

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*” 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	Descriptor	Subcategorías	Descriptor
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 (CIIUREV.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.

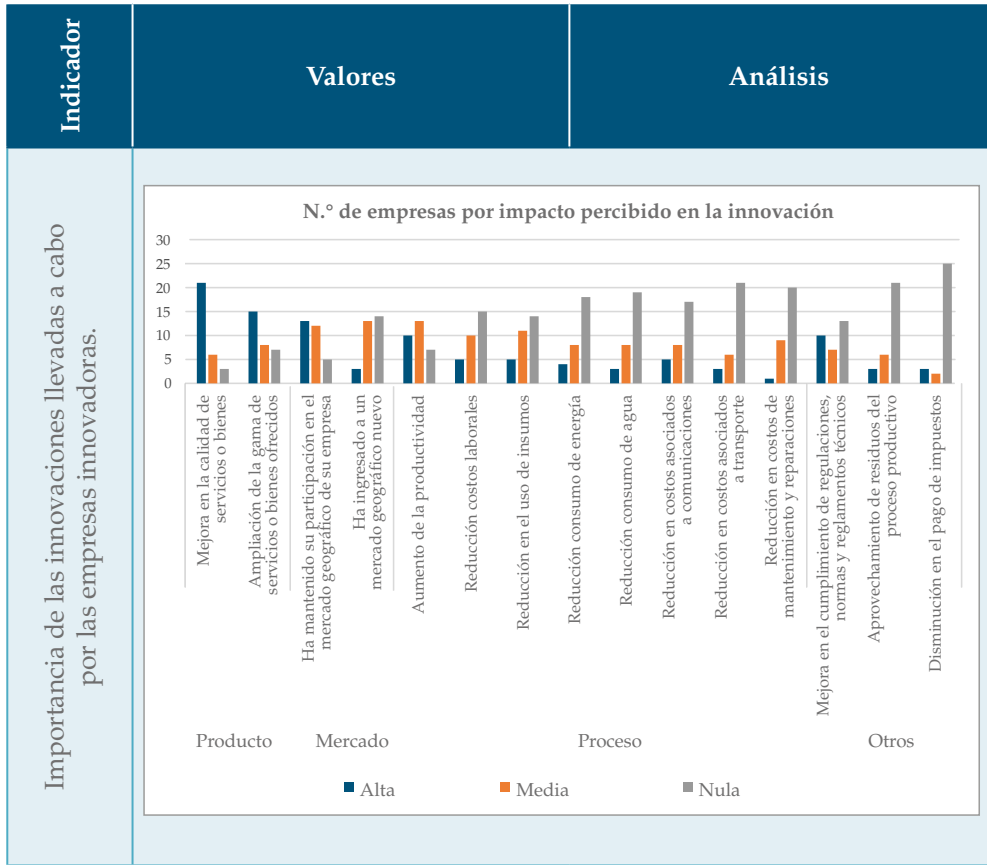
Específicamente para las empresas de servicios, la EDIT realizada en 2017 ofrece información clave sobre los centros de investigación reconocidos por el Minciencias. En la tabla 2, se presentan los indicadores más representativos afines a la temática de trabajo, agregados para 60 centros.

Tabla 2. Indicadores clave de los centros de investigación

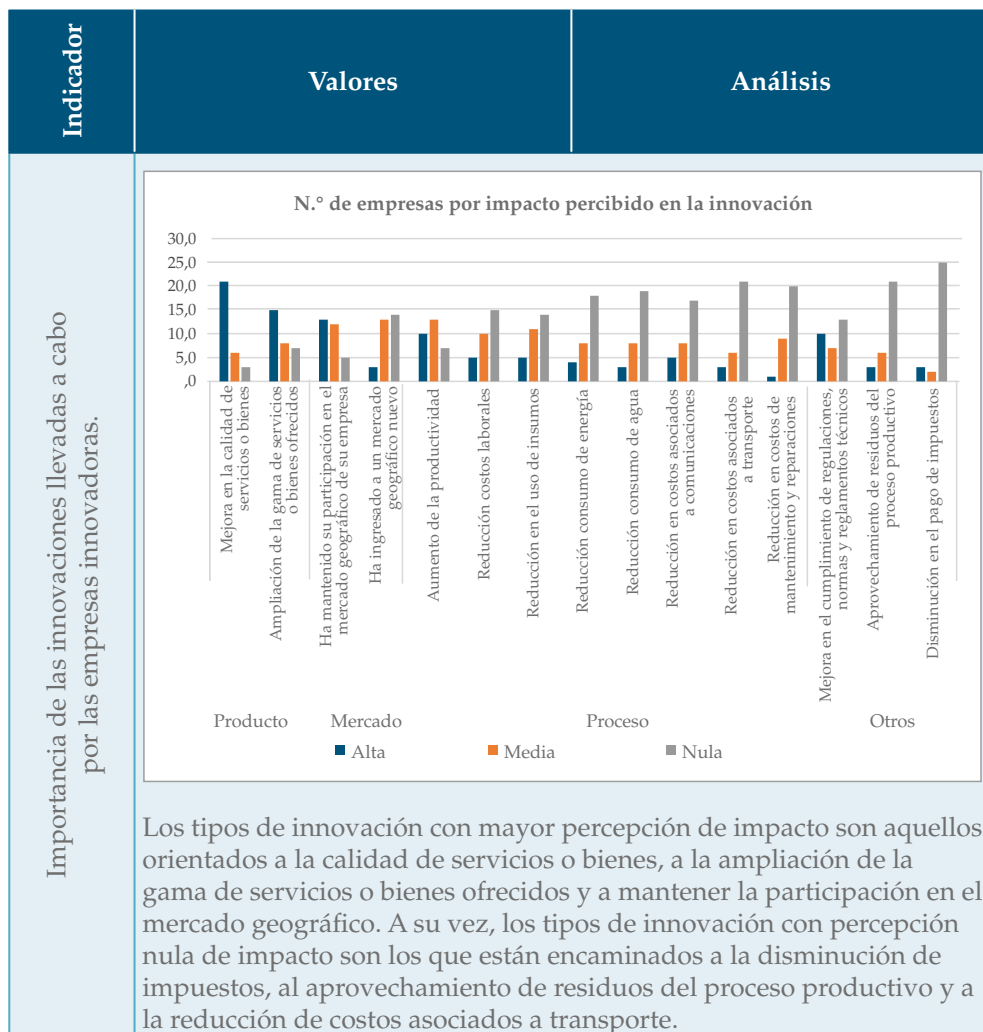
Indicador	Valores	Análisis
Número de empresas por tipología* (grado de la innovación).	3 empresas innovadoras en sentido estricto. 27 empresas innovadoras en sentido amplio. 5 empresas potencialmente innovadoras. 24 empresas no innovadoras.	60% de los centros de investigación se consideran empresas innovadoras.
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)

(Continuación tabla 2)



(Continúa)

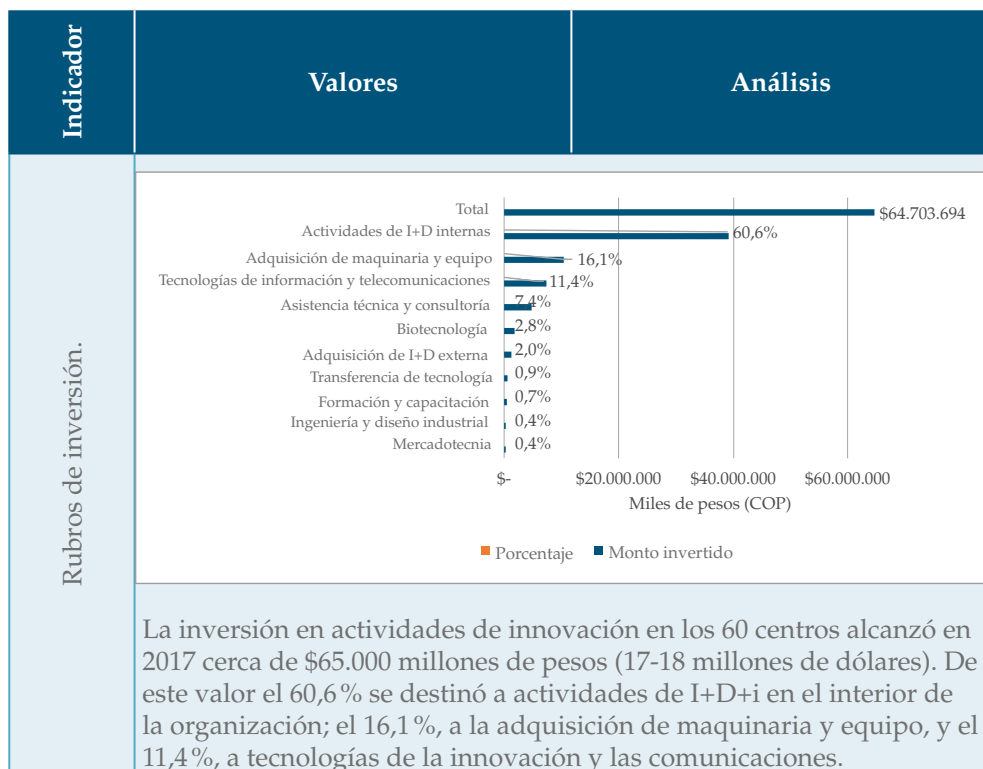


(Continúa)

Indicador	Valores	Análisis
Obstáculos para la innovación.		
	<p>Los obstáculos percibidos con mayor impacto para la innovación son la incertidumbre frente a la demanda de bienes y servicios, la escasez de recursos propios y de información sobre instrumentos públicos de apoyo. Esto lleva a que los procesos de actualización de técnicas, métodos y metodologías no se desarrollen con la frecuencia esperada, lo que se convierte en un cuello de botella para contar con unidades de investigación y de servicios especializados para la comunidad. También es necesario entender las dinámicas de obsolescencia de equipos, de uso de herramientas e insumos para el análisis y los costos asociados.</p> <p>Con impacto medio se destacan la baja rentabilidad de la innovación, las escasas posibilidades de cooperación con otras empresas y de información sobre tecnología disponible.</p>	

(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 (Ceniagua).	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 (Cenicel).	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 ventana temporal 2000-2020, la cual se caracteriza por un comportamiento

⁴ Escaneo tecnológico: adquisición y uso de información sobre tendencias, acontecimientos y relaciones de manera rápida, por lo común 2000-2020, sobre los actuales y al estado de un tópico de interés (Castellano Domínguez, 2011).

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.

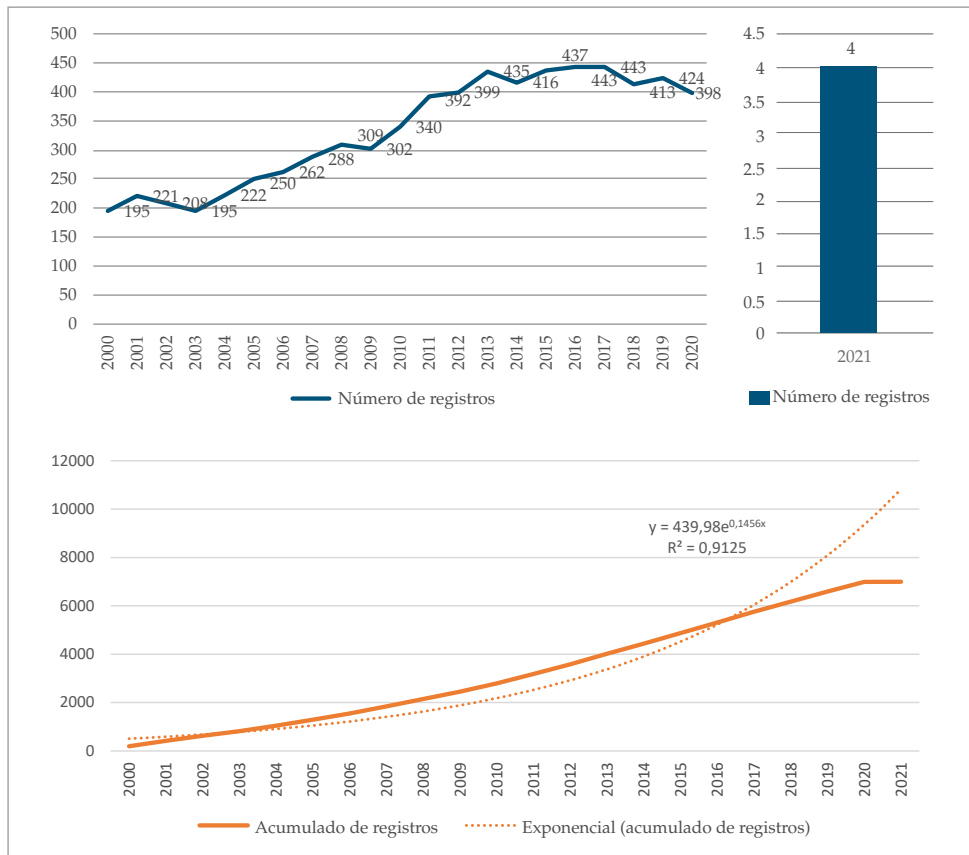


Figura 12. Dinámica de publicaciones acumuladas 2000-2020.

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):

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).

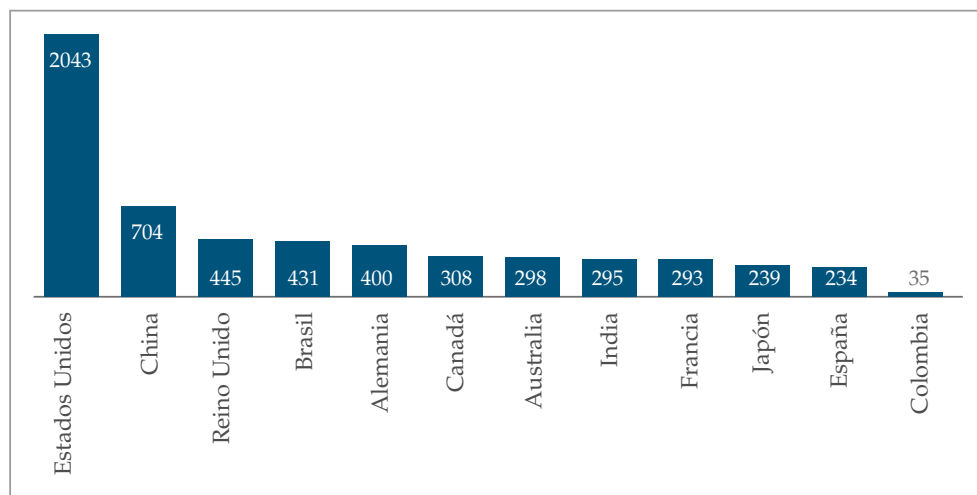


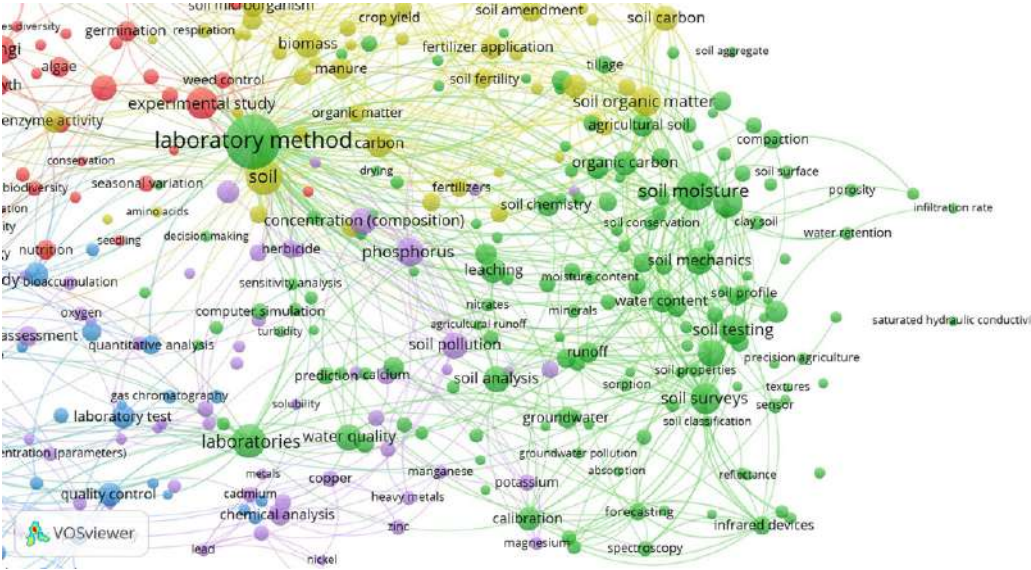
Figura 13. Países referentes en publicaciones por motor de búsqueda (2000-2020).

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, construidos 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).

(Continuación tabla 5)

Clúster	Análisis
Manejo de suelos y aguas	 <p>El clúster verde relacionado con análisis de suelos tiene como tópicos clave: estudio de nutrientes, análisis energético, extracción de nutrientes, análisis de fertilización, caracterización de tipos de suelos, diseño de recomendaciones, estudio de minerales y elementos mayores y menores, análisis del contenido de humedad, análisis de carbono biodisponible y de fuentes de agua subterráneas. Se destaca el uso de técnicas de calibración de equipos de medición, técnica de espectroscopia infrarroja, diseño de nuevos procedimientos, metodologías y adopción de tecnologías de precisión y sensores remotos. El clúster se enfoca en los laboratorios de investigación para el análisis de suelos, el control de calidad, el análisis de poblaciones y de germinación de semillas, el estudio de crecimiento de plántulas, desde un enfoque de modelos analíticos y determinación de la calidad del agua.</p>

(Continúa)

En la figura 15, se presenta el análisis de coocurrencia basado en textos clave, que permite generar una red que complementa la figura 14. Esta red comprende cinco clústeres que integran 588 tópicos y conforman 56.127 enlaces de interacción.

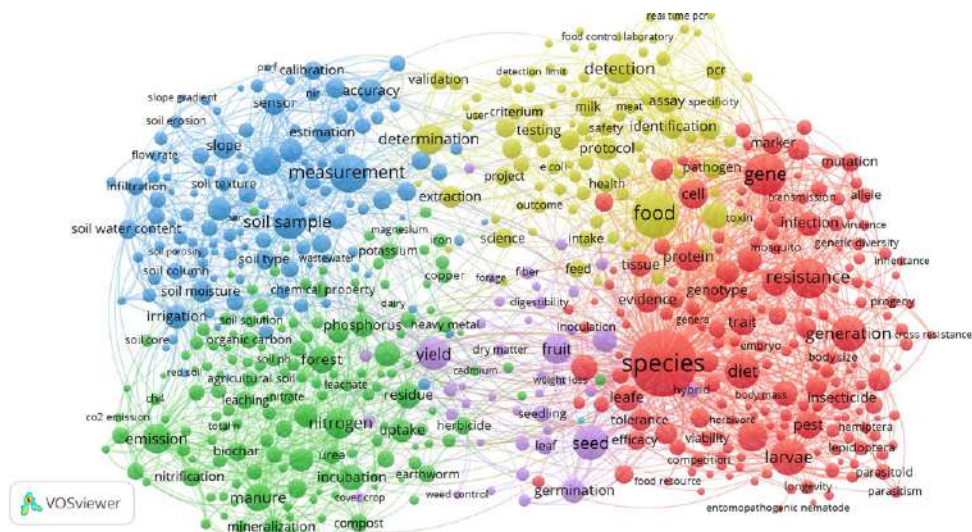


Figura 15. Red de coocurrencia de textos clave, títulos y resúmenes.

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

En la tabla 6, se presenta el análisis de los cinco clústeres en detalle, y se especifica la complementariedad a los clústeres generados por el análisis de palabras claves.

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. 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	<ol style="list-style-type: none"> 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.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Determinación de la toxicidad de productos biológicos a base de <i>Lysinibacillus sphaericus</i> y <i>Bacillus thuringien.</i> 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	<ol style="list-style-type: none"> 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)

(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 indicadores de calidad microbiológica de suelos.	<ol style="list-style-type: none"> Servicios de análisis de hongos micorrízicos arbusculares en suelos o raíces. Recomendaciones de piedra caliza para suelos de Sierra Gaúcha. Base de datos de suelos (B. D. Soils). 	<ol style="list-style-type: none"> Análisis microbiológicos de muestras de suelos. 	<ol style="list-style-type: none"> Laboratorio de suelos. 	X	X	<ol style="list-style-type: none"> Diagnóstico microbiología de Suelos. Biomasa en suelos y abonos orgánicos. Respiración microbiana en suelos y abonos orgánicos. 	X
Servicio de determinación de calidad higiénica, composicional y sanitaria de leche cruda.	<ol style="list-style-type: none"> Análisis de la calidad de la leche. Laboratorio de Calidad de la Leche (Lableite). 	<ol style="list-style-type: none"> Análisis de calidad de leche y agroindustria. 	X	X	X	X	X
Servicio para evaluación de indicadores microbiológicos en alimentos.	<ol style="list-style-type: none"> Análisis de la calidad de la leche. Laboratorio de Calidad de la Leche (Lableite). 	<ol style="list-style-type: none"> Análisis de miel. Diagnósticos de hongos y micotoxinas en posturas y granos. Análisis de parámetros nutricionales. 	X	X	X	X	X
Servicio de micropropagación vegetal.	X	X	X	X	X	<ol style="list-style-type: none"> Vitroplantas. 	X
Servicio de análisis de fertilidad en suelo.	<ol style="list-style-type: none"> Análisis comparativo de la calidad del agua de los recursos hídricos en áreas urbanas y agrícolas. Análisis químico, físico y de fertilidad de la nutrición del suelo y las plantas. Fertmovel (laboratorio móvil de análisis de fertilidad del suelo). 	<ol style="list-style-type: none"> Determinación de fracciones texturales - textura. Determinación de conductividad eléctrica. Determinación de pH. Determinación de azufre extraíble - sulfatos. Determinación de nitrógeno disponible - nitratos. Determinación de fósforo extraíble Determinación de nitrógeno total en suelo 		<ol style="list-style-type: none"> 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.

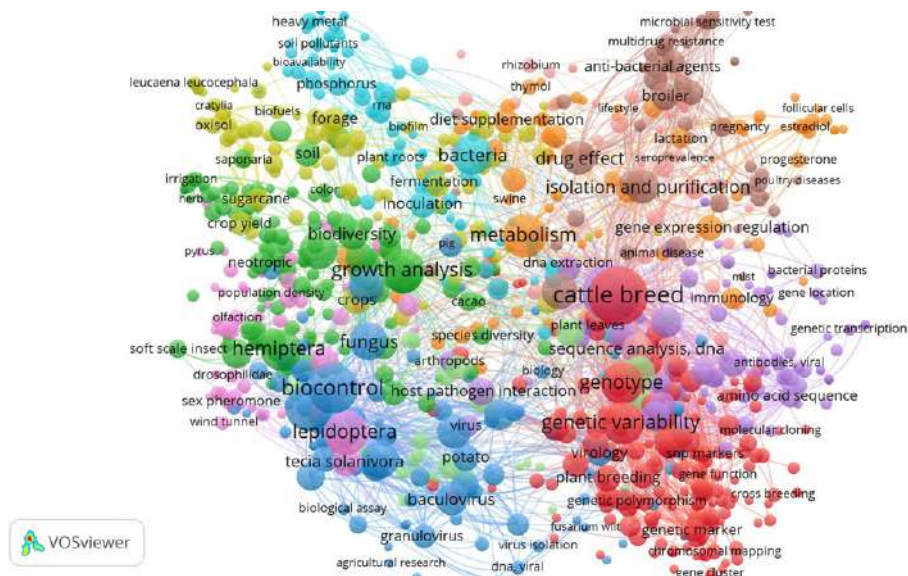


Figura 17. Redes de coocurrencia de palabras clave, productividad científica de AGROSAVIA en Scopus.

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.

