se desarrolla en el ámbito internacional, aún es reducido, porque no se evidencian estudios que den cuenta del aprovechamiento de la diversidad de especies vegetales con fines agrícolas, industriales y medicinales. Más aún si se tiene en cuenta que cada vez son más frecuentes las condiciones extremas de humedad, temperatura, suelos degradados en las zonas rurales y demás factores que inciden en la productividad, fitosanidad o cualquiera que sea el rol esperado de las especies vegetales.

Las investigaciones de este centro de investigación se alinean con las que se desarrollan a nivel mundial en la identificación y caracterización molecular de individuos patógenos de importancia agronómica, tanto en especies vegetales como animales. Esto favorece la disposición de información acertada para el manejo de plagas y enfermedades, y así contrarrestar las pérdidas económicas en los sistemas productivos.

Si bien el sector agropecuario colombiano, de acuerdo con el análisis comparativo, tiene diversas demandas para ser resueltas, la producción

in vitro de embriones toma una relevancia fundamental si se considera el beneficio que otorga a pequeños y medianos productores con el acceso a recursos genéticos animales de marcada eficiencia de producción y rentabilidad, y que consecuentemente se ve reflejado en mayores ingresos económicos que contribuyen a garantizar la sostenibilidad ambiental de la actividad ganadera sobre el uso del suelo.

Los estudios asociados a los alimentos producidos en el subsector ganadero muestran una coincidencia entre lo que se desarrolla en el contexto mundial y el centro de investigación, considerando que corresponden a las técnicas empleadas para la determinación de indicadores de calidad de la leche, para mejorar el contenido proteico a partir de la fuente de alimentación bovina, disminuir los riesgos de contaminación del alimento y prevenir enfermedades en el hato.

A través del *roadmap* es posible identificar que, si bien los servicios tecnológicos han sido el resultado de victorias tempranas del centro de investigación objeto de estudio, este se enfrenta al reto de promover la adopción y el uso de estos servicios en los clientes objetivo. Una investigación previa del mercado de servicios tecnológicos de laboratorio demostró que esto se logra a lo largo del tiempo mediante un trabajo que debe ser desarrollado a través de los gremios, asociaciones de productores y asistentes técnicos y extensionistas, que actúan como influenciadores. A través de dicho estudio de mercado, también fue posible identificar las demandas, los retos, las oportunidades y las necesidades de los usuarios, y cómo los servicios de laboratorio permiten dar solución a esas necesidades. Ahora bien, traducir esas necesidades en estrategias que garanticen la adopción constituye una oportunidad adicional de investigación, pues explicar y predecir el comportamiento del consumidor es uno de los mayores retos para las investigaciones del consumidor (Zander & Feucht, 2018).

Así, pues, se pudo identificar que uno de los principales desafíos para quienes prestan los servicios tecnológicos en el sector agropecuario en Colombia es priorizar la investigación aplicada para mejorar tecnologías de producción y modernización del sector, las cuales contribuyan al crecimiento de la productividad y garanticen la sostenibilidad ambiental, utilizando los laboratorios como herramientas para la generación de soluciones en los sistemas productivos y distintos eslabones de las cadenas de valor (Anik et al., 2017; Potts & Kastle, 2017).





- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2016). Reducing the global environmental impact of livestock production: The minilivestock option. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1754-1766. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.094>
- Amare, M., Denno Cissé, J., Jensen, N. D., & Shiferaw, B. (2016). *The impact of agricultural productivity on welfare growth of farm. Households in Nigeria: A panel data analysis*. <https://www.fao.org/3/bp143e/bp143e.pdf>
- Anggraeni, A., Sumantri, C., Saputra, F., & Praharani, L. (2020). Association between GH (g.1456_1457insT), GHRH (g.4474 C>A), and Pit-1 (g.244G>A) Polymorphisms and Lactation Traits in Holstein Friesian Cattle. *Tropical Animal Science Journal*, 43(4), 291-299. <https://doi.org/10.5398/tasj.2020.43.4.291>
- Anik, A. R., Rahman, S., & Sarker, J. R. (2017). Agricultural Productivity Growth and the Role of Capital in South Asia (1980-2013). *Sustainability*, 9(3), 1-24. <https://doi.org/10.3390/su9030470>
- Anjum, M. Z., Ghazanfar, M. U., & Hussain, I. (2019). Bio-efficacy of Trichoderma isolates and Bacillus subtilis against root rot of muskmelon Cucumis melo L. caused by Phytophthora drechsleri under controlled and field conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 51(5). [https://doi.org/10.30848/pjb2019-5\(13\)](https://doi.org/10.30848/pjb2019-5(13))
- Ashour, M. A. (2019). Comparative chemical and biological investigations of three Saudi Astragalus species. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 7(5), 56-61. <https://doi.org/10.7324/JABB.2019.70510>
- Bennett, E., & Balvanera, P. (2007). The future of SMEs in a globalized world. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(4), 191-198. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[191:TFOPSI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[191:TFOPSI]2.0.CO;2)

- Bioversity International & Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT]. (s. f.). *Laboratorio de servicios analíticos*. <https://alliancebioiversityciat.org/es/laboratorio-de-servicios-analiticos>
- Bongiovanni, A., Colotti, G., Liguori, G. L., Di Carlo, M., Digilio, F. A., Lacerra, G., Mascia, A., Cirafici, A. M., Barra, A., Lanati, A., & Kisslinger, A. (2015). Applying Quality and Project Management methodologies in biomedical research laboratories: a public research network's case study. *Accreditation and Quality Assurance*, 20(3), 203-213. <https://doi.org/10.1007/s00769-015-1132-5>
- Bos, J. F. F. P., ten Berge, H. F. M., Verhagen, J., & van Ittersum, M. K. (2017). Trade-offs in soil fertility management on arable farms. *Agricultural Systems*, 157, 292-302. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.013>
- Campos Gaona, R., García Alegría, K., Vélez Terranova, M., Hernández, E., Molina Benavides, R., Sánchez Guerrero, H., Durán Castro, C. V., & Giraldo Patiño, L. (2015). El mejoramiento genético y la producción de leche. La esencia de una realidad de producción animal. *Acta Agronómica*, 64(3), 296-306. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n3sup.50263>
- Castellanos Domínguez, O. F., Ramírez, D. C., Fúquene, A. M., & Fonseca Rodríguez, S. L (2013). *Competitividad: apropiación y Mecanismos para su fortalecimiento*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11626>
- Chacón, X., & García, M. (2016). *Redes de custodios y guardianes de semillas y casas comunitarias de semillas nativas y criollas. Guía metodológica*. Redes de Semillas Criollas y Nativas de Colombia; Swissaid; Fondation d'entreprise Hermès; Corporación Biocomercio Sostenible.
- Chatellier, V. (2021). Review: International trade in animal products and the place of the European Union: main trends over the last 20 years. *Animal*, 15(1), 100289. <https://doi.org/10.1016/J.ANIMAL.2021.100289>
- Chaudhary, S., Devi, P., Bhardwaj, A., Jha, U. C., Sharma, K. D., Vara Prasad, P. V., Siddique, K. H. M., Bindumadhava, H., Kumar, S., & Nayyar, H. (2020). Identification and Characterization of Contrasting Genotypes/Cultivars for Developing Heat Tolerance in Agricultural Crops: Current Status and Prospects. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.587264>

- Choi, H. I., Ko, H. J., Kim, A. S., & Moon, H. (2019). The association between mineral and trace element concentrations in hair and the 10-year risk of atherosclerotic cardiovascular disease in healthy community-dwelling elderly individuals. *Nutrients*, 11(3), 1-14. <https://doi.org/10.3390/nu11030637>
- Comino, F., Ayora-Cañada, M. J., Aranda, V., Díaz, A., & Domínguez-Vidal, A. (2018). Near-infrared spectroscopy and X-ray fluorescence data fusion for olive leaf analysis and crop nutritional status determination. *Talanta*, 188, 676-684. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.06.058>
- Corporación Red Especializada de Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Agropecuario [Cenired]. (2020). *La importancia de los CENIS*. <http://www.cenired.org.co/index.php/centros-de-investigacion>
- Corredor, J. R., Rodríguez, M. L., & León, B. F. (2018). *Estudio sectorial sobre la producción cárnica bovina en la región Caribe*. <https://observatoriofiscal.contraloria.gov.co/Publicaciones/ESD-Carne%20bovina%20versi%C3%B3n%20%20Final%20%2030.07.2018-1.pdf>
- Cotes Prado, A. M., Barrero Meneses, L. S., Rodríguez Villamizar, F., Zuluaga Mogollón, M. V., & Arévalo Martínez, H. (Eds.) (2012). *Bioprospección para el desarrollo del sector agropecuario de Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Daim, T. U., Oliver, T., & Phaal, R. (Eds.). (2018). *Technology roadmapping*. World Scientific. <https://doi.org/10.1142/10859>
- Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación [Colciencias], Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, & Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica]. (2017). *Pectia. Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano (2017-2027)*. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12759pa>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2019). *Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica en Servicios (EDIT-S)*. <https://www.datos.gov.co/Ciencia-Tecnolog-a-e-Innovaci-n/Encuesta-de-Desarrollo-e-Innovaci-n-Tecnol-gica-de/ae8h-9db2>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2010, 19 de julio). *Política nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano* (Documento Conpes 3675). <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/d.angie/conpes%203675.pdf>

- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2019, 8 de enero). *Política Nacional de Laboratorios: Prioridades para Mejorar el Cumplimiento de Estándares de Calidad* (Documento Conpes 3957). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3957.pdf>
- De Marchi, M., Toffanin, V., Cassandro, M., & Penasa, M. (2014). Invited review: Mid-infrared spectroscopy as phenotyping tool for milk traits1. *Journal of Dairy Science*, 97(3), 1171-1186. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6799>
- De Solla Price, D. (1976). A general theory of bibliometric and other cumulative advantage processes. *Journal of the American Society for Information Science*, 27(5), 292-306. <https://doi.org/10.1002/asi.4630270505>
- De Solla Price, D. J. (1989). The Science of Science. *Science and Public Policy*, 16(3), 152-158. <https://doi.org/10.1093/spp/16.3.152>
- Delevatti, L. M., Cardoso, A. S., Barbero, R. P., Leite, R. G., Romanzini, E. P., Ruggieri, A. C., & Reis, R. A. (2019). Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. *Scientific Reports*, 9(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44138-x>
- Demattê, J. A. M., Dotto, A. C., Bedin, L. G., Sayão, V. M., & Barros e Souza, A. (2019). Soil analytical quality control by traditional and spectroscopy techniques: Constructing the future of a hybrid laboratory for low environmental impact. *Geoderma*, 337, 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.010>
- Díaz García, A., Gómez Álvarez, M. I., Grijalba Bernal, E. P., Santos Díaz, A. M., Cruz Barrera, F. M., León Moreno, D. M., Alarcón Torres, E. A., & Cotes, A. M. (2019). Desarrollo y escalamiento de bioplaguicidas. En A. M. Cotes (Ed.), *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros: Vol. 2. Aplicaciones y perspectivas* (pp. 630-691). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Díaz Granados, C., & Chaparro-Giraldo, A. (2012). Métodos de transformación genética de plantas. *Revista U. D. C. A. Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1), 49-61. <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n1.2012.802>
- Dubina, E., Kostylev, P., Ruban, M., Lesnyak, S., Krasnova, E., & Azarin, K. (2020). Rice breeding in Russia using genetic markers. *Plants*, 9(11), 1-13. <https://doi.org/10.3390/plants9111580>
- EcuRed. (s. f.). *Operadores booleanos*. https://www.ecured.cu/Operadores_booleanos#:~:text=Concepto%3A,relaci%C3%B3n%20entre%20conceptos%20de%20b%C3%BAsqueda.
- Elsevier. (2020). *Scopus*. <https://www.scopus.co>

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [Embrapa]. (s. f.). *Soluções tecnológicas*. <https://www.embrapa.br/busca-geral/-/busca/laboratorios?buscaPortal=laboratorios>
- Escorsa, P., & Maspons, R. (2001). *De la vigilancia tecnológica a la inteligencia competitiva*. Pearson Education.
- Escorsa, P., Maspons, R., & Rodríguez, M. (2000). Mapas tecnológicos, estrategia empresarial y oportunidades de mercado. El caso de los textiles para usos médicos. *Boletín Intexter*, (117), 57-68.
- Eski, A., Özkan Çakici, F., Güllü, M., Muratoğlu, H., Demirbağ, Z., & Demir, İ. (2015). Identification and pathogenicity of bacteria in the Mediterranean corn borer *Sesamia nonagrioides* Lefebvre (Lepidoptera: Noctuidae). *Turkish Journal of Biology*, 39(1), 31-48. <https://doi.org/10.3906/biy-1402-69>
- Federación Colombiana de Ganaderos [Fedegán]. (2006). *Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana 2019*.
- Flórez M., D. H., Morales, D. M., Uribe G., C. P., & Contreras P., C.A. (2012). Analysis of trends in basic research in agribusiness productive chains Análisis de tendencias en investigación básica para cadenas productivas agroindustriales. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2), 121-135.
- Flórez Martínez, D. H., Sánchez-Torres, J. M., & Rodríguez Romero, C. A. (2018). *Gestión de agendas de investigación, desarrollo tecnológico e innovación a través de procesos de gestión de conocimiento, un estudio de caso* [Conferencia]. 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Innovation in Education and Inclusion", Lima, Perú.
- Flórez Martínez, D. H., & Uribe Galvis, C. P. (2018). *Diseño de estrategias de futuro dicotómicas para las megatendencias de seguridad alimentaria y agroenergías: caso de estudio sector agropecuario colombiano* [Conferencia]. 70 años de la Cepal: Planificación para el desarrollo con visión de futuro. Santiago de Chile, Chile
- Flórez Martínez, D. H., Morales Castañeda, A., & Uribe Galvis, C. P. (2018). *Megatendencias en investigación, desarrollo e innovación para el sector agropecuario colombiano: perspectivas, estrategias y visiones de futuro*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Freitas, L., Casagrande, J. C., Oliveira, I. A., Souza Júnior, P. R., & Campos, M. C. C. (2014). Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. *Revista Agro@Mambiente On-Line*, 8(2), 155-164. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v8i2.1684>

- Galgano, F., Tolve, R., Colangelo, M. A., Scarpa, T., & Caruso, M. C. (2016). Conventional and organic foods: A comparison focused on animal products. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1-18. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1142818>
- Galli, C., Crotti, G., Notari, C., Turini, P., Duchi, R., & Lazzari, G. (2001). Embryo production by ovum pick up from live donors. *Theriogenology*, 55(6), 1341-1357. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(01\)00486-1](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(01)00486-1)
- Galli, C., Duchi, R., Crotti, G., Turini, P., Ponderato, N., Colleoni, S., Lagutina, I., & Lazzari, G. (2003). Bovine embryo technologies. *Theriogenology*, 59(2), 599-616. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)01243-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)01243-8)
- Gerber, P. J., Henderson, B., & Makkar, H. P. S. (Eds.). (2013). *Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera. Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Grau, H., & Aide, M. (2008). Introduction: Uncertainty and globalization. En F. López-Alves, & D. E. Johnson (Eds.), *Globalization and Uncertainty in Latin America* (pp. 1-26). Springer. <https://doi.org/10.1057/9780230603554>
- Grötter, L. G., Cattaneo, L., Marini, P. E., Kjelland, M. E., & Ferré, L. B. (2019). Recent advances in bovine sperm cryopreservation techniques with a focus on sperm post-thaw quality optimization. *Reproduction in Domestic Animals*, 54(4), 655-665. <https://doi.org/10.1111/rda.13409>
- Guo, M., & Hendricks, G. (2010). Improving buffalo milk. En M. W. Griffiths (Ed.), *Improving the Safety and Quality of Milk: Improving Quality in Milk Products* (pp. 402-416). <https://doi.org/10.1533/9781845699437.3.402>
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011). *Global food losses and food waste extent, causes and prevention*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:944159/FULLTEXT01.pdf>
- Haque, M., Siddique, A. B., & Islam, S. S. (2015). Effect of silver nitrate and amino acids on high frequency plants regeneration in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, 25(1, 37-50). <https://doi.org/10.3329/ptcb.v25i1.24124>
- Hazarika, B. N. (2006). Morpho-physiological disorders in in vitro culture of plants. *Scientia Horticulturae*, 108(2), 105-120. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.01.038>

- Henry, G., Hodson, E., Aramendis, R., Trigo, E., & Rankin, S. (2017). *La bioeconomía: motor de desarrollo integral para Colombia*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Hock, L., Leprince, A., Tournay, M., Gillis, A., & Mahillon, J. (2019). Biocontrol potential of phage Deep-Blue against psychrotolerant *Bacillus weihenstephanensis*. *Food Control*, 102, 94-103. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.03.014>
- Hoffmann, I. (2014). Adaptation to climate change – exploring the potential of locally adapted breeds. *Animal*, 7(2), 346-362. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000815>
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias [INIA]. (s. f.). *Laboratorios*. <https://web.inia.cl/servicios/laboratorios/>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA] (s. f.). *Productos y servicios*. <https://www.inia.gob.pe/productos-y-servicios/>
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria [INTA] (s. f.). *Laboratorios*. <http://www.inta.go.cr/index.php/servicios-y-productos/laboratorios-servicios>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales [Inifap]. (2018). *Catálogo de productos y servicios del Inifap*. <https://www.gob.mx/inifap/acciones-y-programas/productos-y-servicios-del-inifap>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA](s. f.). *Análisis de laboratorio*. <https://inta.gob.ar/portada-servicios/analisis-de-laboratorio>.
- Iriar, M. (2015). Reproductive biotechnologies: In vivo and in vitro, yesterday and today. *Taurus*, 17(68), 1-13.
- Jeziorek, M., Damianakos, H., Kawiak, A., Laudy, A. E., Zakrzewska, K., Sykłowska-Baranek, K., Chinou, I., & Pietrosiuk, A. (2019). Bioactive rinderol and cynoglosol isolated from *Cynoglossum columnae* Ten. *in vitro* root culture. *Industrial Crops and Products*, 137, 446-452. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.046>
- Khedkar, C. D., Khedkar, G. D., Gyananath, G., & Kalyankar, S. D. (2003a). BUFFALO | Meat. En B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (pp. 699-705). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00133-4>
- Khedkar, C. D., Khedkar, G. D., Patil, M. R., & Kalyankar, S. D. (2003b). BUFFALO | Milk. En B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (pp. 705-709). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00134-6>

- Kocira, S., Hara, P., Szparaga, A., Czerwińska, E., Beloev, H., Findura, P., & Bajus, P. (2020). Evaluation of the Effectiveness of the Use of Biopreparations as Seed Dressings. *Agriculture*, 10(4), 90. <https://doi.org/10.3390/agriculture10040090>
- Kumar, K. K., Sridhar, J., Murali-Baskaran, R. K., Senthil-Nathan, S., Kaushal, P., Dara, S. K., & Arthurs, S. (2019). Microbial biopesticides for insect pest management in India: Current status and future prospects. *Journal of Invertebrate Pathology*, 165, 74-81. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2018.10.008>
- Lin, S., Wan, Z., Zhang, J., Xu, L., Han, B., & Sun, D. (2020). Genome-wide association studies for the concentration of albumin in colostrum and serum in chinese holstein. *Animals*, 10(12), 1-14. <https://doi.org/10.3390/ani10122211>
- Liu, L., Zhou, J., Chen, C. J., Zhang, J., Wen, W., Tian, J., Zhang, Z., & Gu, Y. (2020). GWAS-based identification of new loci for milk yield, fat, and protein in holstein cattle. *Animals*, 10(11), 1-15. <https://doi.org/10.3390/ani10112048>
- Martínez, R. A., Dassonneville, R., Bejarano, D., Jiménez, A., Even, G., Mészáros, G., & Sölkner, J. (2016). Direct and maternal genetic effects on growth, reproduction, and ultrasound traits in zebu brahman cattle in Colombia. *Journal of Animal Science*, 94(7), 2761-2769. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0453>
- Martínez, R. A., Quiceno, J., Gallego, J. L., Mateus, H., Rodríguez, O., Medina, P., & Ballesteros, H. (2012). Desempeño de toretes de las razas criollas Blanco Orejinegro y Romosinuano en prueba de crecimiento en pastoreo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25(1), 36-45.
- Mascarin, G. M., Lopes, R. B., Delalibera, Í., Kamp Fernandes, É. K., Luz, C., & Faria, M. (2019). Current status and perspectives of fungal entomopathogens used for microbial control of arthropod pests in Brazil. *Journal of Invertebrate Pathology*, 165, 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2018.01.001>
- McCarthy, B., Delaby, L., Pierce, K. M., McCarthy, J., Fleming, C., Brennan, A., & Horan, B. (2016). The multi-year cumulative effects of alternative stocking rate and grazing management practices on pasture productivity and utilization efficiency. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3784-3797. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9763>

- Meekins, D. A., Trujillo, J. D., Gaudreault, N. N., Morozov, I., Pérez-Núñez, D., Revilla, Y., & Richt, J. A. (2020). Long amplicon sequencing for improved genetic characterization of African swine fever virus. *Journal of Virological Methods*, 285, 113946. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2020.113946>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación [MinCiencias]. (2020). *Centros/ Institutos de Investigación*. https://minciencias.gov.co/portafolio/reconocimiento_de_actores/centros-institutos-investigacion
- Moreno, M. A., Cerón, M. F., & Corrales, J. (2007). Asociación de k-caseína y b-lactoglobulina con características de calidad de la leche en las razas Holstein y Jersey en Antioquía, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias*, 20(4), 573-590.
- Moreno, M. N., Flórez-Martínez, D.-H., Uribe G., C. P., & Yepes-Vargas, L. A. (2017). *Articulación de la oferta y la demanda en ciencia, tecnología e innovación a través de agendas dinámicas territoriales y focos prospectivos: caso de estudio sector agropecuario colombiano* [Ponencia]. VIII Congreso Internacional en Gobierno, Administración y Políticas Públicas (Grupo de Investigación en Gobierno, Administración y Políticas Públicas [GIGAPP]), Madrid, España.
- Mortimer, S. T., & De Jonge, C. J. (2018). CASA-computer-aided sperm analysis. *Encyclopedia of Reproduction*, 5, 59-63. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.64935-8>
- Muhakka, M., Suwignyo, R. A., Budianta, D., & Yakup. (2019). Vegetation analysis of non-tidal swamp land in South Sumatra, Indonesia and its carrying capacity for pampangan buffalo pasture. *Biodiversitas*, 20(4), 1077-1086. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200420>
- Nannipieri, P., Greco, S., & Ceccanti, B. (2017). ECological Significance Of The Biological Activity In Soil. En J. M. Bollag, & G. Stotzky (Eds.), *Soil Biochemistry* (Vol. 6, pp. 293-355). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780203739389>
- Nápoles, L., Cid, M., Hernández, L., Alvares, Y., Zamora, V., Lorente, G. L., Rodríguez, R., & Concepción, O. (2019). Escalado de la producción de vitroplantas de piña "MD2" libre de Pineapple mealybug wilt-associated virus-1, -2 y -3 para su introducción a escala productiva en Cuba. *Actas Horticulturae*, 1239, 121-128. <https://doi.org/https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1239.15>

- Nazir, R., Kumar, V., Gupta, S., Dwivedi, P., Kumar Pandey, D., & Dey, A. (2021). Biotechnological strategies for the sustainable production of diosgenin from *Dioscorea* spp. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(51), 585. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-11055-3>
- Nin, A., Ehui, S., & Benin, S. (2007). Chapter 47 Livestock Productivity in Developing Countries: An Assessment. *Handbook of Agricultural Economics*, 3, 2461-2532. [https://doi.org/10.1016/S1574-0072\(06\)03047-7](https://doi.org/10.1016/S1574-0072(06)03047-7)
- Nordhaus, W. D. (2007). A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. *Journal of Economic Literature*, 5(3), 686-702. <https://doi.org/10.1257/jel.45.3.686>
- Ogundola, A. F., Bvenura, C., & Afolayan, A. J. (2018). Nutrient and Antinutrient Compositions and Heavy Metal Uptake and Accumulation in *S. nigrum* Cultivated on Different Soil Types. *The Scientific World Journal*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5703929>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2010). *Estrategias de mejora genética para la gestión sostenible de los recursos zoogenéticos*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2015a). *The State of Food and Agriculture. Social protection and agriculture: breaking the cycle of rural poverty*. <https://www.fao.org/3/i4910e/i4910e.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2015b). *Agriculture and biotechnology laboratories in the service of member states*. <https://www.iaea.org/sites/default/files/biotechlabs1014.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2016). *The state of food and agriculture climate change, agriculture and food security*. <https://www.fao.org/3/i6030e/I6030E.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). *The future of food and agriculture trends and challenges*. <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2018a). *Taller Internacional sobre Oportunidades y Desafíos de los Sistemas Agroalimentarios Sostenibles en América Latina y el Caribe*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Unep).

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2018b). *Transformar la alimentación y la agricultura para alcanzar los ODS*. <http://www.fao.org/3/I9900ES/i9900es.PDF>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD), & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). *OECD-FAO Agricultural Outlook*. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>
- Palop Marro, F., & Martínez Cadavid, J. F. (2012). *Guía metodológica de práctica de la vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. Proyecto piloto de transferencia y desarrollo de capacidades regionales en vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva*. España y sus Regiones Intercambian Conocimiento con Antioquia (Erika).
- Pérez-Piqueres, A., Edel-Hermann, V., Alabouvette, C., & Steinberg, C. (2006). Response of soil microbial communities to compost amendments. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(3), 460-470. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.05.025>
- Perfetti, J. J., Balcázar, Á., Hernández, A., & Leibovich, J. (2013). *Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia*. Fundación para la Educación Superior y el Desarrollo (Fedesarrollo).
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2001). *Technology roadmapping: linking technology resources to business objectives*. <https://www.sopheon.com/wp-content/uploads/Article-TechnologyRoadmapping.pdf>
- Phaal, R., Farrukh, C. J. P., & Probert, D. R. (2004). Technology roadmapping - A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1-2), 5-26. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6)
- Potts, J., & Kastle, T. (2017). Economics of innovation in Australian agricultural economics and policy. *Economic Analysis and Policy*, 54, 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2017.03.003>
- Raheja, N., Choudhary, S., Grewal, S., Sharma, N., & Kumar, N. (2018). A review on semen extenders and additives used in cattle and buffalo bull semen preservation. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(3), 239-245.
- Ribeiro Dias, E. A., Peres Campanholi, S., Fazan Rossi, G., Freitas Dell'Aqua, C. de P., Dell'Aqua Junior, J. A., Ozanam Papa, F., Furtado Zorzetto, M., Paro de Paz, C. C., Oliveira, L. Z., Zoccolaro Mercadante, M. E., & Morato Monteiro, F. M. (2018). Evaluation of cooling and freezing systems of bovine semen. *Animal Reproduction Science*, 195, 102-111. <https://doi.org/10.1016/J.ANIREPROSCI.2018.05.012>

- Rocha, I., Ma, Y., Carvalho, M. F., Magalhães, C., Janoušková, M., Vosátka, M., Freitas, H., & Oliveira, R. S. (2019). Seed coating with inocula of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria for nutritional enhancement of maize under different fertilisation regimes. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(1), 31-43. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1479061>
- Rodríguez, A. G. (2017). *La bioeconomía: oportunidades y desafíos para el desarrollo rural, agrícola y agroindustrial en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal); Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Rossel, R. A. V., Walvoort, D. J. J., Mcbratney, A. B., Janik, L. J., & Skjemstad, J. O. (2006). Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, 131(1-2), 59-75. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.03.007>
- Rotenberg, D., Baumann, A. A., Ben-Mahmoud, S., Christiaens, O., Dermauw, W., Ioannidis, P., Jacobs, C. G. C., Vargas Jentzsch, I. M., Oliver, J. E., Poelchau, M. F., Rajarapu, S. P., Schneweis, D. J., Snoeck, S., Taning, C. N. T., Wei, D., Widana Gamage, S. M. K., Hughes, D. S. T., Murali, S. C., Bailey, S. T., Bejerman, N. E., Holmes, C. J., Jennings, E. C.... Richards, S. (2020). Genome-enabled insights into the biology of thrips as crop pests. *BMC Biology*, 18(1), 1-37. <https://doi.org/10.1186/s12915-020-00862-9>
- Rugeles, L., Gwaitero, B., Saavedra, D., Ariza, C., Noreña, H. E., Betancour, I., Castillo, O., Martínez Humanez, N., Arosa, C., Barrera, L. M., & Vargas, M. (2012). *Medición de la innovación agropecuaria en Colombia*. Universidad de Medellín.
- Sanches, B. V., Fonseca Zangirolamo, A., Covre da Silva, N., Morotti, F., & Marcondes Seneda, M. (2017). Cryopreservation of in vitro-produced embryos: challenges for commercial implementation. *Animal Reproduction*, 14(3), 521-527. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-ar995>
- Sánchez, L. (Ed.). (2018). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe: una visión gráfica*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). <https://www.cepal.org/es/publicaciones/42228-la-economia-cambio-climatico-america-latina-caribe-vision-grafica>

- Sau, S., Sarkar, S., Mitra, M., & Gantait, S. (2021). Recent trends in agro-technology, post-harvest management and molecular characterisation of pomegranate. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(4), 1-19. <https://doi.org/10.1080/14620316.2021.1877201>
- Schierhorn, F., Meyfroidt, P., Kastner, T., Kuemmerle, T., Prishchepov, A. V., & Müller, D. (2016). The dynamics of beef trade between Brazil and Russia and their environmental implications. *Global Food Security*, 11, 84-92. <https://doi.org/10.1016/J.GFS.2016.08.001>
- Schröder, P., Sauvêtre, A., Gnädinger, F., Pesaresi, P., Chmeliková, L., Doğan, N., Gerl, G., Gökçe, A., Hamel, C., Millan, R., Persson, T., Ravnkov, S., Rutkowska, B., Schmid, T., Szulc, W., Teodosiu, C., & Terzi, V. (2019). Discussion paper: Sustainable increase of crop production through improved technical strategies, breeding and adapted management – A European perspective. *Science of the Total Environment*, 678, 146-161. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.212>
- Singh, D. P., & Prabha, R. (2019). *Microbial interventions in agriculture and environment: Vol. 3: Soil and Crop Health Management*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-32-9084-6>
- Singh, S. R., Zargar, M. Y., Singh, U., & Ishaq, M. (2010). Influence of bio-inoculants and inorganic fertilizers on yield, nutrient balance, microbial dynamics and quality of strawberry (*Fragaria ananassa*) under rainfed conditions of Kashmir valley. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 80(4), 275-281.
- Snyder, K., Okolo, W., Sommer, R., & Braslow, J. (2015). *Synthesis report on five-country institutional analysis: produced for the CIAT scoping study on soil research and management to enrich bilateral German development cooperation programs*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-021985-1.50014-x>
- Soby, S. D. (2013). The End of the Green Revolution. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 26(3), 537-546. <https://doi.org/10.1007/s10806-012-9393-z>
- Song, Y., Wei, X.-Q., Li, M.-Y., Duan, X.-W., Sun, Y.-M., Yang, R.-L., Su, X.-D., Huang, R.-M., & Wang, H. (2018). Nutritional Composition and Antioxidant Properties of the Fruits of a Chinese Wild *Passiflora foetida*. *Molecules*, 32(2), 1-17. <https://doi.org/10.3390/molecules23020459>
- Tapias García, H. (2005). Capacidades tecnológicas: elemento estratégico de la competitividad. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (33), 97-119.

- Tekielska, D., Peňázová, E., Kovács, T., Křížan, B., Čechová, J., & Eichmeier, A. (2019). Bacterial Contamination of Plant in vitro Cultures in Commercial Production Detected by High-Throughput Amplicon Sequencing. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 67(4), 1005-1014. <https://doi.org/10.11118/actaun201967041005>
- Tomáška, M., Suhren, G., Hanuš, O., Walte, H. G., Slottová, A., & Hofericová, M. (2006). The application of flow cytometry in determining the bacteriological quality of raw sheep's milk in Slovakia. *Lait*, 86(2), 127-140. <https://doi.org/10.1051/lait:2005044>
- Torres-Torres, L., Espinel-Correal, C., & Santos-Díaz, A. M. (2020). Hospederos alternativos y estandarización de métodos para evaluar la actividad biocontroladora de micoinsecticidas. *Revista Colombiana de Entomología*, 46(2).
- Trigo, E., Mateo, N., & Falconi, C. (2013). *Innovación agropecuaria en América Latina y el Caribe: Escenarios y mecanismos institucionales*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15343/innovacion-agropecuaria-en-america-latina-y-el-caribe-escenarios-y-mecanismos>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, (84), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Vergara, W. (2012). La revolución pecuaria: del tradicionalismo a la industrialización TT - The Livestock Revolution: from Traditionalism to Industrialization. *Revista Médica Veterinaria*, (24), 91-101.
- Wakil, W., Tahir, M., Al-Sadi, A. M., & Shapiro. Ilan, D. (2020). Interactions Between Two Invertebrate Pathogens: An Endophytic Fungus and an Externally Applied Bacterium. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.522368>
- Watanabe, M., Ohta, Y., Licang, S., Motoyama, N., & Kikuchi, J. (2015). Profiling contents of water-soluble metabolites and mineral nutrients to evaluate the effects of pesticides and organic and chemical fertilizers on tomato fruit quality. *Food Chemistry*, 169, 387-395. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.155>
- Wiebke, M., Hensel, B., Nitsche-Melkus, E., Jung, M., & Schulze, M. (2021). Cooled storage of semen from livestock animals (part I): boar, bull, and stallion. *Animal Reproduction Science*, 106822. <https://doi.org/10.1016/J.ANIREPROSCI.2021.106822>

- World Health Organization [WHO], & Regional Office for Africa and United States Centers for Disease Control and Prevention [CDC] (2008). *Guidance for Development of National Laboratory Strategic Plans*. https://www.who.int/hiv/amds/amds_guide_dev_nat_lab_strat.pdf
- Wulff Schuch, M., Pinto Tomaz, Z. F., Vergara Casarin, J., Maidana Moreira, R., & Barcelos da Silva, J. (2019). Advances in vegetative propagation of olive tree. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41(2), 1-11. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019003>
- Yao, K., McKinney, B., Murphy, A., Rotz, P., Wafula, W., Sendagire, H., Okui, S., & Nkengasong, J. N. (2010). Improving quality management systems of laboratories in developing countries: An innovative training approach to accelerate laboratory accreditation. *American Journal of Clinical Pathology*, 134(3), 401-409. <https://doi.org/10.1309/AJCPNBBL53FWUIQJ>
- Zander, K., & Feucht, Y. (2018). Consumers' Willingness to Pay for Sustainable Seafood Made in Europe. *Journal of International Food and Agribusiness Marketing*, 30(3), 251-275. <https://doi.org/10.1080/08974438.2017.1413611>
- Zhang, H., Ye, H., Shao, Y., Wu, S., Yu, J., Ji, C., Wang, S., & Zeng, S. (2018). The Effects of Egg Yolk Concentration and Particle Size on Donkey Semen Preservation. *Journal of Equine Veterinary Science*, 65, 19-24. <https://doi.org/10.1016/J.JEVS.2018.03.002>

Terminó de diseñarse en abril de 2022,
Bogotá, D. C., Colombia

Los servicios tecnológicos de laboratorio se han convertido en un pilar fundamental para la dinamización de los procesos de investigación, desarrollo e innovación en los centros de ciencia y de desarrollo tecnológico, y en universidades; además, contribuyen a la toma de decisiones de actores del Sistema Nacional de Investigación Agropecuaria (SNIA), desde los productores hasta los hacedores de política pública. Su importancia permea factores clave como los procesos de actualización tecnológica, el diseño de una nueva infraestructura y el fortalecimiento de capacidades en el diseño, análisis y seguimiento de experimentos, muestreos, protocolos y guías de uso.

Esta investigación se enfoca en identificar cómo los servicios tecnológicos de laboratorio contribuyen en la generación de nuevo conocimiento, diseño de líneas de investigación y generación de nuevos productos tecnológicos. A través de un diseño metodológico que integra la inteligencia competitiva, la vigilancia tecnológica y el análisis crítico de documentación científica, se encuentran las tendencias de investigación con las cuales los servicios de laboratorio contribuyen a la creación de nuevo conocimiento, tanto en el contexto mundial como en el corporativo.

Finalmente, se diseña una hoja de ruta para fortalecer la prestación de servicios a los actores del SNIA y para los procesos de investigación de la agenda corporativa de I+D+i.



BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

CORREO: **bac@agrosavia.co**

TELÉFONO: **(57 1) 422 73 00 EXT. 1257 o 1274**

SKYPE: **[biblioteca.agropecuaria](https://www.skype.com/name/identifiers/alias/biblioteca.agropecuaria)**

www.agrosavia.co

Distribución gratuita
Prohibida su venta



**El campo
es de todos**

Minagricultura