

# SERVICIOS TECNOLÓGICOS DE LABORATORIO PARA EL SECTOR AGROPECUARIO COLOMBIANO: UN ANÁLISIS DE PAISAJES CIENTÍFICOS

## *Laboratory technological services for Colombian agriculture sector: A scientific landscapes analysis*

### Adriana Marcela Santacruz-Castro

Ingeniera Agrónoma, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria: Bogotá, Colombia.  
ORCID: 0000-0001-9823-4291  
Correo-e: [amsantacruz@agrosavia.co](mailto:amsantacruz@agrosavia.co)

### Jenny Milena Moreno-Rodríguez

Química, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.  
ORCID: 0000-0002-3444-4836  
Correo-e: [jmoreno@agrosavia.co](mailto:jmoreno@agrosavia.co)

### Jairo Javier Santana-Medina

Ingeniero Agrícola, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.  
ORCID: 0000-0003-0140-7825  
Correo-e: [jsantana@agrosavia.co](mailto:jsantana@agrosavia.co)

### Diego Hernando Florez-Martínez

Ingeniero Químico, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.  
ORCID: 0000-0003-1246-6513  
Correo-e: [dhflorez@agrosavia.co](mailto:dhflorez@agrosavia.co)

Recibido: 10/2/2022 • Aprobado: 16/6/2022

**Cómo citar:** Santacruz-Castro, A. M., Moreno-Rodríguez, J. M., Santana-Medina, J. J., & Florez-Martínez, D. H. (2022). Servicios tecnológicos de laboratorio para el sector agropecuario colombiano: un análisis científico de los paisajes. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 5(1), 113-131. <https://doi.org/10.22206/cac.2022.v5i1.pp113-131>

## Resumen

El propósito de este artículo es analizar la forma en que los servicios tecnológicos desarrollados en un centro de investigación para el sector agropecuario han contribuido a la mejora de procesos de I+D+i y 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. La metodología de este análisis contempló el uso de herramientas de inteligencia competitiva y vigilancia tecnológica, enfocadas al análisis de publicaciones científicas asociadas a los servicios tecnológicos ofertados. Esta metodología abarcó un diseño secuencial de tres fases, que tuvieron como resultado el estado actual de contribución de los servicios tecnológicos de laboratorio a la generación de conocimiento científico en ocho ejes de trabajo. A partir de este análisis se generó una propuesta de hoja de ruta para el fortalecimiento y alineación de los servicios tecnológicos de laboratorio del centro de investigación, frente a las tendencias en el contexto mundial.

**Palabras clave:** servicios tecnológicos; vigilancia tecnológica; paisajes científicos; itinerarios de ruta.

## Abstract

The purpose of this article is to analyze the way in which the technological services developed in a research center for the agricultural sector have contributed to the improvement of R & D processes and are aligned with world trends in technologies for technical change. The above, as an input to guide the strengthening of capacities and boost the supply of services in favor of the competitiveness of the sector. The methodology of this analysis contemplated the use of competitive intelligence and technological surveillance tools, focused on the analysis of scientific publications associated with the technological services offered. This methodology encompassed a three-phase sequential design that resulted in the current state of contribution of laboratory technological services to the generation of scientific knowledge in eight lines of work. Based on this analysis, a roadmap proposal was generated for the strengthening and alignment of the technological laboratory services of the research center, in the face of trends in the world context.

**Keywords:** technological services; technological surveillance; scientific landscapes; technological roadmaps.



## 1. Introducción

La dinamización de los procesos de innovación mediante la vinculación de actores que generen y transfieran conocimiento a partir del uso de un modelo de innovación abierta para la implementación de una agricultura sostenible contribuye a la generación de conocimiento para la transformación productiva de la agricultura, la optimización de recursos para el desarrollo científico, tecnológico y de servicios de extensión dentro de los sistemas nacionales de innovación en agricultura; los cuales se robustecen y complementan, entre otros factores, a través del desarrollo de servicios de laboratorio para el fortalecimiento de la productividad, competitividad y sostenibilidad (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2013; Medeiros, G., Binotto, E., Caleman, S., & Florindo, T. 2016; Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias), 2019; Norling, 2002).

Si bien en el mundo existen diferentes actores en los sistemas nacionales de innovación en agricultura (SNIA), como las empresas privadas o públicas que ofertan servicios de laboratorios y análisis, son los centros de investigación y desarrollo tecnológico los llamados a ser referentes en calidad, cobertura y orientación al servicio. Estos se categorizan principalmente en: Centros de Investigación, Centros de desarrollo Tecnológico y Centros de Ciencia, los cuales pueden desarrollar de manera específica actividades transversales que contribuyan a la competitividad del sector, tales como la oferta de servicios tecnológicos especializados, lo que puede ser entendido como una actividad económica especializada (Colciencias, 2016).

Un referente en el contexto mundial es la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), la cual, a través de un modelo de cooperación y gestión con el departamento de ciencias nucleares de los Estados Unidos de Norte América, dio origen a la “División de técnicas nucleares en agricultura”. Dicha divi-

sión comprende cinco unidades de laboratorio: i) Laboratorio de producción y salud animal; ii) Laboratorio de protección alimentaria y ambiental; iii) Laboratorio de control de plagas; iv) Laboratorio de fitomejoramiento y genética; y, v) Laboratorio de nutrición de cultivos y manejo de suelos y aguas (FAO, 2015).

Este modelo ha orientado la conformación y accionar misional de las unidades de laboratorio para dar soporte a las actividades de Investigación, Desarrollo e innovación (I+D+i) en proyectos transnacionales y de cooperación técnica; promover actividades de capacitación y entrenamiento entre los diferentes actores; y proveer servicios técnicos y analíticos a estos. Por lo anterior, el esquema de trabajo de los servicios tecnológicos de laboratorio 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 (FAO, 2015).

El impacto percibido por el uso e incorporación de los resultados de los análisis de laboratorio y sus respectivas recomendaciones, desarrolladas en unidades especializadas en el contexto mundial se resumen en: la optimización del desarrollo rural y alimentario; generación de buenas prácticas, experiencias y mecanismos de certificación; mejoras en la calidad e inocuidad de insumos y productos agropecuarios; alertas tempranas, mitigación y erradicación de enfermedades para la sanidad humana y animal; disminución de pérdidas de cultivos por plagas, enfermedades y arvenses; desarrollo de nuevas variedades, así como al diseño e introducción de nuevas tecnologías que impacten positivamente al productor.

Los servicios tecnológicos de laboratorio también se especializan en dar soporte a las actividades de I+D+i y son considerados un elemento clave en el desarrollo de proyectos de investigación y en la generación de resultados de conocimiento, que se reflejan principalmente en artículos científicos, actas de conferencia, reseñas, capítulo de libro y libros. Así

mismo, hacen parte de la nueva orientación de este tipo de organizaciones en la que se busca una transición y retroalimentación entre la generación de tecnología y conocimiento, y los esfuerzos por generar competencias para el uso y apropiación de estos (Bin et al., 2013).

Osman, Bakar y Nura (2015) establecen que los laboratorios que fortalecen los procesos de I+D+i, son sistemas que procesan entradas y generan salidas, en las que los procesos de análisis *per se* implican retos para la resolución de problemas particulares, así como garantizan un impacto positivo, lo cual se relaciona directamente con los procedimientos, tecnologías, estándares y recurso humano especializado disponible. En consecuencia, los laboratorios brindan soporte técnico, científico y tecnológico para verificar el cumplimiento de requisitos para acceder y permanecer en los mercados (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

Esta investigación establece el estado actual de la ciencia y la tecnología de los servicios de laboratorio para los actores del sector agropecuario dispuestos por el centro de investigación Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Estos servicios se estructuran a partir de los resultados de investigaciones relacionadas específicamente con las áreas de microbiología agrícola, entomología, producción vegetal, genética molecular, reproducción animal, microbiología pecuaria y salud animal y química analítica. El estado de la producción científica de este centro de investigación fue contrastado con el fin de evidenciar la correspondencia entre las dinámicas internacionales y las acciones nacionales en I+D+i, indicios de brechas en el uso y orientación de servicios especializados de laboratorio, oportunidades de fortalecimiento futuro y lineamientos de planificación estratégica.

## 2. Materiales y métodos

Para esta investigación se implementaron los procesos y principios de la vigilancia tecnológica y la inteli-

gencia competitiva, las cuales son consideradas por diferentes expertos como herramientas clave para el análisis de la evolución de campos específicos de conocimiento, la identificación de brechas existentes entre contextos y dar soporte a la planeación estratégica en la organización. Escorsa y Maspons (2001) establecen que el alcance de la vigilancia es direccionar esfuerzos sistemáticos y organizados para la observación, captación, análisis, difusión precisa y recuperación de información sobre los hechos del entorno económico, tecnológico, social, comercial o normativo, relevantes para la toma de decisiones frente a un objeto de interés (temas de investigación, tecnologías, referentes competidores, etc.). Castellanos, Fuquene y Ramírez (2011) definen la vigilancia tecnológica como el proceso de adquisición y uso de información sobre tendencias, acontecimientos y relaciones de manera rápida, para comunicar desarrollos actuales y el estado de un tópico de interés.

El diseño metodológico propuesto se enfocó en el análisis de la incidencia de los servicios tecnológicos de laboratorio en la producción de conocimiento científico a través de la adopción de la metodología propuesta por Florez Martínez y Uribe Galvis, (2018): i) Fase 1 – Diseño de la estrategia de búsqueda: se construyeron ecuaciones de búsqueda, alineadas con los principales tópicos de investigación en el sector agropecuario mundial (véase tabla 1); ii) Fase 2 – Procesamiento de la información: se descargaron los corpus de información a través del motor de búsqueda Scopus® procesados en el software de análisis de paisajes científicos VOSviewer, el cual permite construir mapas de análisis de coocurrencia de palabras y textos clave (títulos y resúmenes de publicaciones); iii) Fase 3 – Análisis de los resultados: el análisis de los reportes a través del software VOSviewer permitió desarrollar inferencias sobre el comportamiento del objeto de estudio, específicamente focos de investigación e interrelación entre temas clave, a través de clústeres de actividad. El análisis inferencial basado en el software se complementó con la lectura de las publicaciones disponibles en Scopus vinculadas al tópico de análisis, lo

que permitió la integración de información técnica apropiada. Finalmente, se contrastaron los clústeres específicos obtenidos para las publicaciones del centro de investigación frente a los clústeres de cada tópico de investigación; y, iv) Fase 4 – Análisis integral: a partir del análisis global de la información se pueden emitir directrices de fortalecimiento y focalización en el objeto de estudio; para lo cual se adaptó una metodología de itinerarios de ruta tecnológicos (*Technology Road Map* – TRM). La herramienta permite identificar la transición y conexiones entre los recursos tecnológicos, objetivos y la dinámica del entorno de la organización. La estructura de trabajo comprende un diseño de capas, en las cuales convergen elementos recurrentes como tecnologías, productos, servicios y oportunidades de mercado en un horizonte temporal determinado para la elección de metas (Phaal, Farrukh, & Probert, 2001).

Esta primera aproximación de la investigación permite orientar un análisis posterior del contexto internacional de la producción científica, para tópicos clave y recurrentes relacionados con los servicios de laboratorio, específicamente en las áreas de microbiología agrícola, entomología, producción vegetal, genética molecular, química analítica, reproducción animal y microbiología pecuaria y salud animal. Los resultados fueron contrastados con la producción científica del centro de investigación, con el fin de evidenciar la correspondencia entre las dinámicas internacionales y las acciones nacionales en I+D+i, indicios de brechas en el uso y orientación de servicios especializados de laboratorio, oportunidades de fortalecimiento futuro y lineamientos de planificación estratégica.

**Tabla 1.** Ecuaciones de búsqueda

Nº	Objeto de la ecuación	Ecuación propuesta	Registros Scopus
1	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”))	460
3	Servicio de genotipado 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
4	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
7	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”))	539
11	Servicio de 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
12	Servicio de análisis de fertilidad en suelo	TITLE-ABS-KEY (“laborator* service*” OR “quality control” OR “quality enhancement” OR “laborator* analyze*” OR “laborator* test*”) AND (“trace elements” OR “major elements” OR “inorganic chemical analysis” OR “acid extractable” OR “soil analysis” OR “exchangable bases in soils”) AND (“fertility” OR “organic matter” OR “pH” OR “electric conductivity” OR “acidity” OR “aluminum” OR “calcium” OR “magnesium” OR “potassium” OR “sodium” OR “sulfur” OR “phosphorus” OR “micronutrient*” OR “iron” OR “manganese” OR “zinc” OR “copper” OR “boron”) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , “AGRI”))	278

N°	Objeto de la ecuación	Ecuación propuesta	Registros Scopus
15	Servicio de 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
17	Servicios de laboratorio para el sector agropecuario	TITLE (“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*”) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , “AGRI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “VETE”))	1,976

Fuente: elaboración propia.

### 3. Resultados y discusión

Los Centros Nacionales de Investigación o Institutos Nacionales de Investigación encargados de la investigación científica y tecnológica, así como de la prestación de servicios especializados para el sector agropecuario, se consideran actores clave para la generación de productos y conocimiento derivados de la I+D+i. Dichos productos e información son difundidos a través de publicaciones científicas, en las que se consignan resultados, métodos, técnicas, protocolos y análisis como herramientas de soporte al sector. Esta investigación se enfoca en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA.

La figura 1 muestra la red con el paisaje científico en la temática de servicios de laboratorios, donde se identificaron algunos clústeres de análisis que, posteriormente, se convirtieron en insumo para el desarrollo de la investigación presentada en este documento. Los clústeres más sobresalientes son a saber: i) Clúster Naranja: presenta un panorama asociado a la conservación, desarrollo y análisis de semillas y cultivares, en donde algunos de los principales temas de investigación se relacionan con germinación, rendimiento, experimentación en campo, calibración de instrumentos, secuenciación genética, entre otros. ii) Clúster Rojo: investigación en virus, fitopatología en condiciones de

campo y técnicas de genética molecular, asociadas al análisis de plagas como vectores de estos virus, en donde son relevantes los estudios orientados al análisis de prevalencia, secuenciación, aislamiento, anticuerpos, cultivos de células, líneas genéticas, epidemiología, entre otras. El iii) Clúster violeta: relacionado con análisis de suelos tiene como temas clave, caracterización de tipos de suelos, extracción y análisis de nutrientes, recomendaciones para la fertilización con minerales, macronutrientes y micronutrientes disponibles para la nutrición o asimilación en diferentes especies vegetales. Se destaca el uso de técnicas de análisis como espectroscopia, para la identificación de elementos traza. Finalmente, el iv) Clúster verde: incluye temas relacionados con métodos analíticos para la validación y estandarización de técnicas y procedimientos que permitan asegurar la calidad de los resultados emitidos; igualmente, temas relacionados con normativas y operatividad de laboratorios de medición, su legislación, validación, acreditación y precisión de sus análisis; así como su connotación como laboratorios de referencia a nivel mundial. Dichos laboratorios comprenden tópicos clave como simulación, análisis microbiológico, análisis de calidad estandarizados 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.

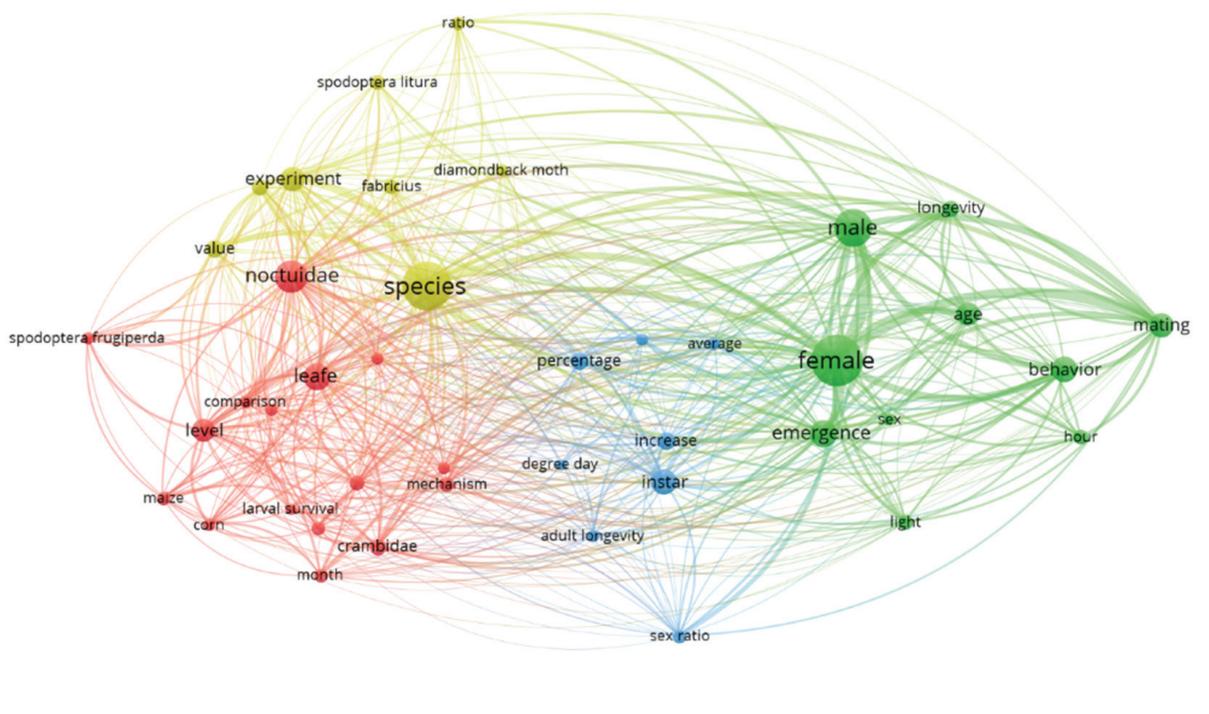




Producción y mantenimiento de crías de lepidópteros. La cría de insectos en condiciones de laboratorio o invernadero es una alternativa para producir individuos en frecuencias y cantidades controladas, sin depender de las fluctuaciones poblacionales de los insectos en su medio natural. Este servicio permite estudiar las características de los lepidópteros, en especial a aquellos que ocasionan pérdidas económicas en los sistemas productivos de importancia agrícola (Parra, 2005).

La figura 3 agrupa las temáticas relacionadas al servicio de laboratorio y sobre las cuales se concen-

tran las publicaciones académicas. Las especies *Tecia Solanivora* y *Spodoptera frugiperda* se destacan por ser la de más importancia agronómica. A su vez, el maíz se resalta como el cultivo más relevante y de mayor afectación por la presencia de plagas y patógenos, sobre el cual se concentran las investigaciones. De igual forma, se incluyen las variables de estudio asociadas al desarrollo, crecimiento y comportamiento de dichas especies, a partir de las cuales es posible generar estrategias como control biológico y desarrollo de bioproductos.

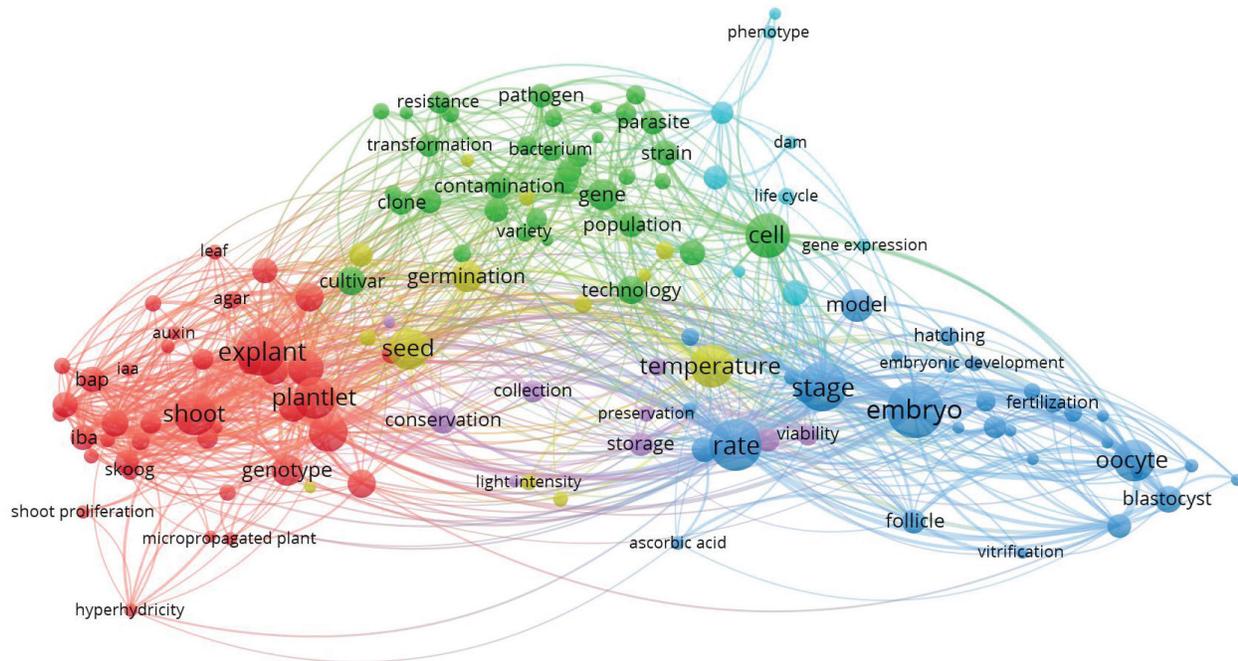


**Figura 3.** Paisaje científico para el servicio de producción y mantenimiento cría de lepidópteros

**Fuente:** elaborado a partir de información recuperada en Scopus. Fecha de consulta, noviembre de 2020, respectivamente. Software de procesamiento VOSviewer.

**Micropropagación Vegetal.** La micropropagación consiste en la producción de material de siembra genéticamente idéntico a la planta madre, con calidad fitosanitaria, desarrollo del sistema foliar y radicular adecuado para su posterior aclimatación en condiciones ambientales naturales, que favo-

rezcan la obtención de metabolitos secundarios de alto valor comercial. Para ello, se emplean tecnologías de cultivos celulares *in vitro* a partir de brotes, yemas, explantes, callos y demás tejidos celulares, aprovechando la totipotencia de las especies vegetales (Ramakrishna & Ravishankar, 2011).

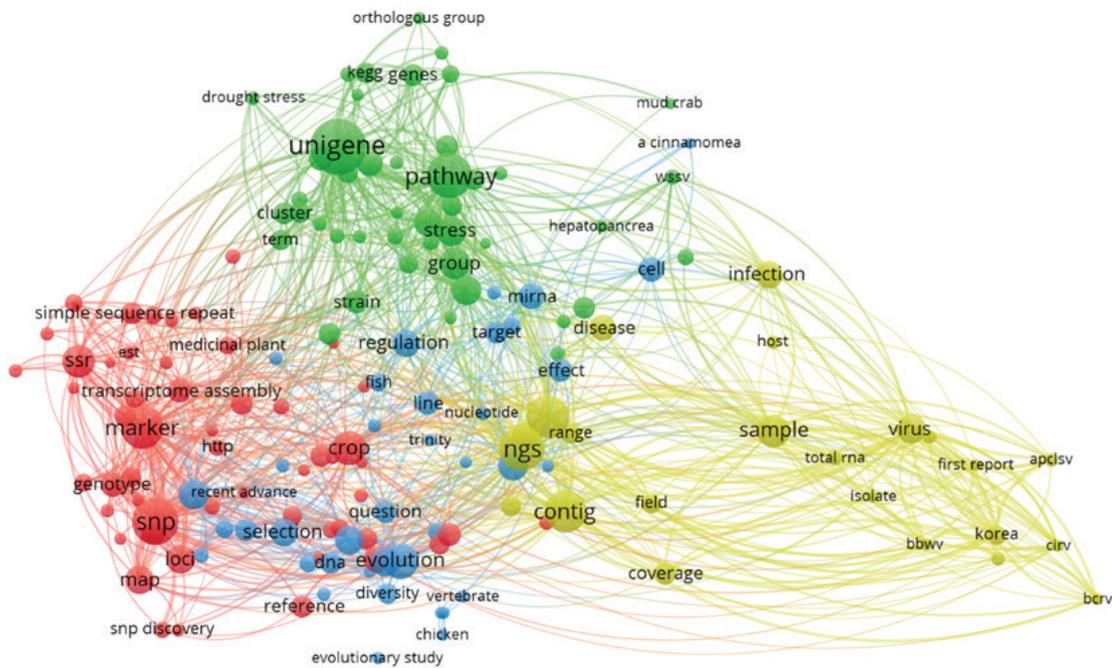


**Figura 4.** Paisaje científico para el servicio de micropropagación vegetal

**Fuente:** elaborado a partir de información recuperada en Scopus. Fecha de consulta, noviembre de 2020, respectivamente. Software de procesamiento VOSviewer.

La vigilancia tecnológica muestra el desarrollo de investigaciones en condiciones controladas de nutrientes (hormonas o minerales), temperatura y luminosidad, para el desarrollo de medios de cultivo específicos, identificación de fuentes o condiciones para la contaminación de las plántulas por la presencia de microorganismos en los medios de cultivo, mecanismos para inducir la formación de tejido vegetal y regenerar plántulas como material de siembra homogéneo (figura 4). La fisiología alrededor de semillas se evidencia como otro de los enfoques en los estudios alrededor del servicio de micropropagación vegetal, en donde es relevante el desarrollo de condiciones óptimas de temperatura, fertilización, nutrición y maduración que hacen viable su germinación y, en general, la producción de material de siembra adecuado para el posterior establecimiento de cultivos, tecnología que viene desarrollando el centro de investigación, en donde se han adelantado investigaciones alrededor de la calidad de semilla y procesos de germinación.

Secuenciación de genomas completos y RNA. La ingeniería genética aplicada al sector agropecuario se ha convertido en una herramienta tecnológica fundamental para los sistemas productivos, permitiendo obtener individuos con características deseadas, como el aumento del rendimiento de los cultivos y los animales, para hacerle frente a los problemas de seguridad alimentaria, resistencia a plagas y enfermedades. Los principales objetos de estudio de las publicaciones son *Genotype* y *Transcriptome* (figura 5), con los cuales se busca comprender expresiones genéticas y variaciones de ADN en diferentes especies a partir de un cromosoma de ubicación conocida (Bonin et al., 2004; Voshall & Moriyama, 2019); esta misma orientación han tenido algunas publicaciones del centro de investigación, principalmente en procesos de mejoramiento genético en sistemas ganaderos.



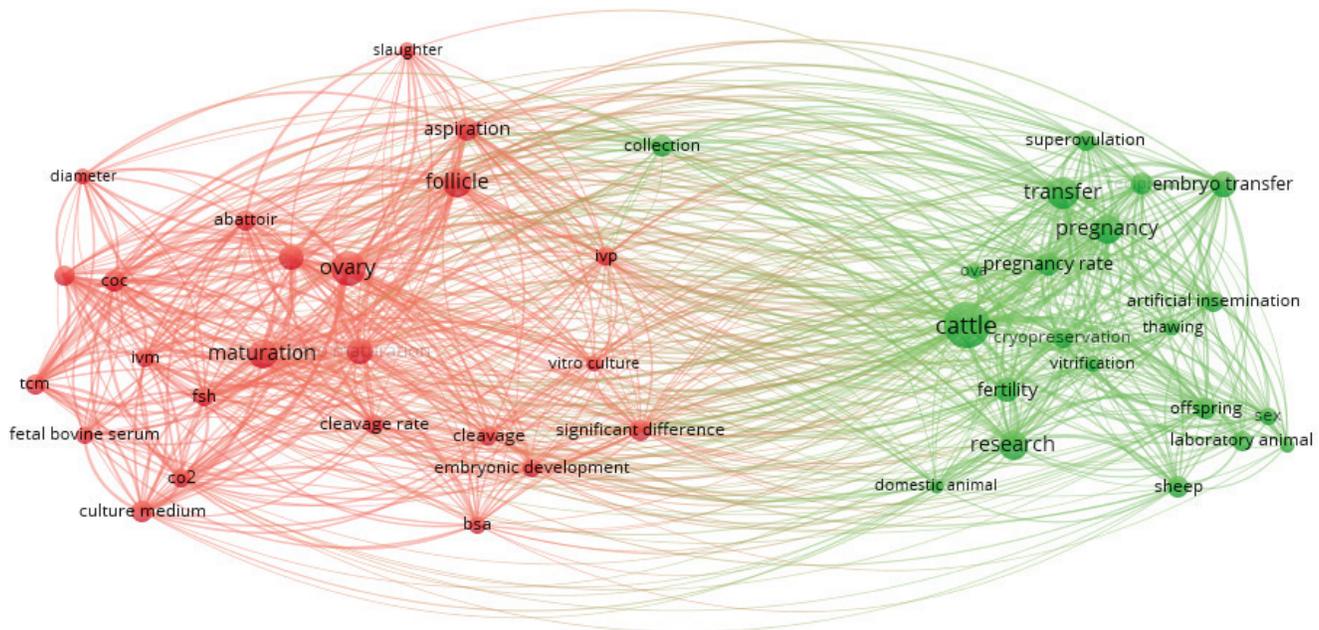
**Figura 5.** Paisaje científico para el servicio de Secuenciación de Nueva Generación (genomas completos y RNA seq)

**Fuente:** elaborado a partir de información recuperada en Scopus. Fecha de consulta, noviembre de 2020. Software de procesamiento VOSviewer.

**Producción *in vitro* de embriones bovinos.** En los sistemas productivos ganaderos, el mejoramiento genético hace posible la obtención de animales con características productivas sobresalientes, optimizando el tiempo requerido para el sacrificio del ganado bovino y de alimentación en los corrales de engorde. Lo anterior contribuye a la reducción de mayor impacto negativo para el ambiente, pues la ganadería ha colaborado con la expansión agropecuaria por las necesidades de incremento del consumo de proteína animal, producto de los cambios en la dieta humana (Abbasi & Abbasi, 2016; Hristov et al., 2013). Por otro lado, mediante técnicas de fertilización *in vitro* es posible obtener terneros en un menor número de generaciones, comparado con otras técnicas tradicionales como los sistemas de monta natural, incluso a partir de embriones de vacas vacías y preñadas (Ferré et al., 2019; Grötter, Cattaneo, Marini, Kjelland, & Ferré, 2019). En el centro de investigación los embriones son obtenidos, principalmente, a partir de parentales con atributos de interés productivo, utilizando semen convencional o sexado, de toros y

vacas seleccionados por sus características genéticas y provenientes de razas criollas colombianas u otras razas comerciales.

El análisis tecnológico del servicio representado en la figura 6 permite evidenciar dos grupos principales: por un lado, se resaltan las investigaciones realizadas en temas de ovarios, su proceso de maduración y aspiración folicular como método de obtención, en investigaciones relacionadas con desarrollo embrionario y en temas asociados a razas bovinas, preñez, transferencia y criopreservación. La producción científica del centro de investigación en temas de ganadería y reproducción animal ha sido dirigida principalmente a estudiar las características genéticas en ganado de razas criollas bovinas, y aunque el servicio tecnológico es producto de las investigaciones realizadas en los últimos años, los aspectos relacionados con la producción *in vitro* de embriones y pajillas bovinas tienen potencial para ser explorados en futuras publicaciones.



**Figura 6.** Mapa de densidad para el servicio de producción in vitro de embriones bovinos

**Fuente:** elaborado a partir de información recuperada de Scopus. Fecha de consulta, noviembre de 2020. Software de procesamiento VOSViewer.

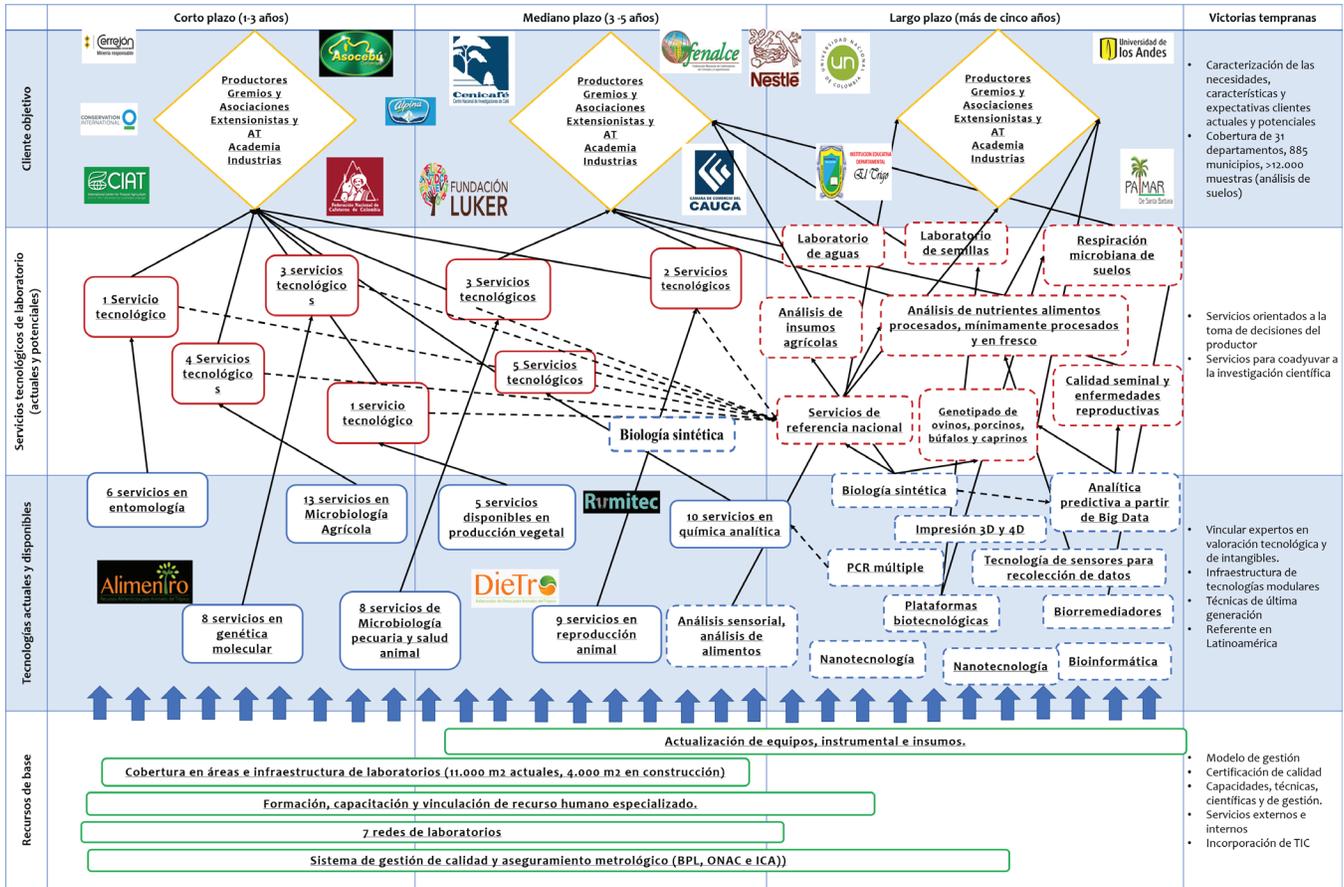
**Determinación de calidad higiénica, composicional y sanitaria de leche cruda.** El consumo de carne y leche se han convertido, para muchas comunidades, en la única fuente de proteínas, vitaminas y minerales como consecuencia de las múltiples dificultades de producción, de acceso a otro tipo de alimentos, del cambio climático, del crecimiento de la población, además de la existencia cada vez más estricta de límites permisibles, resultado del incremento de incidentes de enfermedades en humanos por contaminación y hábitos en el consumo de alimentos pobres en nutrientes (FAO, 2017; Heggie, 2019). De esta forma, el diagnóstico de la calidad de leche, mediante la cuantificación de mesófilos totales, células somáticas y coliformes totales, contribuyen a garantizar la calidad e inocuidad de este alimento.

Los resultados de la vigilancia (figura 7) muestran estudios en los que se buscó establecer la relación bioquímica entre los ensilajes y los rendimientos y

calidad de leche, determinación del contenido de proteínas, grasas y sólidos totales en diferentes alimentos lácteos como fuente para la nutrición humana. Además de mejoras en las técnicas de laboratorio para el conteo de células somáticas en leche cruda, como la microscopia por fluorescencia o MIRS (*Mid-infrared spectroscopy*) para predecir los rasgos de calidad de la leche, la composición de FA (*fatty acid* – ácidos grasos), MCP (*milk coagulation properties*), contenido mineral, IBC (*Individual Bacterial Cells* – Células Bacterianas Individuales), CFU (*Colony Forming Units* – Unidades Formadoras de Colonias) entre otros. Esto permite vislumbrar otras características de la leche asociados con su valor nutricional, rendimiento de queso y componentes de suero, como glutatión,  $\alpha$ -tocoferol y vitamina C (De Marchi, Toffanin, Cassandro, & Penasa, 2014; Tomáška et al., 2006; Zajac, Zubricka, Capla, & Zelenakova, 2016).







**Figura 9.** Roadmap de los servicios tecnológicos de laboratorio para el sector agropecuario en Colombia

**Fuente:** adaptado de Flórez, D. H., Santacruz, A. M. & Moreno, J. M. (2022).

Las interacciones entre estos los elementos que integran el *roadmap* se representa a través de conectores de flujo que establecen las 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): 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 que mantener la dinámica de crecimiento descentralizado de la infraestructura parapara el fortalecimiento de capacidades científicas y tecnológicas

del recurso humano 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 propuesta de hito futuro clave: contar con un modelo de gestión de laboratorios que permitan armonizar las funciones de servicios a terceros y que soporten los procesos de investigación.

- **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. 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. El hito clave de esta etapa es la orientación de la toma de decisiones al productor agropecuario a través de servicios con calidad, trazabilidad y oportunidad.
- **Capa 4.** Nichos de mercado: de acuerdo con el rol de AGROSAVIA, 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 y contribuyen a la generación y transferencia de conocimiento, fortalecimiento de capacidades y articulaciones horizontales y verticales.

Para el diseño de futuros servicios tecnológicos de laboratorio, 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 esla-

bones 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, que promueva en toda la cadena agroalimentaria la adopción de mejores prácticas agrícolas y de manufactura, así como el diagnóstico de microorganismos causantes de enfermedades en humanos a partir de la gestión del conocimiento empleando técnicas y principios de la biología molecular.

La investigación aplicada se convierte en uno de los desafíos futuros, específicamente asociado con garantizar la sostenibilidad ambiental, mediante prácticas que favorezcan la eficiencia y disminución de uso de fertilizantes y pesticidas para lo cual son determinantes los diagnósticos sobre los efectos e impactos (positivos o negativos) en las plantaciones, las poblaciones de patógenos, las fuentes hídricas y los suelos en los cuales están siendo utilizados; todo esto sin descuidar el propósito de la modernización e incremento de la producción agropecuaria.

#### 4. Conclusiones

El análisis comparativo entre los servicios tecnológicos para el sector agropecuario desarrollados en el mundo y los prestados por un AGROSAVIA, permite identificar los temas de frontera del conocimiento en los que debería enfocar sus procesos de I+D+i dicho centro de investigación. Las dinámicas internacionales dirigidas a investigación coinciden ampliamente en las temáticas desarrolladas en el centro de investigación, en cuanto a proveer herramientas de decisión para todos los actores del sector agropecuario nacional.

Es así como los servicios de laboratorio están orientados en dos principales enfoques con los que se logra contribuir a resolver las necesidades diferenciadas de los sistemas productivos y cadenas productivas

a nivel nacional. Por un lado, se atiende a la comunidad científica y académica a través de servicios para la investigación, el control de bioplaguicidas, la producción y mantenimiento de crías de lepidópteros y el de secuenciación genética, y de esta forma, tecnologías como el control biológico y el desarrollo de bioproductos contribuyen a la reducción del uso de productos de síntesis química, al aprovechamiento de la biodiversidad y a la conservación y producción de los Bancos de Germoplasma para el uso de especies de microorganismos de interés y producción de bioinsumos. De otra parte, servicios dirigidos a los productores, asistentes técnicos y asociaciones, se encuentran el análisis de fertilidad de suelos, la producción *in vitro* de embriones bovinos y la determinación de calidad higiénica, composicional y sanitaria de leche cruda.

Dicha orientación permite también identificar las oportunidades futuras, que conduzcan a incrementar la adopción de los servicios, es decir, desarrollar nuevos servicios y metodologías que atiendan a los desafíos que surgen en un mercado cambiante y hacia los cuales se pretenden dirigir los esfuerzos de investigación. Por lo cual, el uso articulado de técnicas de bioprospección, microbiología y entomología son determinantes para el desarrollo de sistemas de conservación y producción de los bancos de germoplasma, la identificación genética para favorecer la expresión de características productivas que contribuyan y garanticen la sostenibilidad ambiental de la actividad ganadera sobre el uso del suelo.

Uno de los principales desafíos es fortalecer la investigación aplicada o procesos transdisciplinarios, en los cuales diversos actores del sector agropecuario sean protagonistas corresponsables del desarrollo de las tecnologías. Esto permitirá la construcción de conocimiento a partir de necesidades y condiciones reales de los sistemas productivos y las cadenas agroalimentarias, además de favorecer la adaptación oportuna de las tecnologías y la tan mencionada apropiación social del conocimiento para el desarrollo sostenible

del sector agropecuario. De esta forma, los centros de investigación tendrán que fortalecer sus capacidades de innovación social para propiciar permanentes espacios de comunicación, articulación y cooperación con gremios, agroindustria, universidades y, por supuesto, con organizaciones de productores y productores individuales con quienes el desarrollo tecnológico y el uso cada vez más generalizado de servicios tecnológicos para la toma de decisiones en los cultivos y los eslabones de las cadenas serán las herramientas más acertadas y oportunas.

El análisis comparativo entre los servicios tecnológicos para el sector agropecuario desarrollados en el mundo y los prestados por AGROSAVIA permite identificar los temas de frontera del conocimiento en los que debería enfocar sus procesos de I+D+i, empleando técnicas actualizadas para el diagnóstico y manejo de problemas de enfermedades en animales y en especies vegetales, deficiencias nutricionales y, en general, alternativas para la sostenibilidad y competitividad del sector agropecuario.

El uso técnicas de micropropagación en el centro de investigación con respecto a lo desarrollado internacionalmente, 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 cuando 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 lo desarrollado a nivel mundial en la identificación y caracterización molecular de individuos patógenos de importancia agronómica, tanto en especies vegetales como animales; lo cual contribuye a la disposición de información acertada para el manejo y contrarrestar las pérdidas económicas en los sistemas productivos.

Si bien el sector agropecuario colombiano, de acuerdo con el análisis comparativo, tiene diversas demandas a ser resueltas, la producción *in vitro* de embriones toma una relevancia fundamental al considerar 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 y contribuyen a garantizar la sostenibilidad ambiental de la actividad ganadera sobre el uso del suelo.

Los estudios alrededor de los alimentos producidos en el subsector ganadero muestran una coincidencia entre lo desarrollado 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, mejorar el contenido proteico a partir de la fuente de alimentación bovina, disminuir los riesgos de contaminación del alimento y prevención de enfermedades en el hato.

Algunos desarrollos tecnológicos que internacionalmente están muy avanzados, en el centro de investigación son incipientes o apenas están orientadas a resolver problemas muy específicos de ciertos sistemas productivos. Sin embargo, en la medida que se acentúen y generalicen problemas como los cambios de las condiciones medio ambientales de los ecosistemas o los eventos climáticos extremos, se recurrirá con mayor frecuencia a estas estrategias de adaptación, resiliencia, uso eficiente de los recursos para la producción. En este punto incluso se podría ir más allá del impacto de los servicios a problemas agronómicos, y considerar su contribución en la solución de problemas sociales como la pobreza, las migraciones o el conflicto, en donde desde el punto de vista integral, con la reducción de las pérdidas económicas de los cultivos y los costos de producción, el negocio de los sistemas agroalimentarios favorecerá sus niveles de sostenibilidad.

Finalmente, 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 los actores en los Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA), desde los productores hasta los hacedores de política pública.

Uno de los principales desafíos es fortalecer la transdisciplinariedad, en la que diversos actores del SNIA sean protagonistas corresponsables del desarrollo de las tecnologías, lo cual permitirá la construcción de conocimiento a partir de necesidades y condiciones reales, además de propiciar adaptación oportuna de las tecnologías y la tan mencionada apropiación social del conocimiento para el desarrollo sostenible del sector agropecuario.

## Referencias

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2016). Reducing the global environmental impact of livestock production: The minilivestock option. *Journal of Cleaner Production*, 112(April 2018), 1754–1766. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.094>
- Bin, A., Gianoni, C., Mendes, P. J. V., Rio, C., Salles-Filho, S. L. M., & Capanema, L. M. (2013). Organization of research and innovation: a comparative study of public agricultural research institutions. *Journal of Technology Management & Innovation*, 8, 209–218.
- Bonin, A., Bellemain, P., Bronken Eidesen, F., Pompanon, C., Brochmann, P., & Taberlet, C. (2004). How to track and assess genotyping errors in population genetics studies. *Molecular Ecology*, 13(11), 3261–3273. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2004.02346.x>
- Castellanos, O. F., Fuquene, A. M., & Ramírez, D. C. (2011). *Análisis de tendencias: de la información hacia la innovación*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7227>

- Colciencias, D. A. de C. T. e I. (2016). *Actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación*. Retrieved from <https://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/politica-deactores-snctei.pdf>
- Cotes, A. M. (2018). *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros Agentes de control biológico* (vol 1). Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA.
- Cotes, A. M., Barrero, L. S., Rodríguez, F., Zuluaga, M. V., & Martínez, H. A. (2012). *Bioprospección para el desarrollo del sector agropecuario de Colombia*. Bogotá: CORPOICA.
- De Marchi, M., Toffanin, V., Cassandro, M., & Penasa, M. (2014). Invited review: Mid-infrared spectroscopy as phenotyping tool for milk traits. *Journal of Dairy Science*, *97*(3), 1171–1186. Disponible en: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6799>
- Demattê, J. A. M., Dotto, A. C., Bedin, L. G., Sayão, V. M., & Souza, A. B. e. (2019). Soil analytical quality control by traditional and spectroscopy techniques: Constructing the future of a hybrid laboratory for low environmental impact. *Geoderma*, *337*(May 2018), 111–121. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.010>
- Departamento Nacional de Planeación. CONPES 3957 (2018). *Política Nacional de Laboratorios*. Colombia.
- Escorsa, P., Maspons, R., & Llibre, J. (2001). *De la vigilancia tecnológica a la inteligencia competitiva*. Financial Times.
- Ferré, L. B., Kjelland, M. E., Strøbech, L. B., Hyttel, P., Mermillod, P., & Ross, P. J. (2019). Review: Recent advances in bovine in vitro embryo production: reproductive biotechnology history and methods. *Animal*, 1–14. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/s1751731119002775>
- Florez 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. In Naciones Unidas/CEPAL (Ed.), *70 años de la CEPAL: Planificación para el desarrollo con visión de futuro*. Santiago de Chile.
- Flórez, D. H., Santacruz, A. M. & Moreno, J. M. (2022). *Análisis de paisajes científicos aplicado a servicios tecnológicos para el sector agropecuario colombiano*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/37211>
- Grötter, L. G., Cattaneo, L., Marini, P. E., Kjelland, M. E., & Ferré, L. B. (2019, April). Recent advances in bovine sperm cryopreservation techniques with a focus on sperm post-thaw quality optimization. *Reproduction in Domestic Animals*. Blackwell Publishing Ltd. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/rda.13409>
- Heggie, J. (2019). *The Future of Livestock Farming*. [Published march 18, 2019]. <https://www.nationalgeographic.com/science/article/partner-content-livestock-farming-future>
- Hristov, A. N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., ... Oosting, S. (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*. (P. J. Gerber, B. Henderson, & H. P. S. Makkar, Eds.). Roma, Italia.: Producción y Sanidad Animal FAO Documento No. 177.
- Kang, C., Darwish, O., Geretz, A., Shahan, R., Alkharouf, N., & Liu, Z. (2013). Genome-scale transcriptomic insights into early-stage fruit development in woodland strawberry *Fragaria vesca*. *Plant Cell*, *25*(6), 1960–1978. Disponible en: <https://doi.org/10.1105/tpc.113.111732>
- Medeiros, G., Binotto, E., Caleman, S., & Florindo, T. (2016). Open innovation in agrifood Chain: A systematic review. *Journal of Technology Management and Innovation*, *11*(3), 108-116. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-27242016000300013>

- Minciencias. (2019). *Colombia hacia una sociedad del conocimiento preliminar*. Informe de la misión internacional de sabios 2019 por la educación, la ciencia, la tecnología y la innovación. [https://minciencias.gov.co/sites/default/files/libro\\_mision\\_de\\_sabios\\_digital\\_1\\_2\\_0.pdf](https://minciencias.gov.co/sites/default/files/libro_mision_de_sabios_digital_1_2_0.pdf)
- Nannipieri, P., Greco, S., & Ceccanti, B. (2017). ECological Significance Of The Biological Activity In Soil. In *Soil Biochemistry: Volume 6: Volume 6*. New York. Disponible en: <https://doi.org/10.1201/9780203739389>
- Norling, P. M. (2002). Find your place in the national innovation system. *Research Technology Management*, 45(5), 11–12. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/08956308.2002.11671515>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO. (2013). *Colombia: Nota de Análisis Sectorial. Agricultura y Desarrollo Rural*. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-ak167s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO. (2015). *Agriculture and Biotechnology Laboratories in the service of Member States*. Disponible en <https://www.iaea.org/sites/default/files/biotechlabs1014.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO. (2017). *The future of food and agriculture Trends and challenges*. Roma. Disponible en <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>
- Osman, N. H., Bakar, A., & Nura, A. (2015). A Review of Research and Development Evaluation Across the Globe. *Journal of Business Management and Accounting*, 77–89.
- Parra, J. R. (2013). *Técnicas de Criação de Insetos para Programas de Controle Biológico*. San Paulo.
- Phaal, R. (2004). Technology roadmapping - A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1–2), 5–26. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6)
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2001). *Technology Roadmapping: linking technology resources to business objectives*. Universidad de Cambridge.
- Ramakrishna, A., & Ravishankar, G. A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in planst. *Plant Signaling & Behavior*, 6. Disponible en: <https://doi.org/10.4161/psb.6.11.17613>
- Reyes, A., Christian, P., Valle, J., & Williams, T. (2004). Persistence of Invertebrate iridescent virus 6 in soil. *BioControl*. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/B:BICO.0000034591.98359.cf>
- 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, Nairobi, Kenya: International Center for Tropical Agriculture (CIAT). 143–159. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-021985-1.50014-x>
- 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. Disponible en: <https://doi.org/10.1051/lait:2005044>
- Voshall, A., & Moriyama, E. N. (2019). Next-generation transcriptome assembly and analysis: Impact of ploidy. *Methods*, (May), 1–11. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2019.06.001>
- Zajac, P., Zubricka, S., Capla, J., & Zelenakova, L. (2016). Fluorescence microscopy methods for the determination of somatic cell count in raw cow's milk. *Veterinarni Medicina*, 61(11), 612–622. Disponible en: <https://doi.org/10.17221/222/2015-VETMED>
- 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. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/08974438.2017.1413611>