

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Bioeconomía: lineamientos corporativos

Corporación Colombiana de Investigación
Agropecuaria - AGROSAVIA

2021-2022



El campo
es de todos

Minagricultura



Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Bioeconomía: lineamientos corporativos

Corporación Colombiana de Investigación
Agropecuaria - AGROSAVIA

2021-2022



El campo
es de todos

Minagricultura

AGROSAVIA

Director ejecutivo

Jorge Mario Díaz Luengas

Dirección de Planeación y Cooperación
Institucional

Sandra Tatiana Rivero Espitia

Dirección de Investigación y Desarrollo

Rodrigo Alfredo Martínez Sarmiento

Dirección de Vinculación

Martha Isabel Gómez Álvarez

Jefe Departamento de Producción
Intensiva Sostenible

Martha Marina Bolaños Benavides

Jefe Departamento de Articulación
Institucional

Claudia Patricia Uribe Galvis

Equipo de edición

Ana María Jiménez Guzmán

Angélica María Ramírez Beltrán

Gloria Patricia Barrera Cubillos

Jairo Javier Santana Medina

Juan Carlos Fuentes Benites

María Margarita Ramírez Gómez

Equipo de compilación

Adriana Carolina Peña Holguín

Ana María Jiménez Guzmán

Angélica María Ramírez Beltrán

Claudia Patricia Uribe Galvis

Felipe Andrés Romero Perdomo

Jairo Javier Santana Medina

María Margarita Ramírez Gómez

Martha Marina Bolaños Benavides

Natalia Flórez Tuta

Investigadores:

Mesa Prácticas de Agricultura Sostenible

Claudia Janeth Ariza Nieto

Fabián Enrique Martínez Camelo

Gladis Emilia Múnera Uribe

Jairo Javier Santana Medina

María Margarita Ramírez Gómez

Martha Marina Bolaños Benavides

Santiago Andrés Roa Ortiz



Mesa Biodiversidad

Ana María Jiménez Guzmán
Antonio María Martínez Reina
Carolina González Almario
Felipe Andrés Romero Perdomo
Hugo Rodolfo Jiménez Sabogal
Julio Ramírez Durán
Layanis Mesa Garriga
María Margarita Ramírez Gómez
Martín Emilio Rodríguez Mosquera
Natalia Flórez Tuta
Tatiana Alejandra Rodríguez Quiroz

Mesa Economía Circular

Adriana Carolina Peña Holguín
Angélica María Ramírez Beltrán
Édgar Fernando Almansa Manrique
Felipe Andrés Romero Perdomo
José Guillermo Velásquez Penagos
Juan Carlos Fuentes Benites
Juan Mauricio Rojas Acosta
Luis Fernando Gómez Gil
William Andrés Cardona

Mesa de Bioproductos

Ana María Jiménez Guzmán
Antonio María Martínez Reina
Eddy Johana Bautista Bautista
Felipe Andrés Romero Perdomo
Fredy Mauricio Cruz Barrera
Germán Andrés Estrada
Gloria Patricia Barrera Cubillos
Layanis Mesa Garriga
Natalia Flórez Tuta
Paola Emilia Cuartas Otálora
Tatiana Alejandra Rodríguez Quiroz

Vigilancia Tecnológica

Adriana del Pilar Zambrano Muñoz
Ana María Jiménez Guzmán
Claudia Patricia Uribe Galvis
Jairo Javier Santana Medina
José Iván Medina Obregoso

Pectia y Agenda I+D+i

Claudia Patricia Uribe Galvis
Jairo Javier Santana Medina





Contenido

Introducción	13
Capítulo 1	16
Marco conceptual	17
Prácticas de agricultura sostenible	20
Biodiversidad	23
Economía circular	24
Bioproductos	29
Capítulo 2	34
Análisis de los componentes político, económico, social, tecnológico, ambiental y legal (Pestal)	35
Político	35
Económico	42
Social	50
Tecnológico	54
Ambiental	58
Legal	62
Capítulo 3	68
El Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano (Pectia) y la Agenda I+D+i	69



Capítulo 4	74
Vigilancia tecnológica	75
Prácticas de agricultura sostenible	75
Biodiversidad	78
Biodiversidad	78
Bioprospección	82
Economía circular	85
Bioproductos	88
Capítulo 5	92
Contribución de AGROSAVIA	93
Diagnóstico de acciones corporativas	94
Prácticas de agricultura sostenible	94
Biodiversidad	96
Economía circular	99
Bioproductos	100
Definición de las líneas estratégicas de trabajo por enfoque	101
Prácticas de agricultura sostenible	101
Biodiversidad	102
Economía circular	103
Bioproductos	103



Capítulo 6	106
Consideraciones finales	107
Referencias	111
Anexos	125
Anexo 1. Documentos relacionados con el marco político de los enfoques de bioeconomía prorizados por AGROSAVIA	125
Anexo 2. Documentos relacionados con el marco jurídico y normativo de los enfoques de bioeconomía prorizados por AGROSAVIA	134
Anexo 3. Ecuaciones de búsqueda aplicadas en Scopus y Web of Science para la vigilancia tecnológica	139
Anexo 3.1. Ecuaciones para el enfoque de prácticas de agricultura sostenible	139
Anexo 3.2. Ecuaciones para el enfoque de biodiversidad	139
Anexo 3.3. Ecuaciones para el enfoque de bioprospección	140
Anexo 3.4. Ecuaciones para el enfoque de economía circular	140
Anexo 3.5. Ecuaciones para el enfoque de bioproductos	141



Lista de figuras

Figura 1.	Ciclo de funcionamiento de la economía circular (EC)	25
Figura 2.	Pirámide de priorización para las alternativas de EC, en la que se maximiza el valor de los residuos orgánicos en la cadena de valor agroalimentaria	28
Figura 3.	Departamentos con mayor concentración de demandas de I+D+i relacionadas con bioeconomía	72
Figura 4.	Cadenas productivas de la Agenda I+D+i con demandas en bioeconomía	73
Figura 5.	Dinámica de publicaciones en prácticas sostenibles, 2000-2020	75
Figura 6.	Mapa temático para prácticas de agricultura sostenible analizado con Bibliometrix	76
Figura 7.	Principales organizaciones de investigación en prácticas de agricultura sostenible en el mundo	77
Figura 8.	Principales organizaciones de investigación en prácticas de agricultura sostenible en Colombia	78
Figura 9.	Número de publicaciones sobre biodiversidad, 2000-2020	79
Figura 10.	Mapa temático para biodiversidad analizado con Bibliometrix	80
Figura 11.	Países con mayor número de investigaciones en biodiversidad	81
Figura 12.	Principales instituciones nacionales de investigación en biodiversidad	82
Figura 13.	Número de publicaciones sobre bioprospección, 2000-2020	83



Figura 14.	Mapa temático para bioprospección analizado con Bibliometrix	84
Figura 15.	Principales países con investigaciones en bioprospección	84
Figura 16.	Dinámica de publicaciones sobre economía circular, 2000-2020	85
Figura 17.	Mapa temático para economía circular analizado con Bibliometrix	86
Figura 18.	Principales organizaciones de investigación en economía circular en Latinoamérica y el resto del mundo	87
Figura 19.	Dinámica de publicaciones sobre bioproductos, 2000-2020	88
Figura 20.	Mapa temático para bioproductos analizado con Bibliometrix	89
Figura 21.	Principales países según número de investigaciones en bioproductos	90



Lista de tablas

Tabla 1.	Ejemplos de políticas relacionadas con el desarrollo de la bioeconomía en Colombia	36
Tabla 2.	Ejemplos de mecanismos de implementación de políticas	39
Tabla 3.	Indicadores de bioeconomía	49
Tabla 4.	Indicadores sociales de bioeconomía	53
Tabla 5.	Indicadores ambientales de bioeconomía	59
Tabla 6.	Marco legal en materia de biodiversidad	62
Tabla 7.	Demandas de la Agenda I+D+i y el Pectia potencialmente relacionadas con bioeconomía	70







Introducción

“La bioeconomía es la producción, utilización y conservación de los recursos biológicos. Busca el suministro sostenible de bienes y servicios a todos los sectores económicos. Involucra grandes encadenamientos productivos hacia adelante y hacia atrás. Es intensiva en conocimiento. Necesita, por lo tanto, una cooperación entre el sector privado y la academia. Puede, al mismo tiempo, sustentar un desarrollo equitativo, inclusivo y sostenible”.

Misión de sabios: Colombia 2019 (2019, p. 17)

“En Colombia se resalta la bioeconomía como una ‘economía que gestiona de manera eficiente y sostenible la biodiversidad y la biomasa para generar nuevos productos, procesos y servicios de valor agregado basados en el conocimiento y la innovación”.

Departamento Nacional de Planeación [DNP] (2018, p. 26)

La bioeconomía tiene el potencial de convertirse en un discurso global influyente en distintos aspectos y de erigirse como motor del sector agropecuario (Pfau et al., 2014). Se describe como el resultado de una creciente preocupación social por el agotamiento de los recursos, el uso de los suelos y el cambio climático (Scarlat et al., 2015). Los modelos productivos se han acoplado a las demandas del naciente movimiento enfocado en el aprovechamiento de los recursos biológicos en todos sus ámbitos, sin dejar de lado la conciencia frente al adecuado manejo de la biodiversidad y las limitantes de la naturaleza.

Avanzar hacia una economía de nuevas industrias y cadenas de valor competentes y de base biológica da lugar a un nuevo panorama económico y requiere, como cualquier nuevo escenario, actualización de políticas y comunicación en las sociedades, así como instituciones

que contengan, expliquen y orienten los comportamientos de los actores con el fin de optimizar los beneficios potenciales y minimizar los costos de transición para todos los involucrados (Trigo et al., 2014). Llevar la producción agrícola hacia nuevos niveles de productividad contribuirá a mejorar la soberanía y la seguridad alimentarias (Von Braun & Kennedy, 1994; Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2010).

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, como actor de la innovación agropecuaria y para cumplir con su propósito superior de transformar “de manera sostenible el sector agropecuario colombiano con el poder del conocimiento para mejorar la vida de productores y consumidores” (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –AGROSAVIA, 2020b), analiza constantemente tendencias y define estrategias que le permitan abordar las necesidades y requerimientos de la población. El presente documento consolida un estudio enmarcado en el contexto de la bioeconomía desde el sector agropecuario, en el cual AGROSAVIA identifica como sus principales enfoques las prácticas de agricultura sostenible, la biodiversidad, la economía circular y los bioproductos. A partir de tales enfoques, promueve la generación de procesos de Investigación, Desarrollo Tecnológico e innovación (I+D+i), alineando sus estrategias corporativas, mejorando sus capacidades y definiendo su visión frente a la bioeconomía.

Así pues, el objetivo de la presente publicación es definir las líneas estratégicas y aportes de AGROSAVIA a la bioeconomía del país mediante los enfoques de prácticas de agricultura sostenible, biodiversidad, economía circular y bioproductos, los cuales permiten orientar la toma de decisiones y las directrices en términos de I+D+i para atender las necesidades del sector agropecuario.





Capítulo 1



Marco conceptual

La inmensa biodiversidad de Colombia constituye su principal activo y su más extraordinaria riqueza presente y futura. El nuestro es un país catalogado como megadiverso. Ocupa el segundo puesto a nivel mundial en riqueza de especies, principalmente por la diversidad de plantas, mamíferos, aves, reptiles, anfibios y peces (Moreno et al., 2016). Sin embargo, este recurso está en riesgo de desaparecer por la pérdida de especies y servicios ecosistémicos. Así mismo, el país cuenta con una ubicación privilegiada puesto que se localiza en la franja ecuatorial. Esto le permite contar con una intensidad de radiación solar global mayor a $5,5 \text{ kWh/m}^2/\text{día}^1$ (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2021), que podría aprovecharse como fuente alternativa de energía. En consecuencia, es esencial fortalecer la investigación científica y la innovación para mejorar el conocimiento de este capital natural, utilizarlo en la restauración y conservación de los recursos naturales y darles a estos un uso sostenible.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2015), el crecimiento económico asociado al comercio de alimentos ha sido significativo en las últimas décadas. El rápido incremento de los ingresos en los países emergentes está impulsando el auge de una clase media, lo que a su vez acelera los cambios en la dieta y la demanda de alimentos de producción intensiva y de características especiales como los orgánicos, con serias repercusiones para el uso sostenible de los recursos naturales y planteando grandes retos a los productores (Beronio & Payumo, 2004). Así mismo, el aumento de la población mundial favorece el incremento de la extracción y uso de la biodiversidad y de los recursos naturales renovables y no renovables, siendo necesarias prácticas sostenibles que involucren procesos de investigación, educación y consumo adecuado.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2017) proyecta que la población mundial será de 8,6 mil millones de personas en 2030 y el ingreso anual per cápita promedio, de USD 8.600. Esta dinámica poblacional aumentará la demanda mundial de servicios de salud que

¹ Promedios más altos en la región Caribe y en amplios sectores de la Orinoquia, y menores en el occidente y suroccidente del país y en algunos sectores aislados de las tres cordilleras.

mejoren la calidad y esperanza de vida, así como la demanda de recursos naturales como alimentos para humanos y animales, fibras para ropa y vivienda, agua, aire limpio y energía. Por la forma como la humanidad está explotando y utilizando los recursos naturales, la oferta de tales recursos deberá aumentar más rápidamente, para no afectar la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres.

Las soluciones a los desafíos generados por factores como el cambio climático, la degradación de los ecosistemas, la pobreza y las débiles políticas de salud pública mundial, requieren cambios de gobernanza global, políticas de innovación, incentivos y organización de la actividad económica. La tecnología para que el mundo deje su dependencia del carbón y otros combustibles fósiles ya existe; la evidencia muestra que las energías renovables son la forma más barata de generar electricidad en dos tercios del mundo y se espera que para 2030 sean las principales fuentes de este servicio. Además de lo anterior, la pandemia de COVID-19 ha provocado caídas a corto plazo en la producción de carbón, petróleo y gas (Stockholm Environment Institute [SEI] et al., 2020). Sin embargo, se estima que la producción de carbón crecerá 150 % para 2030, lo cual no permitiría limitar el calentamiento global (SEI et al., 2020). Es importante mencionar que un incremento de 1 °C en la temperatura global del planeta disminuiría la disponibilidad de agua y aumentaría las áreas de sequía en todas las latitudes y el riesgo de blanqueamiento de corales e incendios forestales (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2018). Esto afectaría el rendimiento de los cultivos por estrés hídrico y calórico y por cambios y distribución de plagas y enfermedades (Masson-Delmotte et al., 2018; Stern, 2006; Solomon, 2007).

La Misión de sabios (2019) fijó como objetivo general de su trabajo aportar a la construcción e implementación de la política pública de educación y de Ciencia, Tecnología e innovación (CTi) y a las estrategias que debe construir el país a largo plazo, para responder a los desafíos productivos y sociales de manera escalable, replicable y sostenible. Las áreas y temas relevantes identificados para trazar la ruta de avance de la CTi como motores del desarrollo y la competitividad sirvieron de base para proponer ocho focos de trabajo², dentro de los cuales se destacan:

² Los focos son: 1) tecnologías convergentes e industrias 4.0, 2) industrias creativas y culturales, 3) energía sostenible, 4) biotecnología, bioeconomía y medio ambiente, 5) océanos y recursos hidrobiológicos, 6) ciencias sociales y desarrollo humano con equidad, 7) ciencias de la vida y de la salud y 8) ciencias básicas y del espacio (*Misión de sabios*, 2019).

- Foco 3: energía sostenible.
- Foco 4: biotecnología, medio ambiente y bioeconomía.
- Foco 8: ciencias básicas y del espacio.

El foco 3 resalta la incorporación de fuentes no convencionales de energías renovables, así como el desarrollo, apropiación y escalamiento de tecnologías innovadoras en los procesos de generación, transformación y uso de la energía, que permitan su aprovechamiento en el sistema energético nacional y su eficiencia, asegurando la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Los focos 4 y 8 enfatizan la importancia de contribuir al conocimiento sobre la agrobiodiversidad de plantas, animales, microorganismos y su variación genética, por medio de estrategias de bioprospección que sirvan de punto de inicio de procesos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación que contribuyan al desarrollo económico del país (bioeconomía) (*Misión de sabios*, 2019). De los otros focos se toman para este documento los aspectos directamente relacionados con el sector agropecuario.

La bioeconomía es un área que abarca una amplia gama de actividades económicas, que a su vez se benefician de nuevos descubrimientos, productos y servicios relacionados con las ciencias biológicas y los derivados de estas. Su implementación en cada país conlleva una transición de sistemas de producción y procesamiento tradicionales a procesos que permitan el uso óptimo de los recursos renovables y la generación de productos de origen biológico (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OECD], 2009). En este sentido, la bioeconomía no se identifica como un sector en sí mismo, sino como un grupo que interconecta diferentes cadenas de valor e involucra tres elementos:

- *Conocimiento biotecnológico*: relacionado con el desarrollo de nuevos procesos para producir una gama de productos como biofarmacéuticos, bioinsumos agropecuarios (biofertilizantes, bioplaguicidas), vacunas recombinantes y nuevas variedades vegetales y genotipos de animales. Este conocimiento requiere un fortalecimiento en I+D+i, así como entender y utilizar sistemas biológicos, herramientas moleculares y bioinformática, entre otros adelantos (New Zealand, Ministry of Research, Science and Technology [NZ MoRST], 2005). En el sector agropecuario, la biotecnología puede favorecer el desarrollo sostenible, al mejorar la eficiencia de la producción primaria y el procesamiento industrial, reduciendo impactos ambientales negativos y fortaleciendo el uso de prácticas sostenibles de producción.

- *Uso de biomasa renovable y eficiencia de bioprocesos para lograr una producción sostenible:* la biomasa puede ser obtenida de fuentes primarias o como subproducto de diferentes orígenes (residuos urbanos, industriales y agropecuarios), los cuales pueden convertirse en nuevos productos si se maximiza su utilización mediante bioprocesos. La energía renovable parece ser más sostenible comparada con la de fuentes fósiles (Kumar et al., 2020; La Notte et al., 2020). Tal es el caso, por ejemplo, de la energía solar, que está disponible y es considerada una fuente limpia e inagotable que se puede aprovechar mediante dispositivos fotovoltaicos. Estos dispositivos generan electricidad cuando incide la luz solar y su potencial de generación depende de factores como la intensidad, las condiciones climáticas locales y el tipo de material fotovoltaico (Kumar et al., 2020).
- *Integración entre conocimientos y aplicaciones:* toma como base el conocimiento genérico, el cual puede ser empleado en diferentes aplicaciones y cadenas de valor. Hay tres tipos de aplicaciones principales para la biotecnología: i) en producción primaria, ii) sanitarias e iii) industriales y medioambientales.

Prácticas de agricultura sostenible

La agricultura sostenible constituye el enfoque general mediante el cual deben valorarse o considerarse las pautas de análisis y transición del desarrollo rural como eje de una gestión que incluye, de manera articulada, aspectos sociales, económicos y ambientales, y que mantiene a lo largo del tiempo el manejo eficiente de los recursos naturales, la productividad y el bienestar social (Bustamante et al., 2021).

La FAO (2020) considera que este enfoque de agricultura sostenible surge de la insuficiencia de los actuales sistemas de producción de mantener la seguridad alimentaria y la salud de los ecosistemas, y de la necesidad de satisfacer las demandas de productos y servicios presentes y futuros de la humanidad, garantizando al mismo tiempo la rentabilidad, la conservación de los ecosistemas, la salud del medio ambiente y la equidad social y económica. Esta visión holística implica mejorar el desempeño ambiental de la agricultura, la eficiencia en el uso de recursos y la construcción de resiliencia desde los territorios, con una gobernanza integral, inclusiva, eficiente e innovadora, con mejores políticas y acceso a mercados, con justicia en la distribución de beneficios derivados de la producción de alimentos, y favoreciendo la seguridad alimentaria mediante la disponibilidad de alimentos saludables para su acceso y consumo.

También es crucial tener en cuenta otros enfoques como la agroecología, que considera la toma de decisiones autónoma por parte de los agricultores (Mills, 2015) y analiza los procesos agrícolas como una combinación de factores ecológicos, sociales, culturales y económicos, en la que las relaciones sociales son el elemento central de su evolución (Rodríguez Espinosa et al., 2015). Estos sistemas se basan en las interacciones naturales de los distintos componentes de un ecosistema, lo que les permite autorregularse y aumentar su propia productividad, la fertilidad del suelo y los disuasores de plagas. Así mismo, la agroecología aboga por un uso más eficiente de procesos de reciclaje orgánicos renovables que combinen y mantengan los recursos de las fincas agrícolas, potencien el conocimiento de los agricultores (Levidow et al., 2012) y generen productos inocuos favorables para la salud de los consumidores.

Con el fin de lograr un desarrollo sostenible, se requiere conservar a largo plazo y en buenas condiciones: i) factores ambientales (biodiversidad, agua, suelo y aire), ii) recursos renovables y seguridad alimentaria y iii) capacidades tecnológicas (para desarrollar alternativas frente al agotamiento de los recursos no renovables y el cambio climático). Por lo tanto, el desarrollo sostenible depende del crecimiento económico de los factores que mantienen la sostenibilidad ambiental (puntos i y ii), lo cual requiere disociar el crecimiento económico de los factores que degradan el ambiente y hacer un análisis de ciclo de vida (ACV³). Lo anterior con el fin de identificar las tecnologías de producción ambientalmente eficientes y buscar con ello que a largo plazo, con el crecimiento económico, se reduzca a cero el daño ambiental y se mitigue la contaminación del suelo, el agua y el aire (OECD, 2009).

Un aspecto importante para mantener la vida y promover la buena salud es el acceso a cantidades suficientes de alimentos inocuos y nutritivos. Los alimentos inseguros que contienen bacterias, virus, parásitos o sustancias químicas dañinas tienen el potencial de causar más de 200 enfermedades, desde la diarrea hasta el cáncer. Se estima que anualmente 600 millones de personas en el mundo, casi una de cada diez, enferman después de ingerir alimentos contaminados, lo que provoca 420.000 muertes (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021).

³ El ACV es un método para calcular el impacto ambiental total de un producto durante su ciclo de vida, incluyendo el impacto ambiental de la producción de insumos, la fabricación del producto, su distribución y transporte, el uso previsto y la eliminación después de su uso (OECD, 2009).

La investigación desde el sector agropecuario con tecnologías avanzadas permite mejorar la salud y el bienestar de los consumidores, al priorizar la relación de la alimentación con la salud para incrementar la demanda de productos funcionales. Hoy en día, los alimentos funcionales representan una tendencia sólidamente asentada que fomenta la alimentación saludable como una respuesta a los hábitos alimentarios erróneos difundidos por el modo de vida contemporáneo. El consumo de alimentos funcionales ya no es más una sofisticación propia de los países más desarrollados; por el contrario, la tendencia a su consumo en los países de América Latina ha experimentado un aumento notable que, con el aporte de la biotecnología, debería redundar en productos de mayor calidad y menor costo, contribuyendo a la integración social respecto a la alimentación. Son muchas las opciones de investigación y desarrollo en el área, las cuales deben ser recogidas por los investigadores como un modelo propicio para dar valor agregado significativo a las materias primas (Illanes, 2015).

Lograr una producción agropecuaria sostenible requiere incluir principios como los siguientes: i) uso eficiente de los recursos; ii) conservación, protección y mejora de los recursos naturales; iii) protección de los medios de subsistencia rurales y mejora de la equidad y el bienestar rural; iv) aumento de la resiliencia de las personas, las comunidades y los sistemas, y v) diseño de mecanismos de gobernanza responsables y eficaces (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015).

En concordancia con lo anterior, el portal Siembra (www.siembra.gov.co) de Colombia identificó 539 demandas de diversos actores de las cadenas productivas sobre sostenibilidad en el sector agropecuario y agroindustrial, entabladas en 29 de los 32 departamentos durante el periodo 2011-2019, específicamente para las cadenas productivas de acuicultura, cacao, café, forestales, frutales, ganadería láctea y de carne, hortalizas, panela, plantas aromáticas y medicinales. Las demandas se encuentran categorizadas en temas como manejo ambiental y sostenibilidad (334); manejo del sistema productivo (79); manejo de suelos y aguas (24); manejo cosecha, poscosecha y transformación (19); material de siembra y mejoramiento genético (18); transferencia de tecnología, asistencia técnica e innovación (18); socioeconomía, mercadeo y desarrollo empresarial (17); calidad e inocuidad de insumos y productos (17); manejo sanitario y fitosanitario (7), y sistemas de información, zonificación y georreferenciación (6). Todas estas demandas evidencian la necesidad de enfocar esfuerzos en la propuesta de soluciones enmarcadas en el ámbito de la bioeconomía.

Biodiversidad

La biodiversidad o diversidad biológica, entendida como el conjunto de organismos vivos, la interrelación con su entorno y sus productos derivados, se considera un elemento clave en el desarrollo social, económico y ambiental (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1992), y requiere de procesos de bioprospección para conocer su potencial. El término *bioprospección* hace referencia a la búsqueda sistemática de material biológico, incluidos organismos, genes, compuestos químicos, extractos y otros materiales de la naturaleza, con usos actuales y potenciales para el desarrollo de productos a escala industrial (Quezada, 2005; Bull, 2004; Castree, 2003; Melgarejo et al., 2002; Chapela, 1996; Alatorre, 1995; Sittenfeld & Gámez, 1993). En agricultura, las actividades de bioprospección pueden enfocarse en el desarrollo de diferentes líneas de investigación, como procesos de inocuidad, sanidad y nutrición animal y vegetal.

La bioprospección soporta el desarrollo de bioproductos aplicables al sector agroecuario, incluidos aquellos destinados al control biológico, la biofertilización, la biorremediación, entre otros. Estos productos son el resultado de procesos biológicos en los que se emplean organismos vivos (bacterias, hongos, algas y plantas) para transformar ciertas sustancias o compuestos (Melgarejo & Reyes, 2002). La bioprospección incluye actividades básicas, desde colecta e identificación hasta aplicación de procesos biotecnológicos conducentes al desarrollo científico y socioeconómico de las comunidades.

En general, la búsqueda de oportunidades o soluciones a problemas específicos a través de la bioprospección, implica la investigación de la biodiversidad y de sus productos para llegar a los mercados objetivo bajo una mirada de bioeconomía. En este contexto, la bioeconomía debe ir de la mano de la biotecnología, la cual está soportada en la biodiversidad y representa un activo nacional para el desarrollo socioeconómico del país. Así, la biotecnología se proyecta como un área estratégica para proteger los servicios ecosistémicos y para conocer, conservar, valorar y usar sosteniblemente la biodiversidad, y como una herramienta para la puesta en marcha de estrategias y políticas nacionales e impactar la sostenibilidad en la producción de alimentos, en la agricultura y en el uso sostenible de los organismos y sus metabolitos (*Misión de sabios*, 2019).

Economía circular

La economía circular (EC) es un enfoque que tiene como objetivo mantener en todo momento el valor de los recursos mediante la conservación continua de los ciclos biológicos y técnicos para mejorar el capital natural (World Business Council for Sustainable Development [WBCSD], 2017). Sus inicios se remontan a diferentes escuelas de pensamiento que buscaban modificar el funcionamiento del modelo económico lineal para convertirlo en un sistema económico industrial más resiliente (Bonciu, 2014). Como fruto de este propósito, se empezaron a divulgar planteamientos como los siguientes, que hoy en día se consideran las raíces de la EC: economía del rendimiento, ecología industrial y *Cradle to Cradle* (de la cuna a la cuna).

El primer planteamiento, el de la economía del rendimiento, fue propuesto por Walter Stahel (1976), y estudia el modo como un ciclo económico puede incrementar la creación de empleo, la competitividad, la reducción del uso de recursos y la generación de residuos (Moreno-González, 2018).

El segundo planteamiento, el de la ecología industrial, comprende la optimización del ciclo total de materiales, desde los naturales hasta la materia prima transformada (el componente, el producto, el residuo del producto y la disposición final) (Prieto-Sandoval et al., 2017).

Por último, el planteamiento *Cradle to Cradle* (de la cuna a la cuna) se basa en tres pilares: i) eliminar el concepto de residuos, ii) hacer uso de la energía renovable y iii) promover el diseño sostenible de productos, bienes y servicios (McDonough et al., 2003).

Según Winans et al. (2017), la aplicación de la EC comprende tres categorías principales: i) instrumentos y enfoques de políticas, ii) cadenas de valor basadas en la promoción de la simbiosis o redes industriales (Morsetto, 2020) e iii) innovación tecnológica, organizacional y social (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

En concreto, el funcionamiento de la EC abarca ciclos técnicos y biológicos (figura 1). Los primeros buscan que el diseño de los bienes permita la reutilización de estos pasado un tiempo mediante la recolección, procesamiento, producción, compra y consumo (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Los segundos consisten en la adquisición de materia prima y en la regeneración de

residuos para su reincorporación a la naturaleza. Aquí la investigación, la innovación y el desarrollo desempeñan un papel fundamental, en aspectos como la extracción bioquímica y la digestión anaeróbica (Moreno-González, 2018).



Figura 1. Ciclo de funcionamiento de la economía circular (EC).

Fuente: Romero-Perdomo & Carvajalino Umaña (2020)

Según Domenech Aparisi et al. (2019), la EC tiene, entre otras, las siguientes características: reducir los insumos y el uso de los recursos naturales, compartir en mayor medida la energía y los recursos renovables y reciclables, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de todo el ciclo material, reducir las pérdidas de materiales y residuos, y conservar la vida útil de los productos, los componentes y los materiales en la economía. Se destacan, además, aspectos como la eliminación de residuos en el proceso de diseño cuando los componentes biológicos y técnicos se promueven para el desmontaje y la readaptación (Den Hollander et al., 2017), y la utilización de energía a partir de fuentes renovables para el funcionamiento de los sistemas, lo que sería posible por los reducidos valores de energía que precisa una EC (Pan et al., 2015).

Según lo anterior, dos puntos desempeñan un papel importante dentro de la EC: el uso de energías alternativas y la biomasa residual.

Los recursos energéticos, como su nombre lo indica, son aquellos con el potencial de producir energía. Existen dos tipos, según el tiempo de regeneración: los renovables y los no renovables (Montecinos & Carvajal, 2018). Los no renovables se consumen en un tiempo mucho menor del que demanda su producción, por lo que se consideran fuentes limitadas, y entre ellos se destacan los combustibles fósiles y la energía nuclear (Montecinos & Carvajal, 2018). Estos recursos traen consigo dos graves problemas. Por un lado, se prevé el agotamiento de sus reservas, y por otro lado, generan una fuerte contaminación, ya que, por ejemplo, liberan grandes cantidades de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global.

Por otra parte, los recursos renovables son fuentes de energía que pueden considerarse "ilimitadas" o "inagotables", debido a la cantidad de energía que contienen y a que son capaces de regenerarse de forma natural. También reciben el nombre de "energías alternativas" (Xu et al., 2019), y dentro de ellas se destacan la energía solar, la hidráulica, la geotérmica, la eólica y la energía de la biomasa (obtenida de los residuos agropecuarios, industriales y urbanos).

Actualmente, el 90 % de la energía mundial consumida procede de fuentes no renovables, lo que supone contaminación ambiental y agotamiento de reservas (Gibson et al., 2017).

Para llevar a cabo una transición más efectiva de energías no renovables a renovables y establecer una conexión con la EC, se deben sustituir los actuales paradigmas por otros que involucren sistemas híbridos, sistemas distribuidos para producción de energía, mayor participación de la demanda en el mercado y costos más competitivos de las tecnologías, entre otros componentes.

El sistema energético de Colombia se caracteriza por bajos consumos de energía y baja producción de emisiones —el país ocupa el puesto 138 dentro de un *ranking* de 184 naciones ordenadas de mayor a menor por emisiones contaminantes de CO₂ (International Energy Agency [IEA], 2020)—. El país tiene una economía basada en la producción de materias primas con poco valor agregado, en la que el petróleo y sus derivados tienen una importante participación. Pero su matriz energética ha empezado a diversificarse y tiene una cadena eléctrica limpia, basada en un modelo tecnológico robusto e interconectado, con generación a gran escala y un mercado en desarrollo que da prioridad a la oferta.

Se prevé que las fuentes de energía para el suministro eléctrico global crecerán de 26 % en 2018 a 44 % en 2040 (la demanda aumentará 70 %), gracias a las tecnologías eólica y fotovoltaica. Con la implementación de las energías limpias se estaría haciendo una transición a una EC (Olabi, 2019). Al respecto, es importante tener en cuenta que la circularidad de este tipo de economía no alcanza a ser completa, debido a procesos de degradación permanente por disipación de materiales y de muchas de las sustancias utilizadas en el proceso productivo. Existen límites termodinámicos y económicos, por lo que siempre quedarán residuos sin reciclar (Cordero, 2019).

Actualmente, la humanidad enfrenta el desafío de alimentar a una población en crecimiento sin agotar los recursos biológicos y físicos del planeta (Muscat et al., 2019). En este contexto, y de cara a la seguridad alimentaria, surge la pregunta clave de si hay suficiente biomasa para el futuro (Van Hal et al., 2019). El desafío radica en cómo manejar la competencia entre alimentos y combustibles por biomasa.

La agricultura circular surge como respuesta a este desafío, dado el papel significativo que empieza a desempeñar en la economía y la sostenibilidad ambiental en el mundo (Toop et al., 2017). Este tipo de agricultura se define como una producción agrícola que ejerce la menor

presión posible sobre el medio ambiente y los recursos naturales y que toma como base la economía circular (Sherwood, 2020). Al pasar de una agricultura lineal a una circular se cierran los ciclos de producción agropecuaria, desde el productor hasta el consumidor final, y se disminuyen las pérdidas o fugas del sistema (Barros et al., 2020).

En los sistemas agroalimentarios, los ciclos biológicos hacen referencia a la valorización de la materia orgánica que se genera en toda la cadena productiva de alimentos (Jurgilevich et al., 2016). Una agricultura bajo un sistema circular contempla movimientos de materias primas entre cadenas agroalimentarias, así como flujos de residuos provenientes de diferentes industrias mediante la simbiosis industrial (Toop et al., 2017). Los residuos del sector agropecuario y de las cadenas alimentarias se reutilizan o transforman en nuevos productos, lo que implica que las empresas deben incrementar esfuerzos para consumir la menor cantidad de energía posible, privilegiando aquella que proviene de fuentes renovables (Fassio & Tecco, 2019). Las acciones deben dar mayor importancia a la prevención y a la reducción de pérdidas y desperdicios de alimentos (PDA), y si esto no es posible, a la reutilización y reciclaje y en última instancia a la incineración (figura 2) (Cañoles et al., 2019).

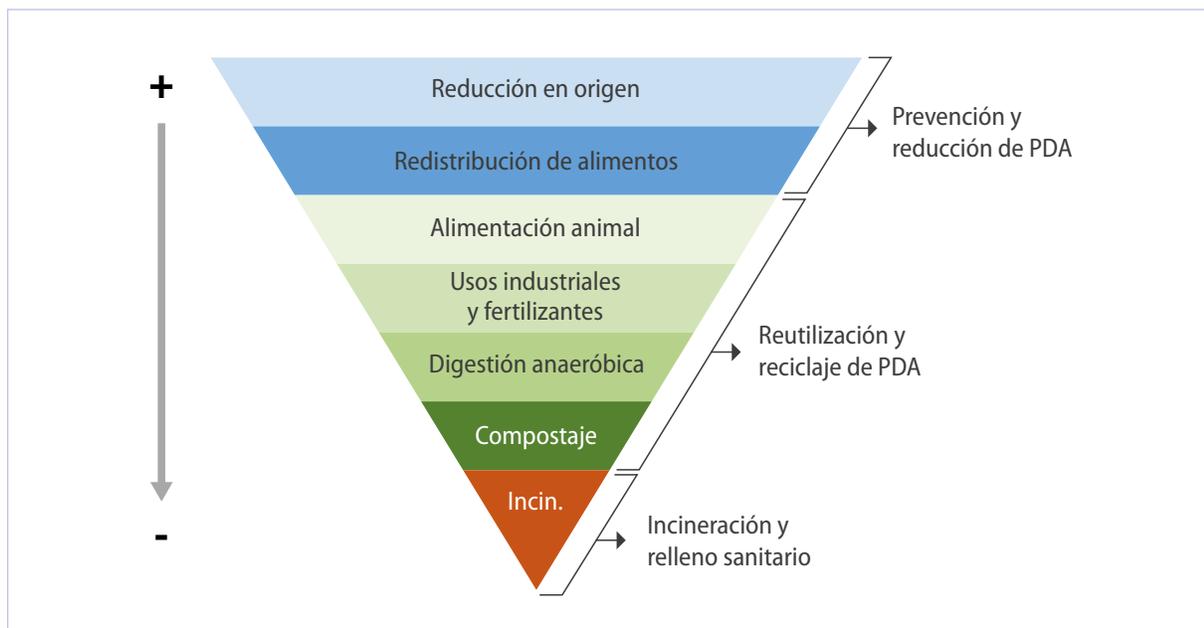


Figura 2. Pirámide de priorización para las alternativas de EC, en la que se maximiza el valor de los residuos orgánicos en la cadena de valor agroalimentaria.

Fuente: Cañoles et al. (2019)

Por otro lado, los ciclos técnicos están relacionados con el uso de maquinaria y plásticos en los predios agrícolas. La fabricación de maquinaria agrícola debe contemplar diseños modulares que permitan el intercambio de componentes y repuestos. En cuanto a los plásticos, actualmente los esfuerzos se concentran en disminuir su uso y promover una gestión adecuada que permita su reciclaje (Cañoles et al., 2019).

Bioproductos

En Colombia, se encuentra aproximadamente el 10 % de las especies conocidas en el mundo. El país alberga 56.724 especies, entre mamíferos, aves, reptiles, plantas con flores, helechos y plantas vasculares, y ocupa el segundo puesto entre los países más biodiversos del mundo (Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC], 2020). Está calificado como un país de gran potencial para la generación de productos naturales o bioproductos de interés para los sectores cosmético, agropecuario, farmacéutico, textil, de salud humana y animal, de medio ambiente, alimenticio e industrial, los cuales, en algunos casos, importan los insumos requeridos para la generación de sus productos, en atención a variables como precio, calidad y menor riesgo (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca [CVC], 2020).

Los bioproductos son preparaciones con alto valor agregado, obtenidos a partir de la totalidad o parte de los organismos vegetales, animales, macro o microorganismos, cuya función y principios bioactivos están teniendo una demanda creciente para la elaboración de bioplaguicidas, biofertilizantes, eubióticos, cosméticos, fármacos, alimentos, nutracéuticos, entre otros, que favorecen la salud humana y animal. Por su parte, los principios bioactivos, en interacción con los organismos, tienen influencia en las actividades celulares y fisiológicas, como los terpenoides y los compuestos fenólicos y azufrados (Carbajal Azcona, 2013).

Uno de los ámbitos de aplicación de los bioproductos es el agropecuario. En este sector, el uso indiscriminado de insumos químicos ha generado impactos negativos en el suelo, el medio ambiente, la inocuidad y la biodiversidad (Republic of the Philippines, Department of Agriculture, 2001). Dentro de los insumos químicos usados en los cultivos y en el sector pecuario se encuentran plaguicidas, fertilizantes, antibióticos y antihelmínticos, siendo los primeros los de mayor uso y complejidad. Su empleo excesivo causa un grave desequilibrio en los nutrientes del suelo y acumulación de metales pesados, lo cual tiene efectos en la

inocuidad de los alimentos y en el bienestar animal y, en consecuencia, en la economía y estabilidad del sistema (Damalas & Eleftherohorinos, 2011; Damalas & Koutroubas, 2016).

Lo anterior ha hecho que se busquen alternativas tecnológicas, dentro de las cuales se encuentran bioproductos de uso agrícola como bioplaguicidas, biofertilizantes, acondicionadores biológicos de suelos, extractos vegetales, productos bioquímicos y bioinoculantes (Fawcett & Towery, 2002). La necesidad de una producción agrícola más sostenible e inocua, sumada a una visión innovadora en el uso de los recursos biológicos y a la tendencia a un consumo consciente de los alimentos, han generado una creciente demanda de insumos de base biológica y una oportunidad económica de mercado (Beronio & Payumo, 2004). Satisfacer esta demanda requiere un esfuerzo de investigación y desarrollo en áreas relacionadas con la producción, garantía de calidad, aplicación de campo y transmisión de conocimiento (Goedde et al., 2015).

En Colombia se han dado avances importantes en el desarrollo de productos BIO, en particular en lo que concierne a lineamientos de política sobre acceso a recursos genéticos (lo cual ha sido fundamental para obtener bioproductos agrícolas), como la política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2011). Sin embargo, es necesario fortalecer las condiciones legales, institucionales, técnicas y económicas, para que se puedan desarrollar los bioproductos y generar estímulos encaminados a consolidar una industria de bioinsumos agrícolas y pecuarios en Colombia.

El Documento Conpes 3697 (DNP, 2011) destaca la investigación como instrumento para consolidar un sector de base biotecnológica que contribuya al aprovechamiento de la biodiversidad y los recursos ambientales, con una proyección final sobre la bioeconomía. No obstante, tanto en Colombia como en los demás países de la región, la baja articulación del Estado, las instituciones, los entes de investigación y el sector agrícola, ha obtaculizado la implementación de la política. Para un trabajo efectivo en términos de bioprospección y del correspondiente uso sostenible de la biodiversidad con miras a obtener productos naturales, debe existir una mayor articulación entre los actores de la cadena de valor, de modo que esta articulación favorezca la generación de productos con alto valor agregado y la optimización de recursos.

Las entidades de investigación y educación, así como las empresas de varios sectores, vienen implementando cada vez más estrategias de innovación que usan productos naturales y sus principios bioactivos y que reemplazan o reducen el uso de componentes de síntesis química (Corporación Biointropic et al., 2018). Estas estrategias también contribuyen al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [Cepal], 2019a), principalmente los relacionados con hambre cero, salud y bienestar, agua limpia y saneamiento, y producción y consumo responsables⁴.

A pesar de que Colombia es un país megadiverso, el desarrollo sostenible de bioproductos a partir de la bioprospección de su biodiversidad ha tenido baja cobertura. Esto se ha debido a restricciones presupuestales⁵ para realizar las pruebas de concepto y el escalamiento con miras a atender los requerimientos del mercado (Corporación Biointropic et al., 2018). Además, las investigaciones que se realizan se enfocan en las mismas especies, con lo cual se limita la ampliación del portafolio de productos.

Por otra parte, es necesario que Colombia capitalice las experiencias en investigación y comercialización, la infraestructura disponible y las técnicas y tecnologías para la generación de conocimiento, con el fin de generar, mediante la articulación de instituciones y regiones, la productos de calidad con valor agregado, a partir de recursos naturales usados de forma sostenible (Cotes et al., 2012).

Por lo anterior, es necesario mejorar las capacidades institucionales en términos de conocimientos, técnicas, tecnologías e infraestructura, así como sistematizar los resultados de investigación y los datos generados por las entidades del nivel nacional, con el fin de favorecer el acceso a la información y los procesos de desarrollo e innovación de productos naturales vegetales, animales y de microorganismos, sin que haya duplicidad de esfuerzos y gasto indiscriminado de recursos.

⁴ ODS 2, 3, 6, 12 y 15.

⁵ El Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), hoy Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCiencias), invirtió cerca de COP 16.000 millones durante el periodo 2010-2017, buscando el desarrollo de bioproductos con uso en los sectores agroindustrial, cosmético, de salud, de biorremediación y de bioenergía.

Así mismo, es preciso realizar constantes procesos de inteligencia competitiva y vigilancia tecnológica, para identificar temas de frontera a nivel mundial que permitan orientar las prioridades nacionales de las investigaciones en términos de uso de bioinsumos y sus aplicaciones y que además promuevan procesos educativos y culturales para incrementar su adopción.

Por otra parte, se deben favorecer alianzas con entidades internacionales que cuenten con tecnologías de última generación. Estas alianzas se deben llevar a cabo bajo políticas públicas efectivas de control del tránsito, uso y acceso de los recursos genéticos y biológicos, dentro y fuera del territorio nacional (Mejía González et al., 2009; DNP, 2011, 2018; Corredor Castellanos, 2014).





Capítulo 2

Análisis de los componentes político, económico, social, tecnológico, ambiental y legal (Pestal)

El tratamiento de los enfoques identificados por AGROSAVIA requiere tener en cuenta, para cada uno, los componentes político, económico, social, tecnológico, ambiental y legal (Pestal), los cuales se analizan a continuación.

Político

La Constitución Política de Colombia establece derechos y deberes relacionados con la protección de la diversidad e integridad del ambiente, con la conservación de las áreas de especial importancia ecológica y con el fomento de la educación para el logro de los fines. Así mismo, la constitución indica que se debe planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, con el fin de garantizar su desarrollo sostenible y su conservación, restauración o sustitución.

El plan de desarrollo “Pacto por Colombia, pacto por la equidad” apuesta por una sostenibilidad del campo en la que se armonice la producción agropecuaria con la conservación y el uso eficiente de los recursos naturales. Adicionalmente, la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) enmarca y orienta conceptual y estratégicamente los instrumentos ambientales de gestión (políticas, normas, planes, programas y proyectos), tanto los existentes como los que se desarrollen, para la conservación de la biodiversidad en sus diferentes niveles de organización. Esta política se articula en los siguientes seis ejes temáticos: i) biodiversidad, conservación y cuidado de la naturaleza; ii) biodiversidad, gobernanza y creación de valor público; iii) biodiversidad, desarrollo económico y calidad de vida; iv) biodiversidad, gestión del conocimiento, tecnología e información; v) biodiversidad, gestión del riesgo y suministro de servicios ecosistémicos; vi) biodiversidad,

corresponsabilidad y compromisos globales. Adicionalmente, cuenta con el Plan de Acción de Biodiversidad (PAB) 2016-2030 como instrumento de planificación para la implementación de la política.

En Colombia, el Documento Conpes 113 Social de 2007 define la seguridad alimentaria y nutricional como:

La disponibilidad suficiente y estable de alimentos, el acceso y el consumo oportuno y permanente de los mismos en cantidad, calidad e inocuidad por parte de todas las personas, bajo condiciones que permitan su adecuada utilización biológica, para llevar una vida saludable y activa. (DNP, 2008a, p. 3)

Las políticas que se han generado e implementado en el país establecen condiciones para conocer y utilizar los recursos naturales en el marco de una estrategia nacional de crecimiento y desarrollo sostenibles, así como también políticas de biocomercio y biotecnología que buscan impulsar cadenas de valor a partir de la biodiversidad colombiana. La implementación de estas políticas debe armonizarse con la legislación para que estas puedan lograr sus objetivos. Adicionalmente, se debe tener una visión de largo plazo, con interconectividad de las instancias gubernamentales para la gestión dinámica de la bioeconomía, y enfocada en el biocomercio y el crecimiento sostenible del país. En la tabla 1 se presentan ejemplos de estas políticas y en la tabla 2 algunos mecanismos de implementación, mientras que en el anexo 1 se amplía esta información.

Tabla 1. Ejemplos de políticas relacionadas con el desarrollo de la bioeconomía en Colombia

Año	Política	Descripción
1997	Política de Gestión Ambiental para la Fauna Silvestre en Colombia	Tiene por objeto generar las condiciones necesarias para el uso y aprovechamiento sostenible de la fauna silvestre como estrategia de conservación de la biodiversidad y alternativa socioeconómica para el desarrollo del país, garantizando la permanencia y funcionalidad de las poblaciones naturales y de los ecosistemas de los cuales forman parte.

(Continúa)

(Continuación tabla 1)

Año	Política	Descripción
2008	Documento Conpes 3527: <i>Política Nacional de Competitividad y Productividad</i>	Plantea la necesidad de diseñar una política de aprovechamiento de los recursos genéticos para la agricultura y el desarrollo de la biotecnología en Colombia.
2008	Documento Conpes 3510: <i>Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia</i>	Plantea aprovechar las oportunidades de desarrollo económico y social que ofrecen los mercados emergentes de biocombustibles de manera competitiva y sostenible.
2009	Documento Conpes 3582: <i>Política Nacional de Fomento a la Investigación y la Innovación</i>	Considera la biodiversidad como un área estratégica y reconoce la necesidad de avanzar en su conocimiento y uso sostenible.
2010	Documento Conpes 3678	Política de transformación productiva que plantea un modelo de desarrollo sectorial para Colombia.
2011	Documento Conpes 3697: <i>Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad</i>	Indica que se deben proveer soluciones biotecnológicas innovadoras que aporten valor agregado a las cadenas de producción priorizadas para el sector agropecuario colombiano.
2012	Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE)	Además de promover el establecimiento de bancos de germoplasma, de programas de biotecnología, y la valoración multicriterio de la biodiversidad, procura el desarrollo sostenible del potencial económico de la biodiversidad (Villanueva-Mejía, 2018).

(Continúa)

(Continuación tabla 1)

Año	Política	Descripción
2015	Documento Conpes 3834: <i>Lineamientos de política para estimular la inversión privada en actividades de Investigación, Desarrollo Tecnológico e innovación (I+D+i)</i>	Busca estimular la inversión privada en ciencia y tecnología por medio de deducciones tributarias.
2017	Documento Conpes 3892	Actualización del Documento Conpes 3834.
2017	Documento Conpes 3886	Formula lineamientos de política y propone el programa nacional de pago por servicios ambientales (PSA) para la construcción de la paz.
2018	Documento Conpes 3918: <i>Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia</i>	Es el producto de un consenso general en torno a un marco medible para alcanzar niveles mínimos que garanticen la prosperidad, el bienestar de las personas y la conservación del ambiente.
2020	Documento Conpes 4021: <i>Política nacional para el control de la deforestación y la gestión sostenible de los bosques</i>	Plantea que los bosques colombianos presentan un alto potencial en biodiversidad para la bioeconomía.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Ejemplos de mecanismos de implementación de políticas

Año	Mecanismo	Institución	Contribución
1968, 2009 y 2015	Creación del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) como instituto, transición a departamento administrativo y conformación como ministerio.	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCiencias)	Fomentar el conocimiento, conservación, manejo y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad mediante convocatorias.
1991	Programa Nacional de Biotecnología	Colciencias	Fortalecer la capacidad científica y promover el desarrollo de la biotecnología a nivel nacional.
2015	Proyecto Estratégico de Interés Nacional Colombia BIO	Colciencias	Fomentar el conocimiento, conservación, manejo y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad en los territorios colombianos a través de la ciencia, la tecnología y la innovación (CTi).
2017	Establecer una arquitectura institucional que garantice el proceso de implementación de la Política de Crecimiento Verde.	Departamento Nacional de Planeación (DNP)	Fortalecer la gestión de la información para implantar la Política de Crecimiento Verde.
2018 -2022	Plan nacional de desarrollo "Pacto por Colombia, pacto por la equidad", que es un pacto por la sostenibilidad apoyado en lineamientos de política pública.	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)	Armonizar la producción agropecuaria mediante el uso eficiente de los recursos naturales.

(Continúa)

(Continuación tabla 2)

Año	Mecanismo	Institución	Contribución
2019	Armonización de la información estadística disponible sobre economía circular.	Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)	Fortalecer el Sistema Estadístico Nacional (SEN) para la generación de información relevante y oportuna en economía circular.
2019	Plan Energético Nacional para implementar la política pública del uso racional de la energía y las fuentes no convencionales de energía.	Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)	Obtener un sistema de información del sector minero-energético colombiano.

Fuente: Elaboración propia

En 2015, el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) (hoy Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación [MinCiencias]) lanzó el Proyecto Estratégico de Interés Nacional Colombia BIO, enfocado en tres eslabones de la cadena de valor: i) expedición BIO, ii) investigación, desarrollo e innovación BIO y iii) mentalidad, cultura y comunicaciones. En 2016, para el desarrollo del primer eslabón, se iniciaron 20 expediciones científicas de caracterización de biodiversidad, que incluyeron el fortalecimiento de colecciones biológicas, la ampliación de librerías genéticas y la contribución a la toma de decisiones a nivel nacional. Como parte del segundo eslabón, se promovió el desarrollo de bioinsumos a partir de procesos de bioprospección, mediante la identificación de organismos vivos, genes o productos derivados con potencial de uso en la producción de bienes y servicios para su aplicación en los sectores de salud, agricultura, alimentos, industria, energía y ambiente (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación [Colciencias], 2016). Este proyecto busca que en el año 2025, el 2 % del producto interno bruto (PIB) pueda estar representado por servicios y productos de base biotecnológica.

Por otra parte, se cuenta con la Mesa de Información de Economía Circular (MIEC), la cual se instaló en mayo de 2019 como un insumo clave para la identificación, el fortalecimiento y la generación de la información relevante y oportuna que requiere la toma de decisiones y

la evaluación de política pública asociada a la economía circular (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2020). Entre los objetivos de esta mesa se encuentran los siguientes: i) establecer las necesidades de información de la economía circular mediante su identificación y diagnóstico; ii) definir y ejecutar las acciones enfocadas al aseguramiento de la calidad y la armonización de la información disponible sobre EC; iii) facilitar el acceso y la disponibilidad de la información estadística mediante el Sistema de Información de Economía Circular (SIEC); iv) establecer el potencial estadístico de los registros administrativos que contienen datos relevantes para la EC, y v) generar metodologías e instrumentos para suplir las necesidades de información identificadas en la MIEC. En cuanto a energías sostenibles y política pública, se cuenta con el marco del plan energético nacional, coordinado por el Ministerio de Minas y Energía (MinMinas) mediante la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y una unidad administrativa especial del orden nacional (Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2019).

Un aporte a la política pública en Colombia es la Estrategia nacional de economía circular (ENEC), lanzada en 2019 por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (Mincit), la cual se convirtió en la primera política de este tipo en América Latina (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS] & Ministerio de Comercio, Industria y Turismo [Mincit], 2019). La ENEC tiene como objetivo promover una nueva cultura y nuevos modelos de negocio con transformación productiva y cierre de ciclos de materiales, productores, proveedores y consumidores. En ella se definieron los siguientes tres niveles de impacto: micro (productos, empresas, consumidores), meso (cadenas de valor, parques industriales) y macro (ciudades, regiones, nivel nacional).

Así mismo, Colombia ha adelantado políticas públicas con el fin de avanzar hacia una EC. Ejemplos de ellas son la Política Nacional de Producción Más Limpia (1997), la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenibles (2011), la Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos (2016), el Documento Conpes 3934 de Crecimiento Verde, entre otras (anexo 1).

Para finalizar, es importante recalcar que la producción sostenible y la comercialización de sus productos deben ser objetivos estratégicos del país para dar respuesta a los múltiples propósitos, tanto de política medioambiental como de política agraria, alimentaria y de

desarrollo rural. Se necesitan políticas e instituciones que ofrezcan incentivos para adoptar prácticas agropecuarias sostenibles que afronten el reto de integrar los aspectos medioambientales y de lucha contra la variabilidad y el cambio climático a las políticas del sector agroalimentario, que impongan regulaciones a aquellas acciones que agoten o degraden los recursos naturales, y que faciliten el acceso a los conocimientos y recursos necesarios. Así mismo, deben considerarse fomentos a la investigación de cultivos comerciales de pequeña escala, lo mismo que incentivos de mercado para cultivos con características diferenciales de calidad como, por ejemplo, alimentos funcionales con beneficios en la salud del consumidor.

Económico

El sector agropecuario es uno de los más dinámicos de la economía nacional. Genera más del 80 % de los alimentos que se consumen internamente y tiene una balanza comercial superavitaria. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2021), el sector agropecuario aporta ingresos estables al PIB. Entre 2005 y 2019, el aporte agropecuario al PIB nacional varió entre 5,39 y 7,52 %, siendo más alto en 2005 y menor en 2013. Para 2020, el crecimiento del PIB agropecuario fue de 6,8 %. Lo anterior demuestra que la estabilidad y el crecimiento del sector permiten impulsar iniciativas de mejoras y adopción de nuevas tecnologías vinculadas al uso de biomasa, biodiversidad y biotecnología.

El paso de la economía tradicional a la bioeconomía favorecería el crecimiento tecnológico. Representaría un mayor aporte al PIB y permitiría usar los excedentes de la balanza comercial agropecuaria en la financiación de infraestructura y el aumento de la capacidad instalada, lo cual redundaría en el fortalecimiento de la industria biotecnológica colombiana y en la formación y capacitación del recurso humano en estas áreas (FAO, 2018).

Colombia cuenta con 41,3 millones de hectáreas (ha) aptas para el sector agropecuario, de las cuales 19,3, 13,3 y 3,5 % corresponden a agricultura, ganadería y agroforestería respectivamente; mientras que el uso agrícola es de 4,6 % y el ganadero de 30,6 % respecto al total nacional (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] et al., 2012). En este contexto, como parte de la estrategia de AGROSAVIA, la bioeconomía puede fortalecerse mediante el uso de la agricultura sostenible, la biodiversidad, la economía circular, los bioproductos y la bioprospección, para

reducir la degradación de recursos y valorizarlos y para abrir mercados a los bioproductos con nuevas cadenas de valor que contribuyan al desarrollo regional y local.

Por medio de criterios económicos se identifican características como el tamaño de la bioeconomía y los sectores en los que se inicia la elaboración de nuevos productos biológicos y en los que existe disponibilidad de financiación pública y privada, tejido empresarial, oportunidad de mercado y capacidad de innovación regional. Los siguientes son algunos de los componentes del análisis que se contemplan:

- *Tejido empresarial:* corresponde a las empresas presentes en un determinado territorio. Se deben considerar aspectos como el número de empresas relacionadas con los sectores de la bioeconomía, la presencia de empresas BIO y la dinámica de clústeres regionales.
- *Comercio exterior:* para cada uno de los sectores de la bioeconomía, se debe revisar su comportamiento en ventas y el número de empresas asociadas a la actividad exportadora, teniendo en cuenta que esta última es un indicador del desarrollo económico del sector.
- *Oportunidad de mercado internacional:* se determina revisando el comportamiento de las ventas mundiales de biotecnología en sus diversas aplicaciones e identificando tendencias tecnológicas.
- *Crecimiento económico nacional:* se revisa contemplando las variables de producción y productividad por sector, así como el recaudo de impuestos en comparación con los otros sectores y el porcentaje de crecimiento promedio de los últimos cinco años.
- *Innovación:* se revisa teniendo en cuenta la presencia de empresas innovadoras (en sentido amplio y estricto), así como las inversiones realizadas en actividades de ciencia, tecnología e innovación (ACTI), y la presencia de personal calificado con doctorado y maestría en las empresas.

AGROSAVIA, dada su misión, debe evaluar el entorno económico para identificar los mejores escenarios en los que la bioeconomía pueda posicionarse. Para este posicionamiento, es importante que en tales escenarios se promueva la economía circular, se utilicen herramientas que apoyen la valorización de los recursos biológicos y técnico-científicos, se desarrollen nuevos mercados para los bioproductos y se generen nuevas cadenas de valor que contribuyan al desarrollo regional y local mediante la utilización y conservación de los recursos biológicos y las prácticas sostenibles dirigidas a obtener bienes y productos agropecuarios.

Los análisis macro y microeconómico del sector agropecuario permiten establecer su posición dentro de la economía del país. El primero, el macro, proporciona el contexto general mientras que el segundo se focaliza en el impacto real en los productores, los gremios y el sector.

Así pues, los análisis macro parten de información relacionada con las variables de producción, precios, empleo y desempleo, sector externo, población, pobreza, entre otras, que ayudan al entendimiento del sector en su conjunto. No obstante, dentro del conjunto total de datos macroeconómicos, es necesario desagregar un poco más los datos, con el fin de obtener información que pueda atribuirse específicamente a los productos BIO e incluirse en las cuentas nacionales.

La bioeconomía representa una alternativa sostenible para la recuperación económica de los países de la región, en particular después de la crisis generada por la COVID-19. Según lo establece el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en sus proyecciones para el año 2021, los países de la región latinoamericana tienen nuevos retos, como transformar el sector productivo e impulsar nuevas industrias basadas en los principios de sostenibilidad económica y eficiencia en la utilización de los factores de producción.

En cuanto a la producción agropecuaria en Colombia, se puede apreciar una tasa de crecimiento de 7,8 % desde 2006, aunque con periodos de volatilidad y un decrecimiento en 2012 (-1,3 %). Adicionalmente, la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) de 2019 indicó que la producción total registrada fue de 63.247.863 t⁶. En cuanto a la actividad pecuaria, la información reportada muestra que el total de cabezas de ganado bovino en 2019 fue de 27.239.767⁷ (DANE, 2019). De acuerdo con un análisis de MinMinas, la producción de biomasa residual agrícola y pecuaria fue de 279.333.596 t/año (Ministerio de Minas y Energía [MinMinas], 2010, citado por Villanueva-Mejía, 2018).

⁶ De la producción agropecuaria, 42.208.363 t corresponden al grupo de agroindustriales (66,7 %), 6.712.167 t a frutales (10,6 %), 6.404.514 t a tubérculos y plátano (10,1 %), 4.423.183 t a cereales (7,0 %), 3.051.481 t a hortalizas, verduras y legumbres (4,8 %) y 448.154 t (0,7 %) a árboles frutales dispersos.

⁷ La región con mayor número de cabezas fue la Andina con 9.687.404 (35,6 %), seguida de la región Caribe con 7.522.715 (27,6 %), la Orinoquia con 5.927.531 (21,8 %) y la Amazonia con 2.661.240 (9,8 %). La región Pacífico presentó el menor número de cabezas, con 1.440.877 y una participación de 5,3 %.

La situación de la infraestructura vial en Colombia, especialmente en áreas rurales, debe mejorar significativamente para garantizar los flujos de biomasa y sus productos. Actualmente, 75 % de las vías terciarias se encuentran en mal estado, por lo que el Plan Nacional de Desarrollo estableció metas con el fin de adecuar vías terciarias para la integración regional (DNP, 2019).

La propuesta bioeconómica debe contar con una estrategia que incluya las regiones menos desarrolladas, las cuales son paradójicamente las más biodiversas del país (Canales & Gómez-González, 2020), y debe contemplar el desarrollo de capacidades de innovación, necesarias para procesar y añadir valor a los biorrecursos. Sin esto, se corre el riesgo de perpetuar el papel de las regiones menos desarrolladas como zonas productoras y proveedoras de materias primas con destino a regiones más desarrolladas, en las cuales el valor será agregado y en las que se quedará la mayoría de beneficios generados. Una bioeconomía debe tener un enfoque de desarrollo regional para no incrementar la brecha entre departamentos (Canales & Gómez-González, 2020).

Con respecto al enfoque microeconómico, el aporte de AGROSAVIA (el cual incluye el uso de la biodiversidad) ha permitido el desarrollo de bioproductos y de variedades agrícolas. Así mismo, se han implementado desarrollos para el aprovechamiento de la biomasa y recomendaciones de prácticas sostenibles con enfoque bioeconómico.

Con el objetivo en mente de alcanzar una mayor rentabilidad económica con el uso de la bioeconomía, se debe incrementar el aprovechamiento de las potencialidades de la biodiversidad colombiana, especialmente de microorganismos y sus metabolitos. La orientación hacia la coproducción de biomasa viable y sus metabolitos en los casos en que sea posible facilitará la diversificación y la interconexión entre diferentes sectores y favorecerá la viabilidad económica de los procesos ya que permitirá una disminución de los costos.

La bioeconomía lleva implícita la creación de nuevos productos en escenarios de mayor riesgo e incertidumbre. Como todo lo nuevo, cambia las costumbres y los valores sociales. En este sentido, las agroindustrias o los productores primarios deben optar por el producto diferenciado más conveniente, considerando los riesgos tecnológicos y de mercado. Es decir, no es seguro que se pueda obtener el producto propuesto con las características deseadas y si se logra,

no es seguro que el consumidor lo acepte, pero cada vez que se quiera desarrollar un nuevo producto se debe contemplar la probabilidad de alcanzar un éxito tecnológico y de mercado. Así mismo, es necesario hacer vigilancia tecnológica y comercial para conocer posibles competidores y generar las medidas necesarias para la protección de la propiedad intelectual del desarrollo (Brambila-Paz, 2011).

Los desafíos o retos para poner en funcionamiento la bioeconomía se focalizan en la implementación de estrategias y procesos innovadores que: i) fortalezcan la adaptación de los modelos actuales de negocios a las nuevas tendencias del mercado, ii) integren la cadena de valor desde una perspectiva de sostenibilidad, iii) generen modelos de negocios colaborativos, iv) favorezcan la producción compartida de conocimiento (corredores de conocimiento) e v) incentiven una mayor participación de empresas pequeñas y medianas en el mercado debido a la reducción de los costos en investigación y desarrollo.

Otras estrategias consisten en mejorar las regulaciones y sus procedimientos o procesos asociados con la biodiversidad; minimizar la incertidumbre para el acceso a los recursos genéticos y mejorar los lineamientos sobre propiedad intelectual para garantizar la seguridad de los productos generados a partir de la biomasa; desarrollar tecnologías que impulsen la bioeconomía; generar políticas de inversión e integración entre gobierno, empresarios y universidades, y favorecer la aceptación social de la bioeconomía (Valbuena, 2014).

Existe un amplio espectro de oportunidades relevantes para agregar valor local o en fincas, relacionadas con la bioenergía o que alimentan la producción de valores. La falta de electricidad se puede resolver con microunidades alimentadas con materia prima de biomasa local y subproductos, con lo cual se crean mejores alternativas de procesamiento y conservación (Henry & Trigo, 2010; Bruins & Sanders, 2012). El procesamiento rural para el suministro de productos “intermedios” puede resolver las restricciones de transporte y logística y facilitar los enlaces productivos locales con fábricas de gran escala (Trigo et al., 2014).

Para los pequeños productores también existen oportunidades de agregación de valor asociadas con la biodiversidad. La identificación de componentes funcionales de valor puede servir de base para desarrollar sistemas de denominación de origen con posibilidad de generar ingresos (Trigo et al., 2014). No obstante, estos actores de pequeña escala todavía son muy

dependientes de los diferentes tipos de políticas favorables a las poblaciones vulnerables (subsidios focalizados, inversiones, formación, información, asesoramiento) o de las políticas de responsabilidad social corporativa del sector privado, para mostrar un alto grado de inserción (Henry & Trigo, 2010).

Por otra parte, la regulación debe permitir las condiciones necesarias y suficientes para el eficiente desarrollo de las aplicaciones biotecnológicas. Por ejemplo, debe garantizar un ambiente regulatorio predecible. Los altos costos regulatorios proporcionan ventajas competitivas a las grandes firmas, pero desincentivan los procesos de innovación en las firmas pequeñas y medianas. Las regulaciones que prohíben el uso de tecnología genética pueden tener efectos desfavorables en el desarrollo de la bioeconomía y la innovación. En Colombia, las regulaciones sobre los contratos de acceso a recursos genéticos (CARG) son una de las principales preocupaciones de pequeños empresarios, entidades de investigación y universidades, dado que estos actores no cuentan con un adecuado CARG y por tanto se limitan sus posibilidades de participar en los avances y en el desarrollo de la bioeconomía. Los procesos regulatorios deben incentivar la innovación, la investigación y el desarrollo, así como las alianzas públicas y privadas o los *joint ventures* (Valbuena Calderón & Chavarriaga, 2013).

El sector agropecuario del país tiene un gran potencial que, unido a la promoción de prácticas de agricultura sostenible, mejoraría el desempeño del sector y además aseguraría un uso eficiente y adecuado de los recursos enfocados en la conservación y la bioeconomía. En lo que concierne a la implementación de prácticas de agricultura sostenible, es importante considerar los siguientes factores relevantes, los cuales son propios del aspecto económico y pueden impactar directamente las estrategias de bioeconomía del país:

- Una producción ecológicamente más sólida, acompañada de mayores costos de producción. Estos costos contemplan factores como el acondicionamiento especial del terreno o los controles de calidad, todo lo cual afecta de forma directa el precio al consumidor.
- Las preferencias del consumidor y su disposición a comprar ciertos productos y a pagar un precio que compense la implementación de las prácticas sostenibles. Este es un factor determinante para el éxito de los productos en el mercado.
- Se requiere continuar con la exploración y el desarrollo de nuevos mercados especializados, como aquellos asociados con los productos de base biológica.

- Una mayor aceptación de productos en los mercados internacionales que permita cumplir con los parámetros de agricultura sostenible establecidos por los aliados comerciales.

Aunque el país ha ido cambiando la visión del consumidor frente a la calidad e inocuidad de los productos, aún se sigue evidenciando un bajo comercio interno que hace que la mayoría de los productos se destinen a la exportación. La creciente tendencia global de consumo de productos provenientes de cultivos sostenibles, con el consecuente aumento de su demanda, presenta una oportunidad para fortalecer la economía del sector.

Cabe resaltar que la información existente sobre variables relativas al mercado de productos BIO para el sector agropecuario es insuficiente. Por tal razón, en la actualidad no es posible establecer una línea base que permita medir los aportes y variaciones de la bioeconomía al sector agropecuario y al PIB. Esto, a su vez, hace muy difícil evaluar el impacto que tienen en la sostenibilidad el uso de biomásas residuales, la incorporación de nuevas tecnologías y el empleo adecuado de la biodiversidad.

En la elaboración de estrategias para la bioeconomía se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Estudiar las barreras regulatorias y comerciales, así como crear herramientas y mecanismos que faciliten el uso de los recursos biológicos y que además permitan la interacción internacional para la elaboración de nuevos productos y procesos.
- Destinar recursos a la investigación de la bioeconomía mediante el establecimiento de rubros específicos para su desarrollo. Identificar el valor potencial de los bioproductos o bioinsumos en términos económicos, sociales y ambientales.

Los posibles indicadores de la bioeconomía relacionados con el crecimiento económico se resumen en la tabla 3.

Tabla 3. Indicadores de bioeconomía

Indicadores	Descripción
<p>Cambios en el producto interno bruto (PIB)/necesidades básicas insatisfechas (NBI)</p>	<p>Variación del PIB y relación y perspectivas del desarrollo rural.</p>
<p>Variación en la balanza comercial</p>	<p>Excedentes económicos de productos con base en biomasa y diversificación energética.</p>
<p>Variación en la demanda de productos de biomasa</p>	<p>Cambios en la demanda de productos/energía proveniente de cultivos permanentes y maderables.</p> <p>Variación en la demanda de energía basada en la biomasa.</p>
<p>Cambio en los ingresos de los agricultores</p>	<p>Variación en producción/ha.</p> <p>Costos de agroquímicos/ha/año.</p>
<p>Nuevos mercados para productos BIO</p>	<p>Cambios en la facturación de los sectores de base biológica, oportunidades y retos de negocios.</p>

Fuente: Smeets et al. (2013, citado por Hasenheit et al., 2016)

Social

Según la FAO (2018), los sistemas agroalimentarios deben procurar la sostenibilidad y la articulación territorial en torno a factores socioproductivos e institucionales que favorezcan la diversificación productiva y la seguridad y soberanía alimentarias. En este sentido, en Colombia se han identificado diferentes problemas, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Pérdida de diversidad productiva en territorios rurales.
- Distanciamiento entre actores y eslabones del sistema social de producción y distribución de alimentos.
- Falta de articulación y de procesos adecuados en cuanto a producción y canales de abastecimiento.
- Presencia de grupos armados ilegales y siembra de cultivos ilícitos en zonas donde se encuentra la mayoría de la diversidad biológica, lo cual, aunque ha contribuido a la conservación de los recursos naturales, también ha afectado los avances en la recolección e investigación, por la dificultad de acceso para realizar las colectas y estudios en estas zonas.
- Baja diversificación en la producción de alimentos y fibras, así como en el desarrollo de actividades económicas como el eco o el agroturismo.
- Ausencia de mercados especializados en los niveles local, regional y global.
- Aumento en el valor de la tierra rural.
- Falta de información acerca de la cultura y el conocimiento ancestral que tienen las comunidades especiales de nuestros territorios sobre la obtención de productos agroalimentarios en sistemas que favorecen la conservación de la biodiversidad.

En los últimos años, el enfoque económico convencional se ha desplazado hacia la demanda de la bioeconomía y su papel en la sociedad. Una de las grandes transformaciones se relaciona con el ámbito social. Esta transformación busca una interacción sostenible entre política, sociedad, ciencia y economía, fortaleciendo y ajustando factores relacionados con infraestructura, procesos, reglamentación y regulación e incluso estilo de vida (Nakicenovic & Shulz, 2011), en procura de cambiar el pensamiento colectivo sobre el uso y consumo de productos BIO. En este sentido, es necesario ampliar el conocimiento sobre los impactos que tendrá esta nueva tendencia cuando en ella se involucren las comunidades, dado que los factores socioculturales influyen en el desarrollo de la bioeconomía.

Este diálogo de saberes desempeña un papel importante en el modelo de bioeconomía que se está promoviendo en el país dado que favorece la capacidad de toma de decisiones por parte de la comunidad, la gobernanza en el manejo de los territorios, la participación en procesos de investigación, el codesarrollo de sistemas de producción y la generación de productos sostenibles. Se debe concertar con las comunidades especiales, ya que estas, por su cosmovisión y su modo de vida, contribuyen a la conservación y uso de los recursos naturales fundamentales para el desarrollo de la bioeconomía. También es importante considerar las políticas de inclusión y apoyo para el desarrollo socioeconómico de otros grupos sociales, como los de mujeres y jóvenes, que son importantes en la generación y el desarrollo de la bioeconomía.

En lo relacionado con la mujer rural, se continúan presentando disparidades de género, observables en los indicadores de pobreza (6 % superior en las mujeres del campo), educación, cobertura de protección social y acceso a activos productivos, lo cual limita su autonomía económica, productiva y de acceso a mercados. Cabe resaltar que las mujeres dedican a actividades agrícolas un alto número de horas de trabajo no remunerado, y un muy bajo porcentaje de trabajo remunerado (Cepal, 2016).

Datos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (2019) sobre aspectos socioeconómicos en la formulación y gestión de políticas de desarrollo sostenible con inclusión social, evidencian la importancia de la mujer y los jóvenes rurales en los emprendimientos agropecuarios. Las mujeres conforman el 47,2 % de la población rural mientras que los jóvenes de 14 a 28 años representan el 24,5 % (DANE, 2017).

La acelerada urbanización, la violencia y los flujos migratorios internos y externos han generado una dinámica demográfica rural cuyo resultado es una población cada vez más reducida y en creciente envejecimiento. La pobreza afecta especialmente a niños, jóvenes, mujeres, grupos étnicos y personas con bajo nivel educativo (Cepal, 2019b).

En el enfoque social es de fundamental importancia que la sociedad conozca la bioeconomía y sus implicaciones sociales, ambientales y económicas. Debe conocer sus beneficios y riesgos y tener en cuenta las implicaciones éticas de apropiarse de comportamientos sostenibles de consumo y producción (Hodson de Jaramillo et al., 2017). El uso de herramientas de gobernanza

participativa permitirá, mediante un diálogo abierto e informado entre comunidades y actores públicos y privados, establecer compromisos, derechos y responsabilidades en los niveles local, regional y nacional, no solo como forma de desarrollo económico, sino también como medio de protección ambiental y cultural, para tomar decisiones sobre el enfoque de desarrollo de los territorios (McCormik & Kautto, 2013). Lo anterior, a su vez, permitirá desarrollar una cultura y una sociedad con conciencia biológica, comprometida con las metas de sostenibilidad, para avanzar en el cumplimiento de los ODS y garantizar la seguridad alimentaria y la conservación de los recursos naturales (Lewandowski, 2018).

En la Cumbre Mundial de Bioeconomía, celebrada en abril de 2018, se definieron temas relacionados con aspectos sociales, como las necesidades de comunicación y de confianza por parte del público en las ciencias y tecnologías transformadoras, y la educación interdisciplinaria y el entrenamiento en todos los niveles, todo esto como base para fortalecer el desarrollo y la implementación de la bioeconomía (Global Bioeconomy Summit [GBS], 2018).

Debe reconocerse la relación entre desarrollo rural y desarrollo agrícola, ya que sin el primero no es posible el desarrollo sostenible de las regiones. En este punto es fundamental considerar que el sector rural presenta características de pobreza, inequidad (como concepto ético) y desigualdad (como concepto estadístico), todo lo cual está asociado con la falta de empleos dignos y bien remunerados en el sector agropecuario y con la baja presencia institucional. Para fortalecer la bioeconomía se deben cerrar las brechas salariales entre sectores agrícolas y no agrícolas y extender sistemas de seguridad social. Es necesario una transformación de lo rural, de modo que se pase de un escenario de deficiencia y pobreza a otro de oportunidades para el desarrollo sostenible (Cepal et al., 2019; DANE, 2018; Marín & Bustamante-Zamudio, 2018).

Uno de los mayores retos sociales para el establecimiento de sistemas de bioeconomía se relaciona con la tenencia de la tierra y el acceso a esta. Es importante reducir la concentración de la propiedad de la tierra, ya que así se disminuirían el conflicto social en el campo, los niveles de desplazamiento y la subutilización del recurso (Cepal et al., 2019).

Por otro lado, en la tabla 4 se pueden observar los indicadores de la bioeconomía relacionados con los aspectos sociales.

Tabla 4. Indicadores sociales de bioeconomía

Indicador	Descripción
Seguridad alimentaria	Variación en el uso de agroquímicos, cambios en precios de alimentos, niveles de malnutrición y desnutrición, disponibilidad de macronutrientes.
Acceso a la tierra	Variación en los precios de la tierra, tenencia de la tierra, derecho de propiedad.
Empleo	Cambio en la tasa de empleo, calidad del empleo, necesidad/ausencia de fuerza de trabajo altamente especializada.
Ingresos del hogar	Ingresos promedio de trabajos asociados a la bioeconomía, distribución de los ingresos.
Calidad de vida	Variación en la cobertura de necesidades básicas insatisfechas, cambios en calidad de vida, igualdad de género, minorías.

Fuente: Smeets et al. (2013, citado por Hasenheit et al., 2016)

Tecnológico

Uno de los retos de la bioeconomía se relaciona directamente con el fortalecimiento del conocimiento y el uso de la biodiversidad como estrategia base para el acercamiento a la sostenibilidad. Esto requiere un cambio en los patrones de producción existentes, para lo cual es necesario formar talento humano con una visión en la que los temas tecnológicos, ambientales, socioculturales y de gobernanza de los recursos se armonicen en procura de lograr el objetivo de la producción sostenible.

Las nuevas tecnologías basadas en biotecnología, bioprospección, biología molecular e ingeniería genética abren un sinnúmero de oportunidades para generar líneas de investigación, desarrollo e innovación. Estas herramientas son estratégicas para la caracterización y exploración de la diversidad genética y para su uso y aprovechamiento. Algunas de las líneas tecnológicas por desarrollar son las siguientes:

a. *Conocimiento de la biodiversidad y recursos genéticos:*

- Conocimiento, conservación y sistematización de información de biodiversidad y recursos genéticos, con acceso para diversos actores.
- Estudios de etnobotánica y usos tradicionales de biodiversidad.
- Desarrollo de investigaciones en bioprospección para su aplicación en estrategias de biocontrol, biofertilización, salud y nutrición animal y biorremediación.

b. *Estrategias de uso y conservación de la biodiversidad:*

- Obtención y disponibilidad de bioproductos.
- Estrategias de diversificación de los sistemas de producción.
- Estrategias de mejoramiento de calidad e inocuidad de alimentos que garanticen la seguridad alimentaria.
- Ecointensificación asociada a uso de subproductos y residuos.
- Estrategias de recuperación de la capacidad productiva de los suelos y de manejo eficiente de agua, luz y nutrientes.

c. *Biotecnología molecular:*

- Fortalecimiento del conocimiento de metodologías para conservación, identificación y estudio de recursos genéticos desde los puntos de vista morfológico y molecular, con empleo de las ómicas, lo cual requiere capacitación de recurso humano y aumento de infraestructura y financiación.

Colombia tiene una gran oportunidad para explorar la inmensa diversidad de su territorio mediante nuevas tecnologías que permiten estudiar cientos de especies de manera holística, en los niveles de genómica, proteómica y metabolómica⁸ y de forma individual, masiva y simultánea. Otro aspecto relevante es la entrada del sistema de edición génica CRISPR, el cual tiene un potencial determinante para el desarrollo de la bioeconomía. El agrícola es uno de los sectores en los que la implementación de la edición génica avanza a gran velocidad, dado que esta tecnología es más precisa, barata y rápida y favorece el mejoramiento de cultivos, razas e incluso microorganismos. Si se conoce la biodiversidad, es posible incrementar la evaluación y obtención de bioproductos dirigidos al sector agropecuario, productos que en algunos casos adicionan valor a los residuos y materias primas industriales y que por tanto permiten una alineación con las políticas nacionales e internacionales de eficiencia en el uso de los recursos.

Uno de los retos tecnológicos es la conversión económicamente viable de la biomasa en bioproductos mediante el empleo de biotecnologías avanzadas y eficientes. Dentro de los desafíos que enfrenta el desarrollo de bioproductos destinados al sector agropecuario se pueden mencionar los siguientes: i) acceso a tecnologías más sustentables y con menor impacto en el medio ambiente, ii) reducción de los costos de producción, y iii) fortalecimiento de la adopción de bioproductos en todos los sectores. Los puntos i y ii tienen un aspecto común que cada vez toma más fuerza y es que la mayoría de bioproductos actuales no han sido diseñados con criterios de fin de vida sostenibles, como reutilización y valorización (Tecnalia, 2017).

Por otro lado, el uso de la biomasa y el incremento de la eficiencia energética en los sistemas de producción han planteado retos a la agricultura desde sus inicios, que en la actualidad se relacionan con la reducción de la dependencia del carbono, el mejoramiento de la eficiencia y la conservación energética, la mitigación de los efectos del cambio climático, la disminución de la degradación de los ecosistemas, la escasez de agua consumible y el incremento de los niveles de inversión para garantizar la sostenibilidad ambiental y la biodiversidad (Valbuena, 2014). Con respecto a los residuos agrícolas, el *Atlas de biomasa residual de Colombia*, elaborado por Escalante Hernández et al. (2010), estimó el potencial de los principales sectores

⁸ La *genómica* se refiere al estudio del genoma completo, de todos los genes que se encuentran en un organismo. La *proteómica* es el estudio a gran escala de las proteínas, mientras que la *metabolómica* se ocupa de los procesos químicos que involucran metabolitos.

productivos de la agricultura del país y encontró que existe un potencial energético muy alto (331.645,71 TJ/año) basado en residuos agrícolas, cuyo aprovechamiento permitiría disminuir la emisión de gases de efecto invernadero mediante un buen manejo de dichos residuos.

Todos los desarrollos deben incluir dos temas de gran importancia, los cuales marcan la diferencia tanto en el campo científico como en el de mercado. Tales temas son la vinculación de tecnología y la protección del conocimiento.

La vinculación de tecnología debe enfocarse en generar recomendaciones y productos de bioeconomía, así como estudios de escalamiento de productos y estudios de mercado y desarrollo de metodologías de evaluación de adopción e impacto social, económico y ambiental del uso de la biodiversidad y de las biotecnologías. En la actualidad, existe una debilidad en la institucionalidad que tiene que ver con los servicios de transferencia tecnológica avanzados que se prestan para el mercadeo de productos BIO.

En cuanto a la protección de conocimiento, se deben desarrollar estrategias tanto de acceso a la biodiversidad, como de protección y uso de esta, todo ello teniendo en cuenta los puntos de vista político, normativo y tecnológico.

Uno de los ejemplos más directos de bioeconomía es la obtención de nuevas variedades vegetales. Para el desarrollo de este campo, el país ha establecido bancos y colecciones de germoplasma con el apoyo de nuevas técnicas o herramientas de mejoramiento.

En cuanto al uso de prácticas sostenibles, cuyo objetivo es configurar la producción agrícola de manera tal que se puedan proveer suficientes alimentos y biomasa para una población en crecimiento al tiempo que se mantienen las funciones del ecosistema y la biodiversidad, es necesario fortalecer la capacidad de investigación en áreas específicas como las siguientes:

- *Agricultura de precisión*: reducción de insumos de síntesis química, uso eficiente del agua y desarrollo e implementación de tecnologías que favorezcan el uso sostenible y eficiente de los recursos naturales.
- *Agricultura climáticamente inteligente*: mayor adaptación de especies al medio ambiente ante condiciones de variabilidad y cambio climático y ante sus efectos en los agroecosistemas.

- *Genética y mejoramiento*: uso de herramientas convencionales y moleculares para identificar especies animales, vegetales y microorganismos adaptados al ambiente. Los sistemas simbióticos desempeñan un papel especial en sus procesos de adaptación.
- *Sistemas de alimentación animal*: eficiencia en procesos nutricionales, uso y reutilización de biomasa residual con miras a preparar suplementos alimenticios, alcanzar eficiencia en procesos nutricionales y reducir emisiones de metano.
- *Recuperación de la capacidad productiva del suelo*: fertilización integrada, fertilización biológica y química, sistemas de labranza reducida y prácticas de conservación.
- *Inclusión de prácticas y tecnologías ancestrales*.
- *Inclusión de biodiversidad en los sistemas agropecuarios*: rotación de cultivos, cultivos múltiples, sistemas agroforestales (SAF).
- *Capacitación y transferencia de tecnología en buenas prácticas agrícolas (BPA), ganaderas (BPG), de manufactura (BPM), certificación y sellos verdes*.
- *Uso de sistemas remotos de monitoreo climático, de biodiversidad y de sostenibilidad*.

La generación de bioproductos, la cual constituye uno de los enfoques de la bioeconomía, cuenta con la participación de tres grupos de actores. El primero de ellos está conformado por los generadores de conocimiento, los cuales pueden ser públicos o privados y producen investigación y desarrollo en áreas relacionadas con la biodiversidad, la biotecnología y la bioeconomía. Dentro de esta categoría se encuentran las universidades, los centros y grupos de investigación y los centros de desarrollo tecnológico.

El segundo grupo corresponde a las empresas de base tecnológica, desarrolladoras BIO que adelantan actividades de I+D+i o que hacen inversiones productivas en biotecnología. En este grupo de empresas se encuentran las llamadas *startup* y las *spin-off* BIO.

En el tercer grupo están las entidades de intermediación de innovación BIO. Estas son entidades de interfaz que promueven la transferencia de tecnología y la innovación para llevar al mercado soluciones de biotecnología y bioeconomía mediante la coordinación de universidades, empresas y Estado.

Ambiental

El impacto ambiental, producto de la intervención inadecuada de los ecosistemas, se ha traducido en degradación de los recursos suelo y agua y en importantes pérdidas de biodiversidad. La búsqueda de soluciones a estos impactos negativos, además de ser una responsabilidad ética y social, es fundamental para el cumplimiento de muchos de los ODS. Encontrar estas soluciones requiere una transición del modelo económico imperante a un modelo sostenible, mediante el desarrollo de nuevos conocimientos, tecnologías y productos que no afecten la capacidad productiva ni las funciones de los ecosistemas. El acceso a materias primas, recursos energéticos, agua y alimentos, es la base para el desarrollo de un modelo económico que considere la sostenibilidad, el medio ambiente, la ecología y la biología (Zúñiga & Guarín Echeverry, 2017).

Los retos de la bioeconomía a nivel mundial se centran en aspectos económicos, pero también se deben considerar los aspectos ambientales. Aunque en la literatura se considera la sostenibilidad como inherente a la bioeconomía, esta no necesariamente es sostenible por sí misma (Pfau et al., 2014). Algunas escuelas mencionan posibles impactos negativos en el ambiente por la alta presión que ejerce para la obtención de biomasa y alimentos, por la competencia en el uso del suelo y los recursos, por la invasión de especies desconocidas y por el no cumplimiento de las expectativas de captura de carbono y reducción de emisiones (Pfau et al., 2014). Se debe pasar de la discusión sobre la política de la sostenibilidad de la bioeconomía a la práctica sostenible y garantizar impactos positivos en el ambiente, mediante una relación gana-gana entre el desarrollo económico y la protección de la biodiversidad y los recursos naturales (Kleinschmit et al., 2017).

Diversos artículos sobre la relación entre bioeconomía y sostenibilidad ambiental mencionan como prioritarios temas relacionados con la contribución de la bioeconomía en aspectos como los siguientes: reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, producción sostenible de alimentos, reducción de impactos ambientales negativos, uso sostenible de recursos, fertilización sostenible, energía sostenible, biodiversidad y equidad social (Pfau et al., 2014).

Para poder concretar la contribución de la bioeconomía a la sostenibilidad ambiental es fundamental tener en cuenta diferentes aspectos relacionados con: i) *biomasa*: producción

sostenible considerando todos los componentes por producto y las mejores aplicaciones y fuentes para su uso eficiente; ii) *cadena de producción*: evaluación de su impacto y cadenas sostenibles; iii) *evaluaciones de sostenibilidad*: sus principales elementos y la aplicación de criterios de sostenibilidad; iv) *uso de recursos*: eficiencia en el uso de la tierra, utilización de prácticas sostenibles, conservación de la biodiversidad, manejo sostenible del bosque; v) *investigación y desarrollo*: en temas de sostenibilidad de la bioeconomía, incluidos riesgos y efectos, niveles de sostenibilidad de los recursos y evaluaciones de impacto, y vi) *políticas*: incentivos para uso de biomasa, participación pública, responsabilidad social en la producción de biomasa.

Los problemas asociados con la sostenibilidad ambiental, dentro del enfoque bioeconómico, incluyen los siguientes factores: competencia por tierra y recursos; poca claridad en reducción de emisiones; contribución cuestionable al desarrollo sostenible; impactos negativos en agua, suelos, hábitats y biodiversidad; riesgo de establecimiento de especies invasoras; intensificación de la agricultura; riesgos asociados a nuevas tecnologías de las que se desconoce su impacto en el largo plazo; viabilidad económica, y riesgos en salud (Pfau et al., 2014).

Smeets et al. (2013, citado por Hasenheit et al., 2016) proponen los indicadores de la tabla 5 para evaluar los impactos de la bioeconomía en el ambiente.

Tabla 5. Indicadores ambientales de bioeconomía

Indicador	Descripción
Cambio en el uso de la tierra	Variación en áreas agrícolas, pastos, bosque y áreas sin uso agropecuario o forestal; cambios en la intensidad de uso y contenido de carbono en el bosque.
Degradación de la calidad de suelos	Tasa de acidificación, salinización, densidad, contenido de carbono, erosión.

(Continúa)

(Continuación tabla 5)

Indicador	Descripción
Amenaza y pérdida de biodiversidad	Tasa de pérdida de biodiversidad, pérdida de hábitats, fragmentación del bosque.
Pérdida o disminución de la provisión de servicios ecosistémicos	Variación en provisión de servicios ecosistémicos.
Incremento en uso y reutilización de biomasa	Cambios en uso de madera, nivel de consumo de biomasa, uso de residuos orgánicos, reducción de vertimientos.
Emisión de gases de efecto invernadero	Cambio en emisiones, línea base de carbono, cambios en niveles de carbono almacenado.
Reducción de calidad y cantidad de agua	Niveles de escasez; consumo; índice de explotación; uso en agricultura, ganadería, bosques y manufactura; reciclaje o reutilización de agua; eutroficación; nivel de toxicidad de elementos contaminantes.
Reducción de uso de fuentes de energía fósil	Variación de consumo de fuentes de energía fósil.
Contaminación de aire	Niveles de emisión, concentración de partículas.

Fuente: Elaboración propia con base en Smeets et al. (2013, citado por Hasenheit et al., 2016)

Colombia cuenta con un potencial de biomasa residual agrícola de 71.943.812 t/año y de biomasa residual pecuaria de 207.389.784 t/año. Esta información sirvió de base para establecer el potencial bioenergético del país (Villanueva-Mejía, 2018). El aprovechamiento de estos residuos aumentaría el valor de los productos y ayudaría a mantenerlos el mayor tiempo posible dentro del ciclo productivo (DNP, 2016b). Así mismo, disminuiría su efecto ambiental negativo en suelos y aguas y su potencial para generar plagas y enfermedades en los cultivos. Para favorecer el uso de esta biomasa residual, se ha sugerido la construcción de plantas de procesamiento cerca de las áreas de producción primaria o de recolección de materias primas (Canales & Gómez-González, 2020), ya que con ello se reduciría la generación de gases de efecto invernadero asociados al transporte. Es necesario mejorar los medios de acceso sin afectar el medio ambiente, sobre todo en aquellas regiones apartadas en las que los bosques nativos se conservan en buen estado debido, precisamente, a la falta de vías adecuadas.

Otro aspecto importante es la creciente preocupación por la residualidad de los diferentes productos de base química que se usan en el sector agrícola y pecuario para generar alimentos. Esta residualidad ha tenido como respuesta tendencias de consumo en el mercado global que exigen sistemas de producción más limpia para mejorar la calidad e inocuidad de los alimentos. Es importante tener en cuenta que Colombia es uno de los dos países de América Latina que más usa insecticidas químicos. Emplea 13,46 kg/ha, superado únicamente por Surinam, con 14,4 kg/ha, cifras estas que duplican las de los otros países de la región, que en promedio emplean 5,8 kg/ha (Ardisana et al., 2018).

Se estima que el mercado de bioproductos se vería favorecido por el uso de etiquetas BIO (Canales & Gómez-González, 2020), lo cual ayudaría a identificar los productos de consumo que provienen de un proceso amigable con el medio ambiente y de bajo impacto para el mismo. Por último, aunque Colombia cuenta con una regulación sobre el uso de recursos genéticos y sus productos derivados (MADS, 2014), esta podría dificultar la transferencia de productos BIO, desde el proceso de investigación hasta la producción comercial en gran escala.

Legal

Con el fin de apoyar los procesos de innovación que se requieren para mejorar la productividad, competitividad y sostenibilidad del sector agropecuario colombiano, se promulgó la Ley 1876 (2017), por la cual se creó el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA). Esta entidad tiene como objeto organizar y dinamizar el conjunto de actores, relaciones, recursos y reglas que permiten desarrollar herramientas de investigación, desarrollo tecnológico, transferencia de tecnología, formación y extensión agropecuaria. Igualmente, es responsable de aportar los elementos necesarios para que los procesos de acompañamiento integral a los productores tengan un enfoque de extensión agropecuaria y se nutran de los insumos del desarrollo científico y tecnológico, y de los procesos de formación y capacitación en el sector rural (DNP, 2019).

Actualmente, la gestión de la biodiversidad del país está regulada y protegida por un marco legal que incluye, en el nivel nacional, la Constitución Política, leyes y decretos, y dentro de la normativa supranacional, tratados internacionales suscritos con otros países (tabla 6).

Tabla 6. Marco legal en materia de biodiversidad

Indicador	Descripción
Ley 2 de 1959	Establece siete grandes zonas de reserva forestal para el desarrollo de la economía forestal y la protección de los suelos, las aguas y la vida silvestre.
Ley 17 de 1981	Aprueba la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, por su sigla en inglés).
Constitución Política de 1991	Establece la función social y ecológica de la propiedad y da prioridad al desarrollo integral de las actividades agrícolas y forestales (artículos 71, 78 y 81).

(Continúa)

(Continuación tabla 6)

Indicador	Descripción
Ley 99 (1993)	Define las normas ambientales mínimas para disminuir la afectación ambiental que generan las labores productivas, es decir, establece para las organizaciones la protección ambiental como una obligación regulada por la ley.
Ley 165 de 1994	Ley que establece el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y se complementa con la entrada en vigencia del Protocolo de Nagoya en 2011 (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2011).
Decisión Andina 391 de 1996	Su objetivo es regular el acceso a los recursos genéticos de los países miembros de la Comunidad Andina (CAN).
Decreto 730 de marzo de 1997	Se designa al actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) como autoridad nacional competente en materia de acceso a los recursos genéticos y sus productos derivados.
Decreto 1320 de 1998	Reglamenta la consulta previa con las comunidades indígenas y negras para la explotación de los recursos naturales dentro de su territorio.
Decisión Andina 486 de 2000	Régimen común de propiedad intelectual, en el cual se prohíbe patentar plantas, animales y procedimientos que sean biológicos o microbiológicos.
Decreto 309 de 2000	El cual reglamenta los permisos de estudio con fines de investigación científica sobre diversidad biológica.

(Continúa)

(Continuación tabla 6)

Indicador	Descripción
Decreto 4525 de 2005	Regula, administra o controla el movimiento transfronterizo para el tránsito, la manipulación y la utilización de organismos vivos modificados (ovm) que puedan tener efectos adversos para el medio ambiente y la diversidad biológica, teniendo en cuenta los riesgos para la salud humana, la productividad y la producción agropecuaria.
Ley 740 de 2002	Se aprueba el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica, suscrito en Montreal el 29 de enero de 2000.
Protocolo de Nagoya, 2010, 2011 y 2014	Tiene por objeto la participación justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos.
Resolución 1348 de 2014	Establece las actividades que configuran el acceso a los recursos genéticos.
Decreto 1076 de 2015	Establece el acceso a los recursos genéticos.
Resolución 1352 de 2017	Establece la protección y acceso a los recursos genéticos y sus productos derivados y regula aquellas actividades que se realizan con especies nativas que se encuentran en el territorio nacional.
Resolución 1962 del 25 de septiembre de 2017	Por la cual el gobierno señala que es una obligación mantener la atmósfera en condiciones que permitan un correcto desempeño del ecosistema (MADS, 2017).

Fuente: Elaboración propia

El anexo 2 describe el marco legal relacionado con los enfoques de bioeconomía y la tabla 6, el marco legal en materia de biodiversidad. De este último se destacan los siguientes decretos, leyes y acuerdos: i) Ley 165 de 1994, mediante la cual Colombia ratifica el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), cuyos objetivos son la conservación y utilización sostenible de los componentes de la biodiversidad y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos; ii) Protocolo de Nagoya (*access and benefit-sharing* [ABS, por su sigla en inglés]), vigente desde 2014, que amplía los aspectos relacionados con los beneficios del uso de los recursos genéticos y sus productos derivados; iii) Decisión Andina 391 de 1996, régimen común sobre acceso a los recursos genéticos y sus productos derivados; iv) Decreto 309 de 2000, sobre investigación en recursos biológicos, el cual reglamenta los permisos de estudio con fines de investigación científica sobre diversidad biológica; v) Decreto 1076 de 2015, el cual define el acceso al recurso genético, y vi) Resolución 1348 de 2014, modificada por la Resolución 1352 del 2017, por la cual se establecen las actividades que configuran el acceso a los recursos genéticos y sus productos derivados y aquellas que se realicen con especies nativas, en sus formas silvestre, domesticada, cultivada o escapada de domesticación, incluidos virus, viroides y similares, que se encuentren en el territorio nacional o fuera de este.

Las actividades contempladas en la última de estas normativas, la Resolución 1348 de 2014 y la 1352 de 2017, son las que se describen a continuación:

1. Las que pretendan separar las unidades funcionales y no funcionales del ADN o el ARN, en todas las formas que se encuentren en la naturaleza.
2. Las que pretendan aislar una o varias moléculas, entendidas como micro y macromoléculas, producidas por el metabolismo de un organismo.
3. La solicitud de patente para productos o procedimientos obtenidos o desarrollados a partir de recursos genéticos o de sus productos derivados.

En Colombia, el acceso a los recursos genéticos se otorga mediante un contrato de acceso solicitado ante el MADs, que permite la bioprospección y actividades comerciales con recursos genéticos y sus derivados. Hasta el año 2020, Colombia otorgó 362 contratos con fines de investigación, 23 contratos marco con universidades y centros de investigación, 17 contratos con fines comerciales, 69 proyectos adicionados a los contratos marco y 21 patentes derivadas

de los contratos suscritos, lo que ha permitido al país recibir importantes aportes derivados de la distribución de beneficios monetarios y no monetarios (MADS, 2020).

Actualmente, acceder al recurso genético o a un producto derivado sin contar con un contrato equivale a cometer una infracción que acarrea un proceso sancionatorio ambiental o una falta disciplinaria o penal. Para que los proyectos procedan con el cumplimiento del trámite se han generado dos amnistías: la primera, establecida por el artículo 252 de la Ley 1753 de 2015, y la vigente, correspondiente al artículo 6 de la Ley 1955 de 2019. Esta última otorga dos años a partir de su entrada en vigencia para hacer la solicitud ante el MADS, el cual podrá otorgar el contrato aun cuando los especímenes utilizados para las actividades de acceso no cuenten con los permisos de colecta.

A pesar de que el marco normativo para obtener el permiso de acceso a recursos genéticos ha ido mejorando, haciéndose más expedito en cuanto a los trámites requeridos, en muchas ocasiones la distribución justa y equitativa de beneficios da lugar a un proceso complejo, lo cual ha dificultado la inversión y explotación sostenible en el sector y por tanto ha puesto obstáculos a su desarrollo económico y social.

Es importante mencionar que las decisiones andinas 391 y 486 interactúan en varios aspectos. Según estas decisiones, la concesión de patentes sobre invenciones desarrolladas a partir del patrimonio biológico y genético o de conocimientos tradicionales originarios de países de la Comunidad Andina (CAN) está supeditada a las siguientes condiciones: i) que el material o el conocimiento haya sido adquirido legalmente (artículo 3 de la Decisión Andina 486), y ii) que se adjunte a la solicitud el contrato de acceso a recursos genéticos o productos derivados (artículo 26 de la Decisión Andina 486), el cual es un requisito previo para la concesión del derecho (disposición complementaria 3^{ra} de la Decisión Andina 391). Así mismo, la no presentación del contrato es causal de nulidad absoluta de la patente (artículo 75 de la Decisión Andina 486) (Lizarazo et al., 2019).

En Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) es el responsable de adoptar las medidas necesarias para el efectivo control de la sanidad animal y vegetal y de ejercer el control técnico de los insumos agrícolas. La Resolución 68370 de 2020 establece los requisitos para el registro y control de bioinsumos de acuerdo con las normas internacionales y su

objetivo es el de “establecer los requisitos para el registro y control de productores, productores por contrato, importadores o quienes realicen ensayos de eficacia, así como el registro de los bioinsumos de uso agrícola” (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2020b, p. 2).

Para el sector pecuario, en el que algunos bioproductos pueden ser administrados como suplementos alimenticios y tienen efecto en la mejora de parámetros zootécnicos, existe la Resolución ICA 61252, por medio de la cual se regulan y establecen los requisitos y el procedimiento para el registro de los fabricantes, importadores y productores de alimentos para animales (2020a). Desde 2020, esta resolución también involucra los conceptos de buenas prácticas de manufactura (BPM) para la elaboración y distribución de este tipo de productos, estableciendo nuevos parámetros de producción que garantizan la seguridad y calidad para trabajadores y animales.

En cuanto a aquellos otros productos de uso pecuario que no se consideren mejoradores de parámetros zootécnicos y que reclamen efectos, el ICA es la entidad que ejerce el control técnico-científico de la producción, comercialización y uso de los biológicos y de los medicamentos veterinarios dirigidos a mejorar la condición sanitaria de los animales.

La normatividad vigente⁹ exige un concepto toxicológico por parte del MADS y licencia ambiental por parte de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), para obtener el registro de venta de plaguicidas. Sin embargo, la normativa no diferencia entre productores de insumos de origen biológico o químico y debería adecuarse a la naturaleza de cada uno de los productos (DNP, 2019).

⁹ Artículo 144 del Decreto 1843 de 1999 y Decreto 1076 de 2015 (Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible del MADS).



Capítulo 3



El Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano (Pectia) y la Agenda I+D+i

A continuación se presenta un análisis del Pectia y de la Agenda I+D+i que lo integra, de acuerdo con los enfoques de la bioeconomía. El Pectia es una herramienta de planificación que define los objetivos, estrategias y líneas de acción en materia de ciencia, tecnología e innovación sectorial para aumentar la competitividad, la sostenibilidad y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población. Por su parte, la Agenda I+D+i es el instrumento de planificación y gestión para la focalización de recursos y acciones tendientes a fortalecer, dinamizar y optimizar el SNIA (Ley 1876, 2017) y está compuesta de agendas por cadena y por departamento.

Actualmente, el Pectia consta de 77 agendas para 45 cadenas productivas, priorizadas en 29 departamentos¹⁰. Además, cuenta con 4.690 demandas, relacionadas con catorce áreas temáticas, entre las cuales se identificaron 1.416 (30 %) potencialmente relacionadas con bioeconomía, de acuerdo con los enfoques ya descritos (tabla 7).

¹⁰ Los departamentos que no participaron fueron Guainía, Vaupés y San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Tabla 7. Demandas de la Agenda I+D+i y el Pectia potencialmente relacionadas con bioeconomía

Área temática del Pectia	N.º de demandas	Demandas relacionadas con bioeconomía	Relación
Manejo de cosecha, poscosecha y transformación	721	507	70 %
Material de siembra y mejoramiento genético	488	407	83 %
Sistemas de información, zonificación y georreferenciación	271	167	62 %
Manejo ambiental y sostenibilidad	300	76	25 %
Calidad e inocuidad de insumos y productos	350	70	20 %
Manejo de suelos y aguas	308	58	19 %
Alimentación y nutrición humana y animal	96	18	19 %
Manejo del sistema productivo	482	77	16 %
Fisiología y reproducción animal	21	2	10 %
Manejo sanitario y fitosanitario	408	17	4 %
Fisiología vegetal y nutrición	162	6	4 %
Fortalecimiento de capacidades técnicas y funcionales	136	3	2 %
Transferencia de tecnología, asistencia técnica e innovación	409	4	1 %
Socioeconomía, mercadeo y desarrollo empresarial	538	4	1 %
Total	4.690	1.416	30 %

Fuente: Elaboración propia con base en información de la Agenda I+D+i y Pectia, portal Siembra (www.siembra.gov.co), 2020

Así pues, tres áreas temáticas concentran el 76 % de las demandas relacionadas con bioeconomía: i) manejo de cosecha, poscosecha y transformación¹¹; ii) material de siembra y mejoramiento genético¹², y iii) sistemas de información, zonificación y georreferenciación.

Por ubicación geográfica, todos los departamentos cuentan con al menos cuatro demandas priorizadas relacionadas con bioeconomía (exceptuando Guainía, Vaupés y San Andrés, Providencia y Santa Catalina, que aún no tienen agenda). Con base en el total de cada departamento, las demandas relacionadas con bioeconomía suman entre 20 y 34 %, exceptuando Arauca, que tiene 14 %. No obstante, teniendo en cuenta la importancia de la bioeconomía en el desarrollo del país y la concientización de ella por parte de los actores de las cadenas, se espera un aumento en las demandas de esta naturaleza (figura 3).

En cuanto a la distribución por cadenas productivas, las de panela y hortalizas son las que presentan mayor concentración de demandas relacionadas con bioeconomía, con 127 y 117 respectivamente, equivalentes a 9 % y 8,3 %. Es necesario revisar y actualizar las demandas para fortalecer en cada cadena el enfoque bioeconómico y aprovechar sus ventajas competitivas (figura 4). En este sentido, durante el primer semestre de 2021 el MADR coordinó la actualización del Pectia y su Agenda I+D+i, con el liderazgo de las Mesas de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuarias y la participación de los actores de las cadenas y los sistemas productivos.

¹¹ Forman parte de esta área los temas relacionados con agroindustria; manipulación, transporte, almacenamiento y protección de productos agrícolas, agrícolas no comestibles, forestales, pesqueros y de acuicultura, de origen vegetal y de origen animal; elaboración de productos forestales; elaboración y preservación de los alimentos; procesamiento de productos agrícolas no comestibles, empaquetado, aprovechamiento de desechos agrícolas; ciencia y tecnología de los alimentos; infraestructura, diseño, construcción y acondicionamiento de equipos para el procesamiento y transformación de productos; maquinaria y equipos, construcciones agrícolas, pecuarias y forestales; diversificación de productos, valor agregado, transformación y sistemas de cosecha.

¹² Forman parte de esta área los temas relacionados con propagación de plantas, producción y tratamiento de semillas, genética vegetal, fitomejoramiento, genética y mejoramiento animal, bancos de germoplasma, perfil genético, identificación y caracterización de razas y cruces, material vegetal certificado, obtención de variedades, crioconservación, biotecnología vegetal, biotecnología animal, adaptación de materiales y genomas.

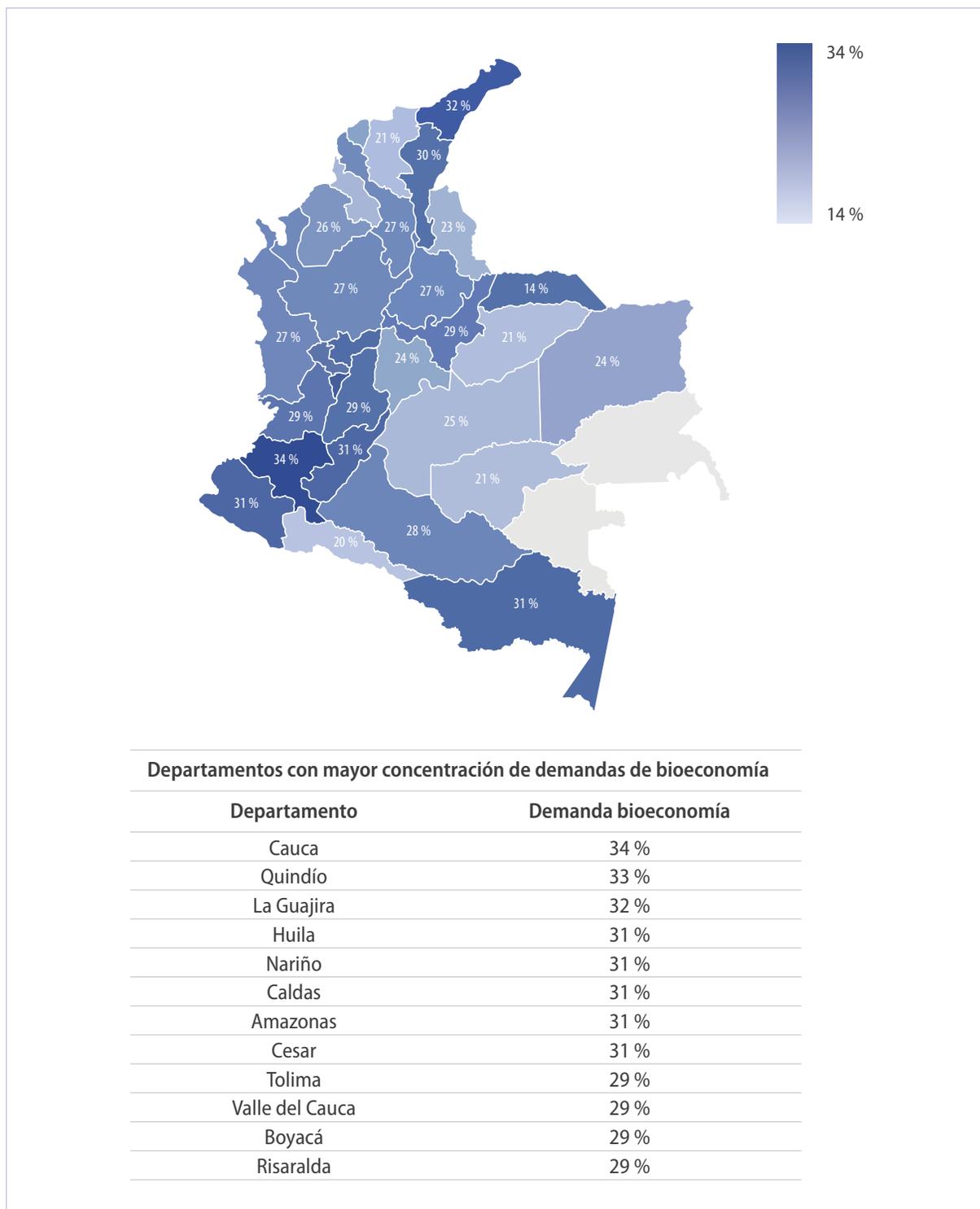


Figura 3. Departamentos con mayor concentración de demandas de I+D+i relacionadas con bioeconomía.

Fuente: Elaboración propia

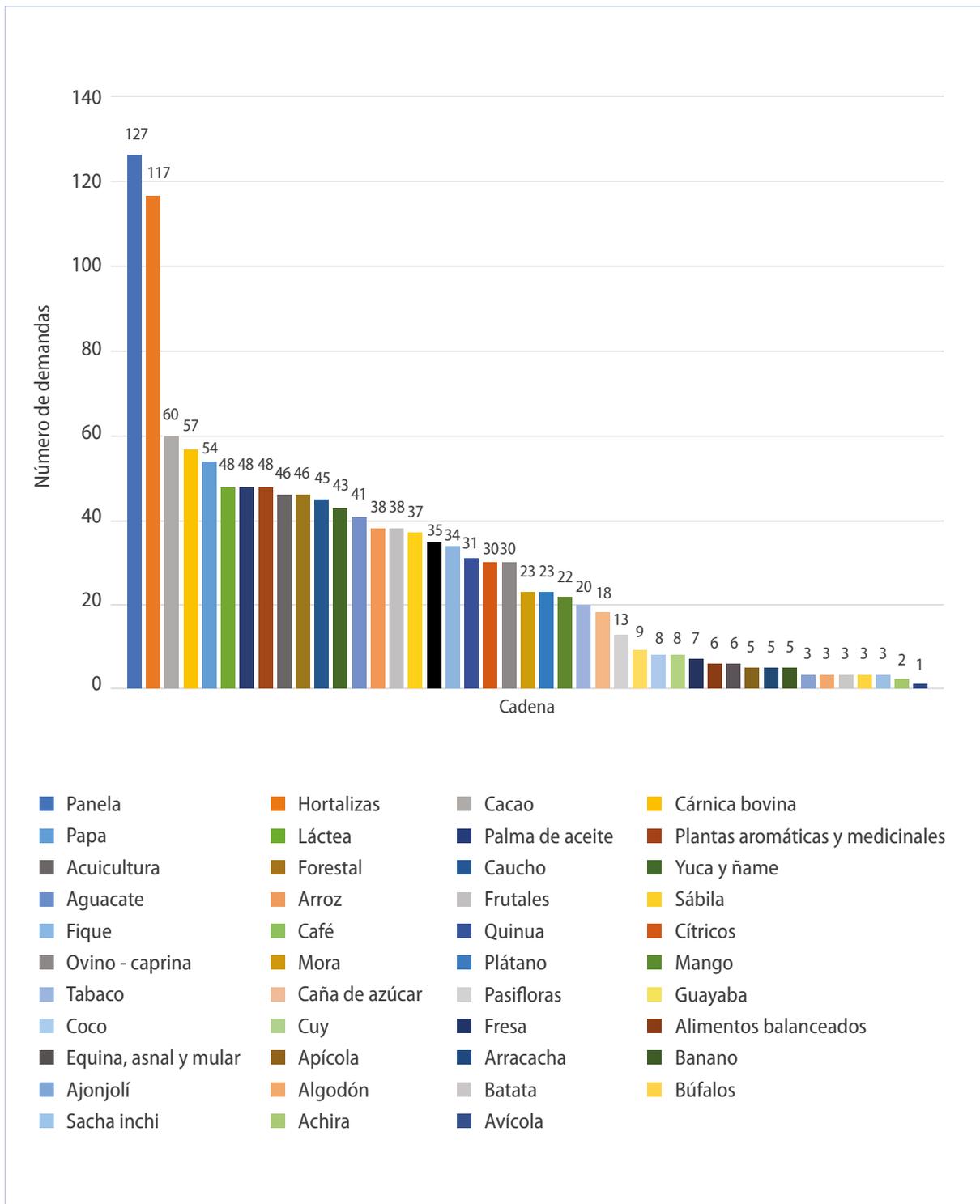


Figura 4. Cadenas productivas de la Agenda I+D+i con demandas en bioeconomía.

Fuente: Elaboración propia con base en información del portal Siembra (www.siembra.gov.co) (fecha de consulta: noviembre de 2020)



Capítulo 4



Vigilancia tecnológica

La vigilancia tecnológica es una herramienta de gestión de la información, cuyo propósito es identificar tendencias y fronteras que puedan ser analizadas desde el punto de vista científico. Con el empleo de esta herramienta se estudió el entorno global y científico y las tendencias de fronteras en el periodo 2000-2020.

Prácticas de agricultura sostenible

Se aplicó una ecuación de búsqueda con los elementos claves en bases de datos bibliográficas como Scopus y Web of Science (anexo 3.1), teniendo en cuenta sostenibilidad, seguridad alimentaria, ecosistema, recursos renovables y agroecología. La búsqueda arrojó 1.411 y 1.526 publicaciones científicas respectivamente y mostró un crecimiento marcado en los últimos cinco años, puesto que las publicaciones pasaron de 106 en 2015 a 245 en 2020 (figura 5).

Las publicaciones corresponden principalmente a las áreas temáticas de agricultura (27,9 %), medio ambiente (27,3 %), ciencias sociales (9,1 %), energía (7,3 %) e ingeniería (6 %).

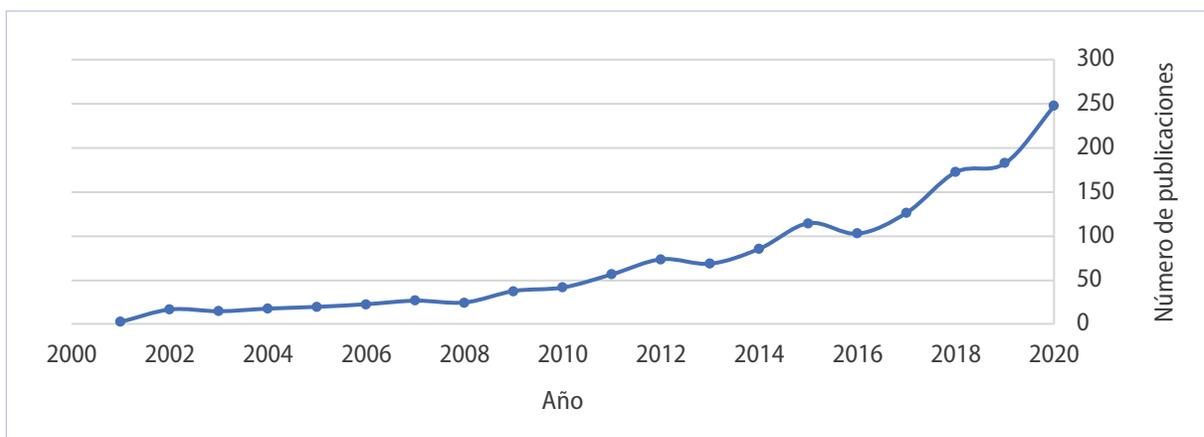


Figura 5. Dinámica de publicaciones en prácticas sostenibles, 2000-2020.

Fuente: Scopus, 2020

Dentro del panorama científico obtenido con VOSViewer se destacan los siguientes clústeres por su mayor concentración, los cuales se clasifican aquí según cohesión de palabras claves y resúmenes: clúster 1, concentra 296 elementos de innovación, percepción, sistemas alimentarios, gobernanza y la interacción con diferentes actores y consumidores; clúster 2, concentra 160 elementos relacionados con aspectos técnicos de las prácticas sostenibles, entre ellos irrigación, erosión, eficiencia energética, propiedades del suelo, variaciones climáticas y elementos mayores y menores como nutrientes; clúster 3, concentra 49 elementos de bioenergía, emisiones de gases efecto invernadero, biogás, crecimiento sostenible y elementos relacionados con las emisiones de gases que pueden ser utilizados como biocombustibles dentro del sector agropecuario.

De manera complementaria se realizó un análisis con Bibliometrix, en el que se identificaron los siguientes temas: i) aislados y altamente desarrollados, como las emisiones de gases de efecto invernadero y los análisis de ciclo de vida; ii) motores, que abordan la conservación y el uso del suelo y dinámicas de consumo, así como la calidad y rendimiento del suelo, y el manejo de nutrientes como el nitrógeno; iii) emergentes o decadentes, relacionados con la creación de políticas, la energía y el cambio climático, y iv) transversales, relacionados con sistemas de gestión en la agricultura, marcos de referencia para indicadores de estimación y sostenibilidad agrícola (figura 6).

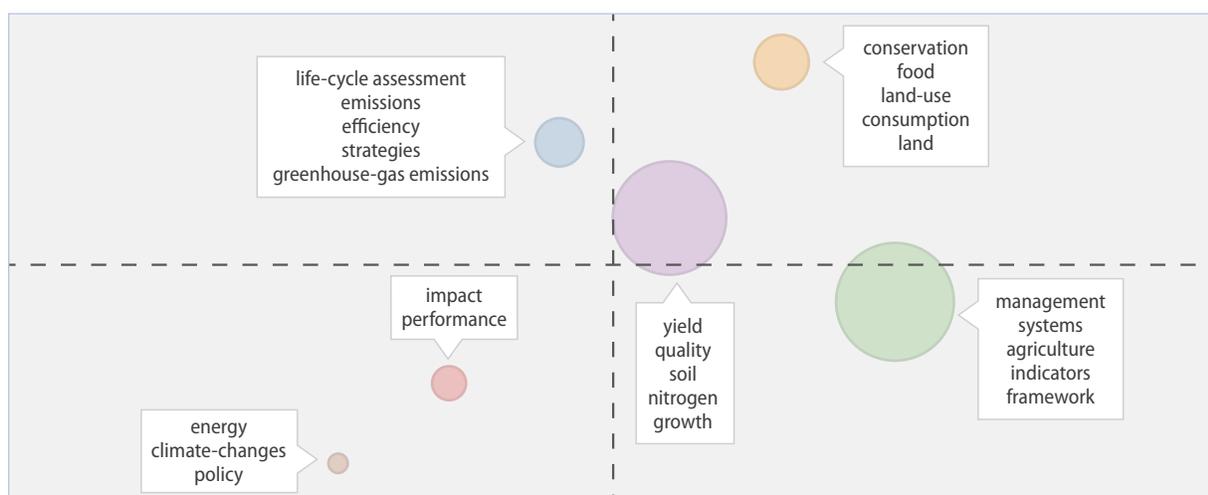


Figura 6. Mapa temático para prácticas de agricultura sostenible analizado con Bibliometrix.

Fuente: Elaboración propia con base en información recuperada de Scopus y con software de análisis Bibliometrix (fecha de consulta: diciembre de 2020)

Los países líderes son Estados Unidos con 383 publicaciones, China con 214 y Reino Unido con 171. No obstante, los autores con mayor número de publicaciones están vinculados a centros de investigación y desarrollo tecnológico y a instituciones educativas como la Universidad de Wageningen en Países Bajos, la Academia China de Ciencias, la Universidad de Agricultura de China, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por su sigla en inglés) y el Consejo Indio de Investigación Agrícola.

El análisis de las instituciones líderes permite identificar referentes locales, regionales e internacionales, para futuros desarrollos conjuntos y ejercicios de referenciación de tecnologías y avances en investigación. Las entidades internacionales con un número significativo de publicaciones son el Instituto Francés de Investigación para la Agricultura (INRA), con la unidad Eco-Innov, y la Universidad de Wageningen de Países Bajos. Estas instituciones desarrollan varios proyectos relacionados con agricultura sostenible y adicionalmente invitan a otros países a participar en colaboración para investigaciones. A nivel latinoamericano, se destacan Brasil y Argentina, países que desarrollan investigaciones para el fomento de prácticas sostenibles en la agricultura (figura 7).

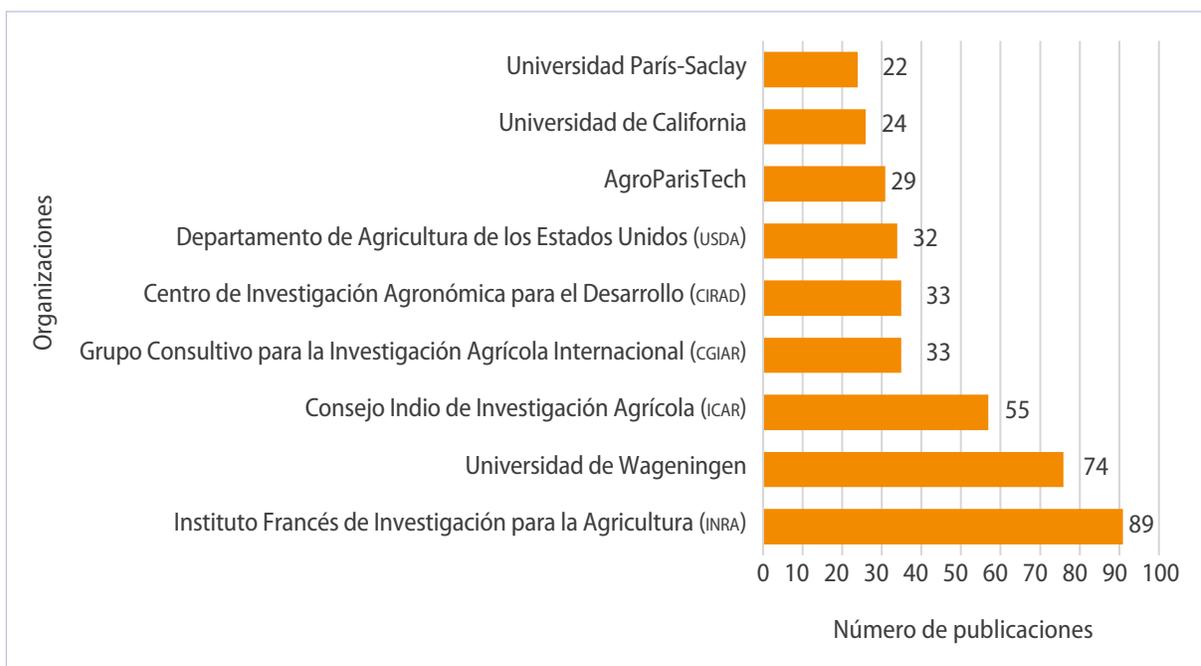


Figura 7. Principales organizaciones de investigación en prácticas de agricultura sostenible en el mundo.

Fuente: Elaboración propia en Excel con base en información recuperada de Scopus (fecha de consulta: noviembre de 2020)

Para Colombia, se identifican diez organizaciones, como el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), la Corporación Universitaria Minuto de Dios (Uniminuto) y AGROSAVIA (figura 8).



Figura 8. Principales organizaciones de investigación en prácticas de agricultura sostenible en Colombia.

Fuente: Elaboración propia en Excel con base en información recuperada de Web of Science (fecha de consulta: noviembre de 2020)

Biodiversidad

La vigilancia tecnológica de este enfoque se realizó a partir de la biodiversidad propiamente dicha y la bioprospección como objeto de estudio.

Biodiversidad

La ecuación aplicada en las bases de datos bibliográficas Scopus y Web of Science para el periodo 2000-2020 (anexo 3.2) permitió recuperar, respectivamente, 1.974 y 2.144 publicaciones científicas relacionadas con términos claves asociados a biodiversidad, sostenibilidad, agrobiodiversidad, conservación, forestal y biotecnología.

La búsqueda mostró un crecimiento de las investigaciones relacionadas con biodiversidad durante el periodo 2014-2020, ya que las publicaciones pasaron de 55 en el primer año a 207 en el último, lo que refleja el interés de la comunidad científica por profundizar en esta área (figura 9). El enfoque de la biodiversidad y de sus temas relacionados es tendencia desde hace diez años, década en la que han tomado más relevancia los recursos genéticos; el uso y la aplicación de los elementos naturales de origen animal y vegetal, y las alternativas, políticas y acuerdos que permiten fortalecer el acceso a estos recursos con el propósito de potencializar su uso en varios sectores productivos, todo lo cual ha contribuido a que este enfoque se posicione como una línea de acción de gran potencial para el sector agropecuario. La información más reciente (2017 en adelante) se concentra en bioeconomía, sistemas de alimentación, extracción de aceite de palma, servicios ecosistémicos, espacios urbanos verdes, actividad antropogénica, pérdida de suelos y economía circular.

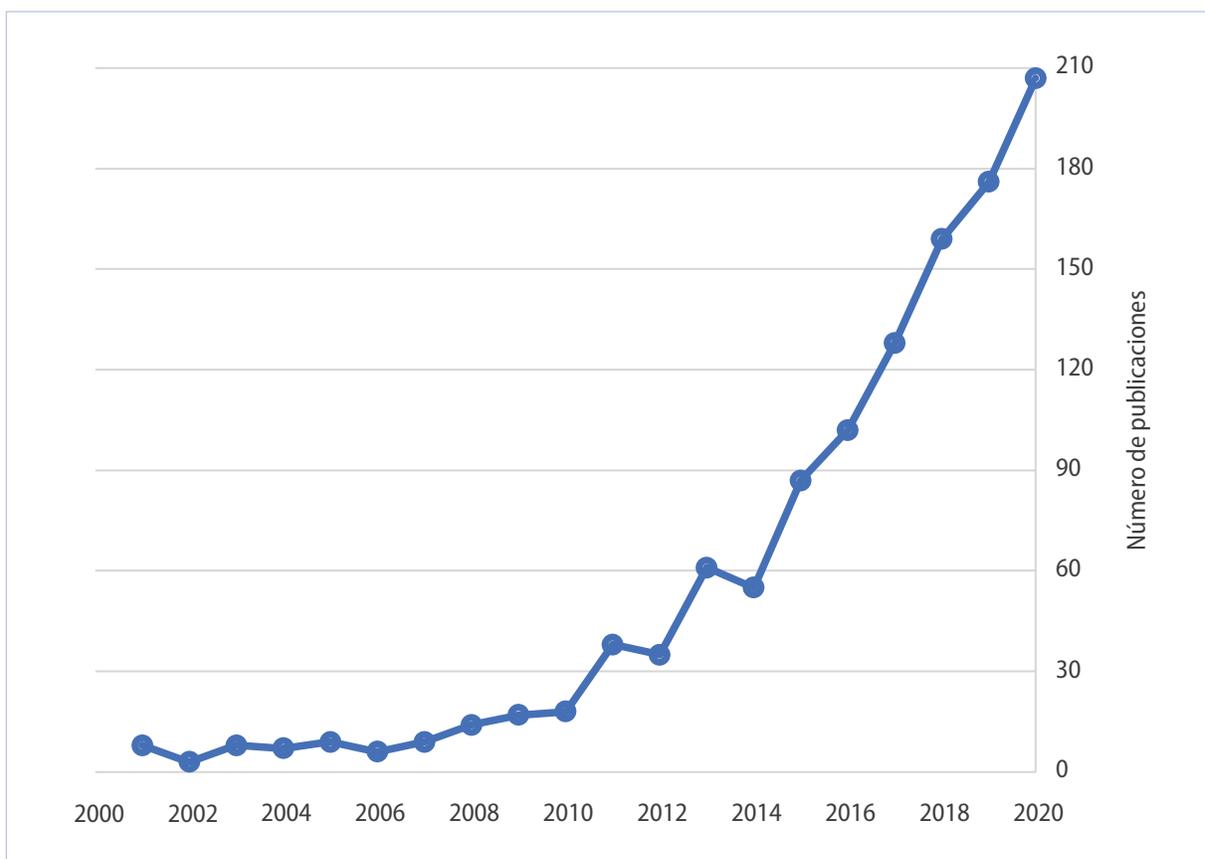


Figura 9. Número de publicaciones sobre biodiversidad, 2000-2020.

Fuente: Elaboración propia en Excel con base en información recuperada de Web of Science (fecha de consulta: diciembre de 2020)

Dentro del panorama científico obtenido con VOSViewer se destacan los siguientes clústeres por su mayor concentración, los cuales se clasifican aquí según cohesión de palabras claves y resúmenes: clúster 1, 237 elementos referentes a gobernanza, articulación de actores, conexiones e intereses de los participantes en temas de biodiversidad; clúster 2, 138 elementos que se centran en biomasa, diversidad, abundancia, control de pesticidas, propiedades nutricionales de los suelos, fertilización y elementos macros como nitrógeno; clúster 3, 129 elementos relacionados con los diferentes espacios de biodiversidad, como ríos, lagos, bosques, espacios de cacería, mapas marinos, plataformas continentales y con zonas urbanas que permiten su ubicación.

Mediante el análisis con Bibliometrix, se identificaron los siguientes temas: i) altamente desarrollados como marco de referencia: sistemas, ciencia y política; ii) motores: cambio climático, impactos, biodiversidad, conservación, patrones y bosques; iii) básicos y transversales: biodiversidad, administración, sostenibilidad, conservación, servicios de ecosistema, y iv) emergentes o decadentes: dinámica, paisajes, crecimiento, consecuencias y productividad (figura 10).

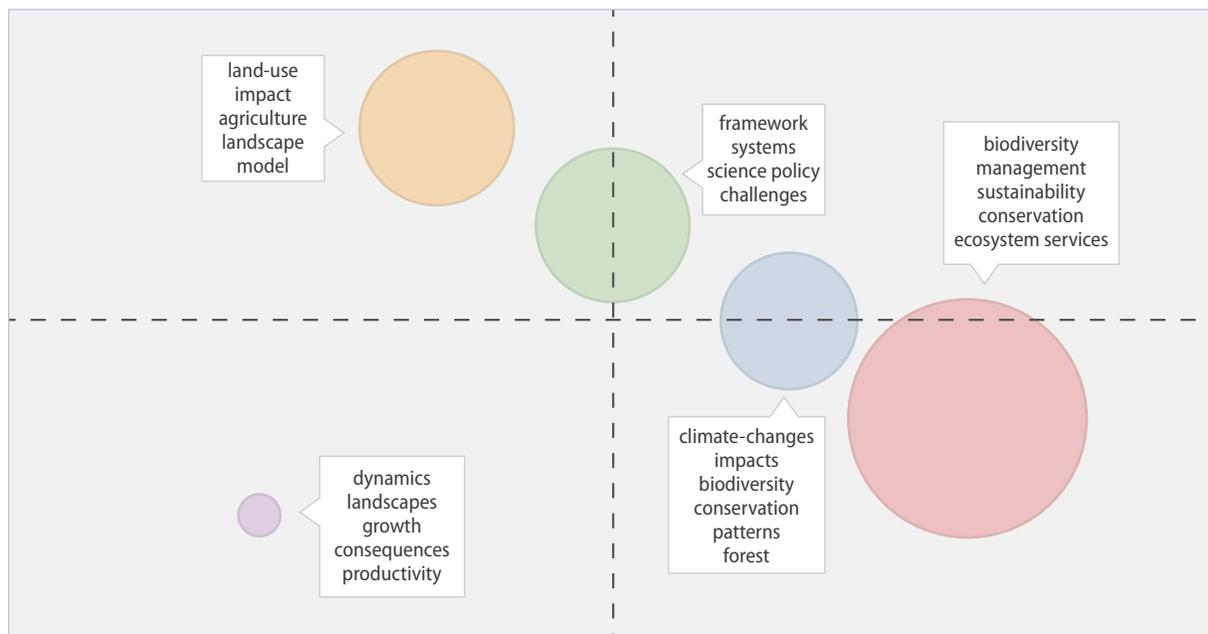


Figura 10. Mapa temático para biodiversidad analizado con Bibliometrix.

Fuente: Elaboración propia con base en información recuperada de Scopus y con *software* de análisis Bibliometrix (fecha de consulta: diciembre de 2020)

Los investigadores con mayor número de publicaciones están vinculados a entidades como la Universidad Estatal de Michigan en Estados Unidos, la Universidad de Stellenbosch en Sudáfrica, la Universidad Libre de Ámsterdam en Países Bajos, la Universidad Leuphana de Lüneburg en Alemania y la Universidad James Cook de Australia.

Estados Unidos presenta la mayor concentración de resultados en publicaciones (500), seguido de Reino Unido y Australia (figura 11). Las áreas temáticas están relacionadas con medio ambiente (33,1 %), agricultura (24,3 %) y ciencias sociales (9,2 %), y la mayoría de publicaciones corresponden a artículos (7,4 %), revisiones (3,1 %) y capítulos de libros (7,5 %).

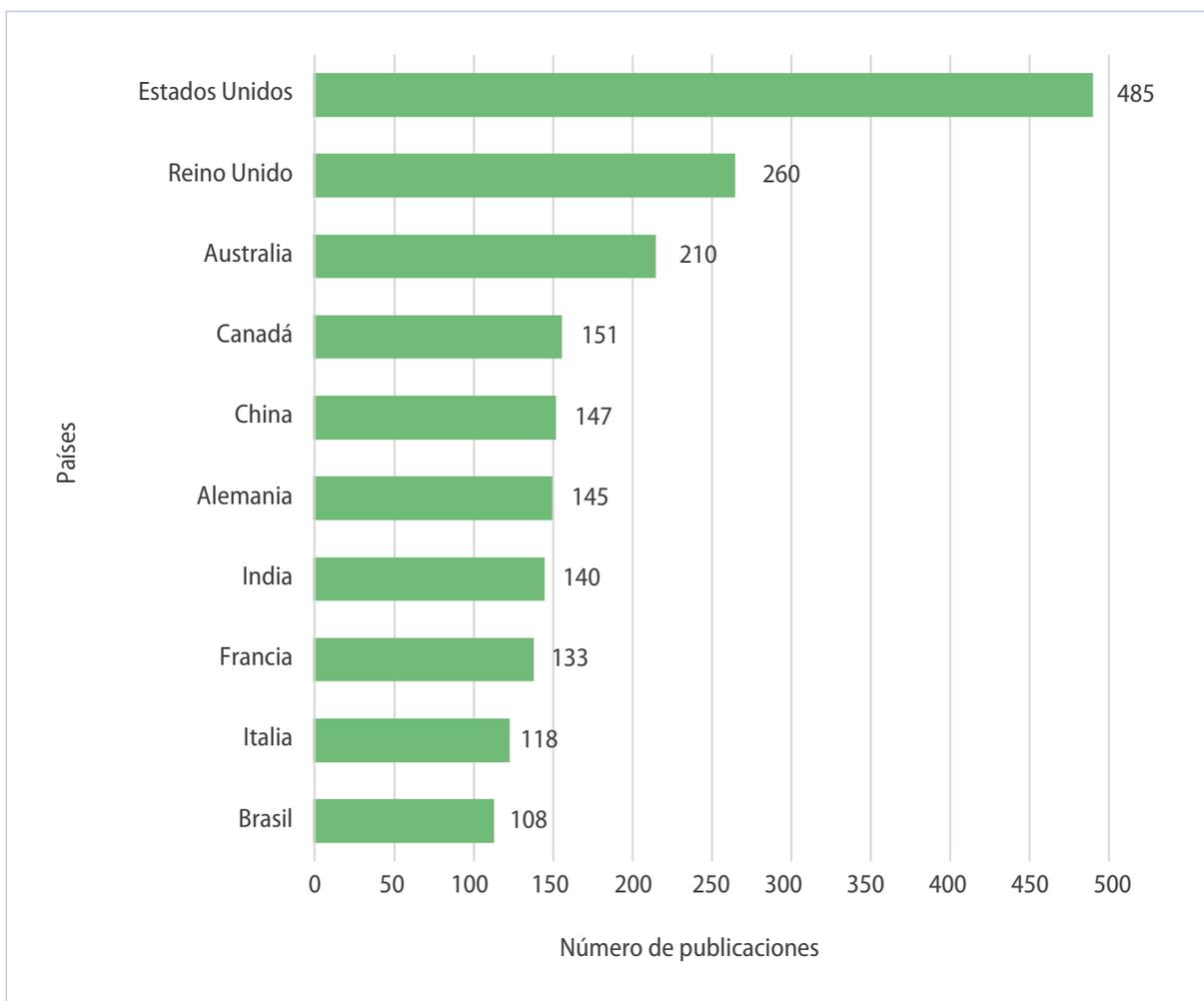


Figura 11. Países con mayor número de investigaciones en biodiversidad.

Fuente: Scopus, 2020

Colombia registra quince instituciones destacadas en esta área de investigación, entre ellas el CIAT, la Universidad Nacional de Colombia sedes Bogotá y Medellín, la Universidad del Valle y la Universidad de Córdoba (figura 12).

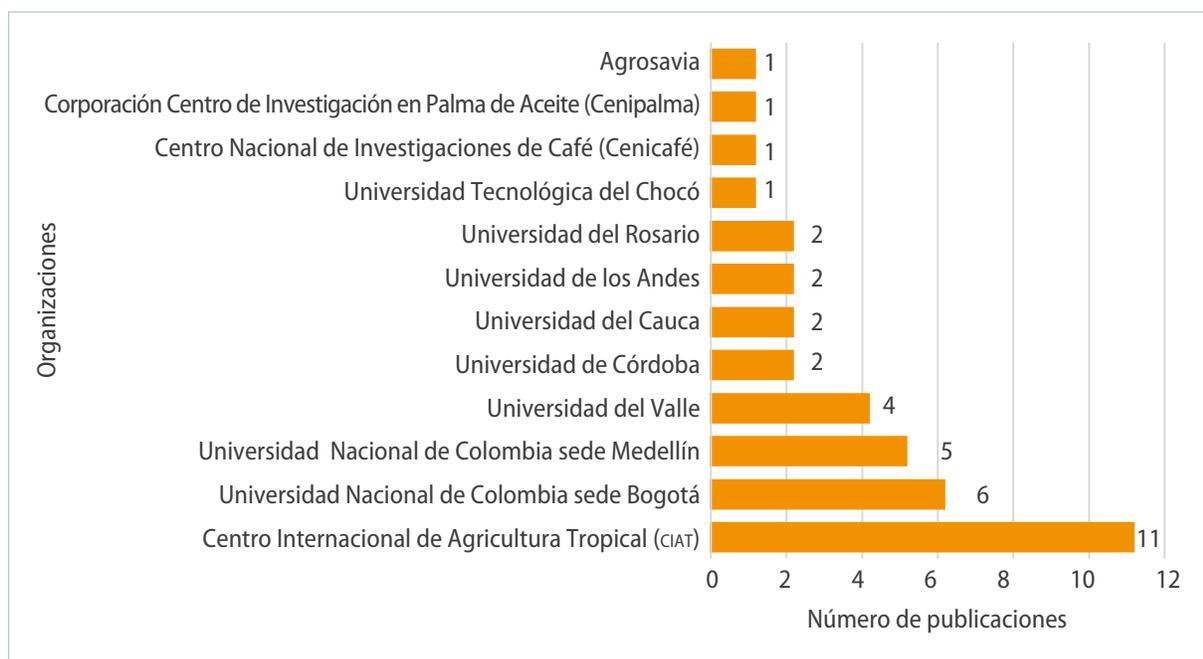


Figura 12. Principales instituciones nacionales de investigación en biodiversidad.

Fuente: Scopus, 2020

Bioprospección

La ecuación implementada en las bases de datos bibliográficas Scopus y Web of Science para el periodo 2000-2020 (anexo 3.3) permitió recuperar, respectivamente, 484 y 467 publicaciones científicas relacionadas con términos claves asociados a bioprospección, recursos, genética, ambiente, ecosistema y especies.

Las publicaciones están relacionadas con acceso a biodiversidad, su conservación y beneficios, diversidad biológica, bioprospección marina y diversidad química. No obstante, la información más reciente (2017 en adelante) se concentra en producción de biogás, aguas residuales, estiércol, proteobacteria microbiana y crecimiento vegetal.

Se resalta el crecimiento de las investigaciones en los últimos años, ya que pasando de 83 en 2015 a 180 en 2020 (figura 13). El enfoque de la bioprospección es tendencia desde hace diez años, década en la que han tomado más relevancia los estudios con enfoques de biodiversidad y generación de bioproductos, relacionados con conservación de recursos naturales, genética molecular, microorganismos y biorremediación.

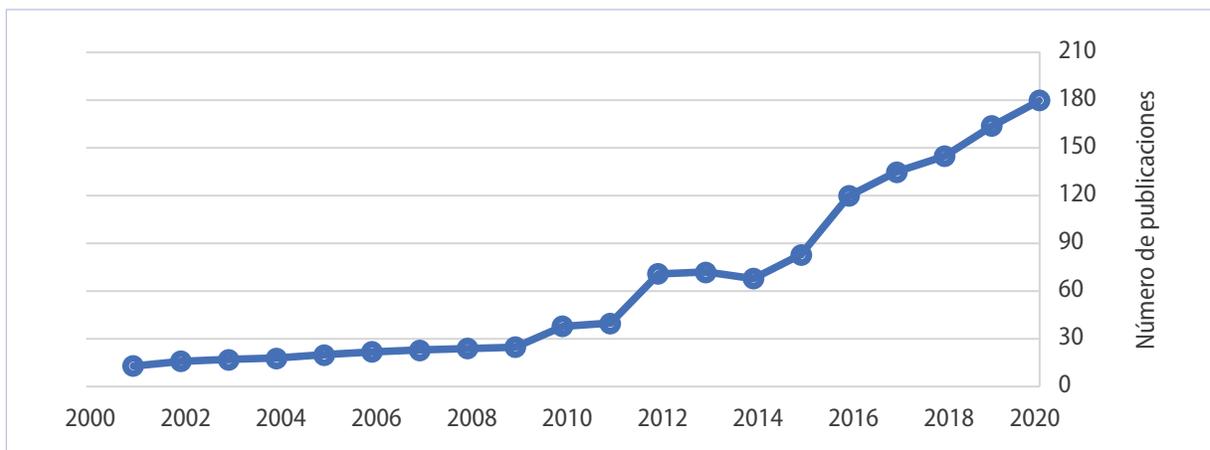


Figura 13. Número de publicaciones sobre bioprospección, 2000-2020.

Fuente: Scopus, 2020

Dentro del panorama científico obtenido con VOSViewer se destacan los siguientes clústeres por su mayor concentración, los cuales se clasifican aquí según cohesión de palabras claves y resúmenes: clúster 1, 118 elementos enfocados en medicina, investigación, malaria e investigación genética; clúster 2, 98 elementos asociados al crecimiento verde, microalgas, producción con pigmentación, enzimas, secuenciación y biomasa; clúster 3, 78 elementos relacionados con la actividad antioxidante y antibacterial, esporas, concentración en hongos, Fusarium y sedimentos marinos.

Así mismo, se realizó un análisis con Bibliometrix en el que se identificaron los siguientes tipos de temas: i) altamente desarrollados pero aislados: comunidad de macroalgas y productos antibacteriales; ii) motores: extractos de plantas, metabolitos, biosíntesis y purificación a partir de bacterias y enzimas; iii) básicos y transversales: identificación y resistencia genética, y iv) emergentes o decadentes: relacionados con productos o plantas medicinales, descubrimiento de drogas, antibióticos, biodiversidad y uso del suelo (figura 14).

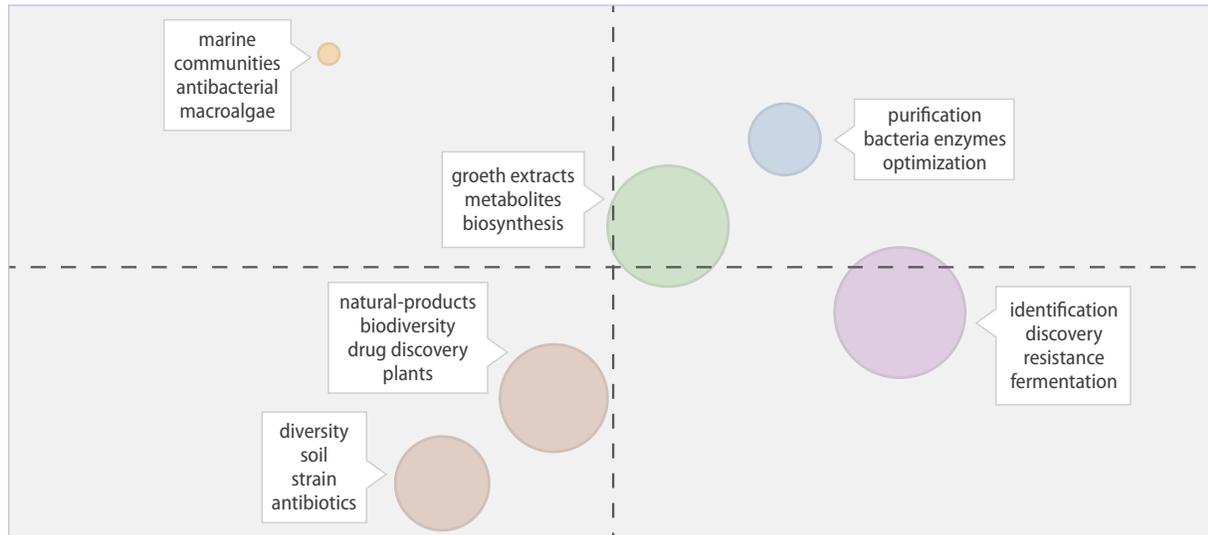


Figura 14. Mapa temático para bioprospección analizado con Bibliometrix.

Fuente: Elaboración propia con base en información recuperada de Scopus y *software* de análisis Bibliometrix (fecha de consulta: diciembre de 2020)

Los investigadores con mayor número de publicaciones están vinculados al Consejo Indio de Investigación Agrícola y al Instituto de Agricultura Sostenible (IAS) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de Córdoba en España. Por países, India presenta la mayor concentración de resultados en publicaciones (132), seguida por Estados Unidos (95) y Brasil (65) (figura 15).

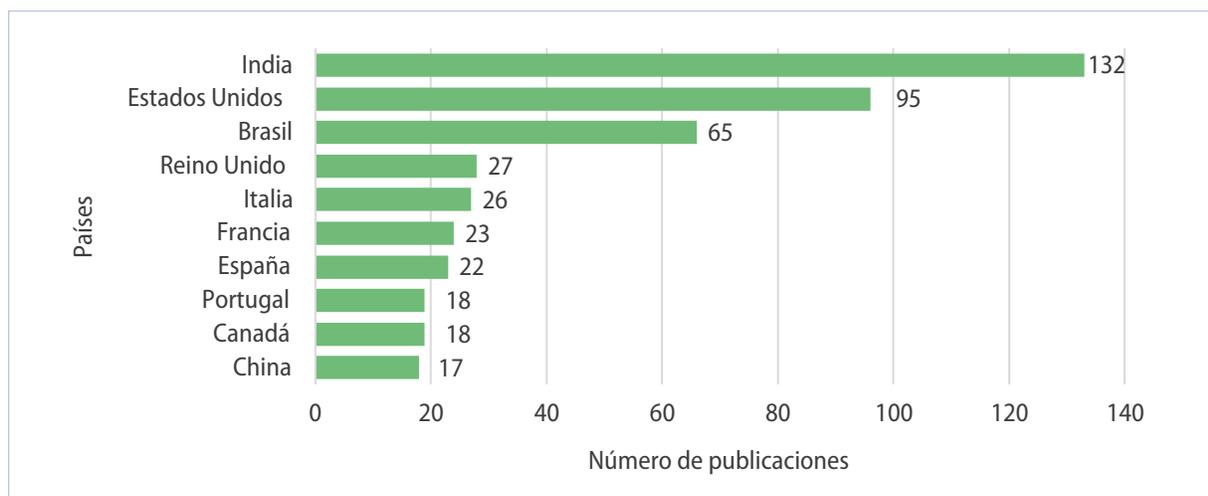


Figura 15. Principales países con investigaciones en bioprospección.

Fuente: Scopus, 2020

Por áreas temáticas, las publicaciones se concentran en bioquímica (21,6 %), inmunología (17,3 %) y agricultura (16,1 %), y la mayoría son artículos (67,1 %), artículos de revisión (18,4 %) y capítulos de libros (10,8%). Las entidades líderes en bioprospección en Latinoamérica son la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa), la Universidad Federal de Paraná de Brasil, la Fundación Oswaldo Cruz y la Universidad Federal de Minas Gerais. En el contexto nacional, se registran diez instituciones, entre las que se destaca el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia.

Economía circular

Las publicaciones científicas relacionadas con economía circular identificadas en las bases de datos bibliográficas Scopus y Web of Science (anexo 3.4) presentan una tendencia de crecimiento exponencial, ya que aparecen en 2011 con 6 publicaciones, pasan a 15 en 2014, 115 en 2015 hasta 1490 en 2020 (figura 16).

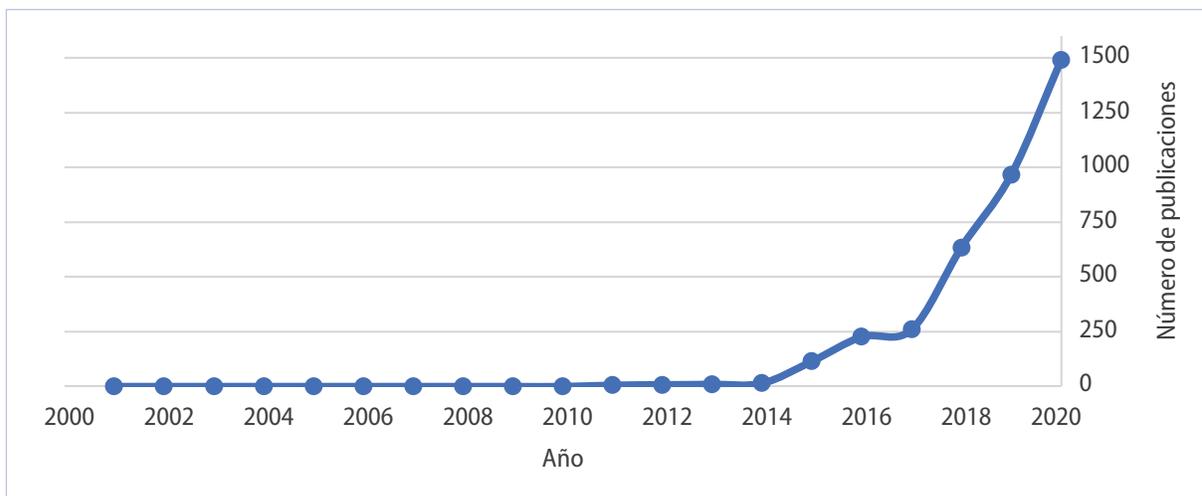


Figura 16. Dinámica de publicaciones sobre economía circular, 2000-2020.

Fuente: Scopus, 2020

Las publicaciones están vinculadas principalmente a las áreas de medioambiente (30,3 %), energía (14,3 %) e ingeniería (14,1 %). Como resultado de su crecimiento exponencial, a partir de 2017 se concentran en temas de biogás, compostaje, biomasa, biodiversidad, construcción del sector, estrategia circular, invernaderos, generación de electricidad con residuos de cosechas, impacto ambiental, cambio climático, agua y plástico residual y acumulativo.

Dentro del panorama científico obtenido con VOSViewer se destacan los siguientes tres clústeres, los cuales se clasifican aquí según cohesión de palabras claves y resúmenes: clúster 1, con 114 elementos relacionados con educación, academia, análisis de niveles de educación, indicadores de investigación y políticos; clúster 2, con 111 elementos centrados en degradación anaeróbica, biogás, fertilizantes, residuos de cosecha, electricidad y plástico, y clúster 3, con 54 elementos relacionados con impacto ambiental, construcción, posibles escenarios a futuro e influencia de las emisiones de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero.

Así mismo, se realizó un análisis con Bibliometrix en el que se identificaron los siguientes tipos de temas para la economía circular: i) motores: uso eficiente de recursos, reciclaje, reutilización, análisis de ciclo de vida y análisis de flujo de materiales; ii) básicos y transversales: relacionados con sostenibilidad, desarrollo sostenible, manejo de residuos y ecología industrial; iii) emergentes o decadentes: recuperación de residuos y chatarra electrónica, y iv) altamente desarrollados pero aislados: remanufactura de residuos, eficiencia en la gestión de residuos y cero chatarras y políticas en la gestión de residuos (figura 17).

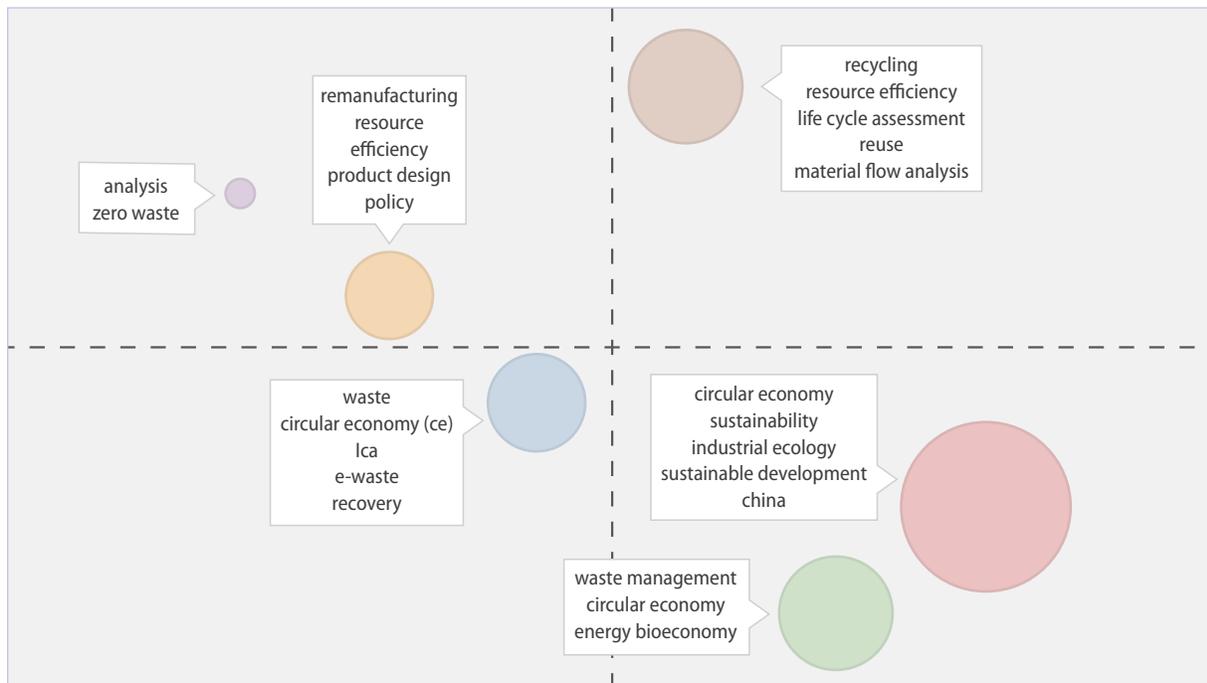


Figura 17. Mapa temático para economía circular analizado con Bibliometrix.

Fuente: Elaboración propia con base en información recuperada de Scopus y *software* de análisis Bibliometrix (fecha de consulta: diciembre de 2020)

Los países con mayor número de publicaciones son Italia (80), Reino Unido (68), China (58), España (50), Estados Unidos (40) y Alemania (37). En estos países se encuentra la mayor parte de investigadores líderes, y de estos, los cinco primeros están afiliados a la Universidad Jiao Tong de Shanghai en China, la Universidad de Mánchester en Reino Unido, la Academia Polaca de Ciencias, la Universidad Aristóteles de Tesalónica en Grecia y el Instituto de Tecnología de Róchester en Estados Unidos.

No obstante, las entidades más destacadas en el mundo son la Universidad Tecnológica de Delft en Países Bajos (15 publicaciones), las universidades de Mánchester (13) y Leeds (12) en el Reino Unido y la Academia China de Ciencias (12). En el escenario latinoamericano, lideran varias instituciones educativas brasileñas y chilenas, empezando por la Universidad de Sao Paulo (8 publicaciones) y la Universidad Estatal Paulista (4) (figura 18).

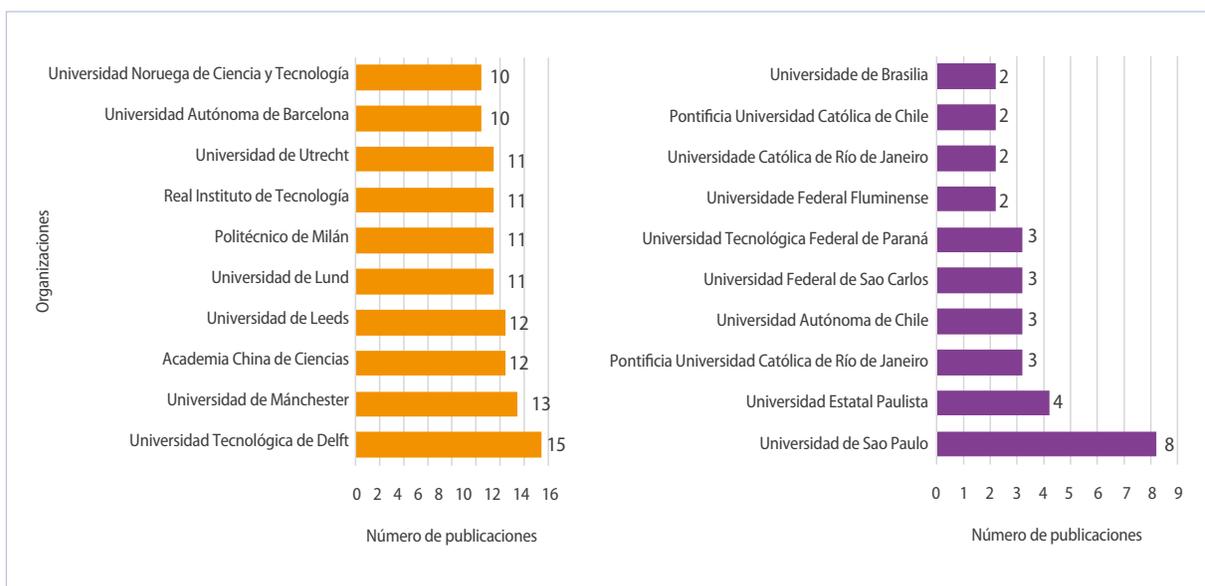


Figura 18. Principales organizaciones de investigación en economía circular en el mundo y Latinoamérica.

Fuente: Elaboración propia en Excel con base en información recuperada de Scopus (fecha de consulta: noviembre de 2020)

En el ámbito nacional, se identifican cinco instituciones: el Instituto de Desarrollo Sostenible (IDS) de la Universidad del Norte (dos publicaciones), la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (una), la Universidad Francisco de Paula Santander (una), la Universidad Tecnológica de Bolívar (una) y la Universidad del Valle (una).

Bioproductos

La vigilancia tecnológica llevada a cabo en las bases de datos Scopus y Web of Science para el periodo 2000-2020 (anexo 3.5) permitió recuperar, respectivamente, 900 y 1.149 publicaciones científicas relacionadas con términos claves asociados a bioproductos y su producción y calidad, fertilizantes y biofertilizantes, bioplaguicidas, probióticos, aditivos, metabolitos, adyuvantes, sustratos y enzimas.

Las publicaciones identificadas están relacionadas con temas de síntesis enzimática, inhibidores de hongos, hidrólisis enzimática, ingeniería metabólica, así como resistencia y secuenciación genéticas. No obstante, la información más reciente (2017 en adelante) se concentra en los temas de uso de bagazo de caña panelera y paja de arroz como insumos para bioproductos; escenarios con biometano como proceso de coproducción; biorrefinería y bioenergías; biorremediación, y balances económicos.

Se resalta también el crecimiento de las investigaciones relacionadas con bioproductos desde el año 2001, aunque es en los últimos años cuando se presenta un incremento significativo de publicaciones, ya que se pasa de 61 en 2015 a 207 en 2020 (figura 19). Los resultados indican que el enfoque de bioproductos y temas relacionados es tendencia desde hace diez años y que en la actualidad se ha posicionado como una línea de acción de gran potencial para el sector agropecuario gracias a su alineación con la producción sostenible y la generación de alternativas de producción limpia y renovable.

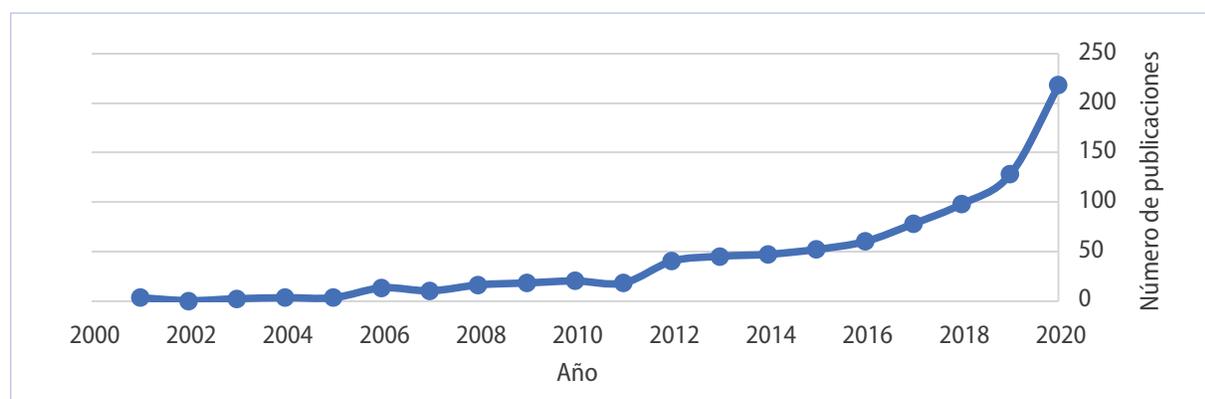


Figura 19. Dinámica de publicaciones sobre bioproductos, 2000-2020.

Fuente: Scopus, 2020

Dentro del panorama científico obtenido con VOSViewer se resaltan los siguientes clústeres de mayor concentración, los cuales se clasifican aquí según cohesión de palabras claves y resúmenes: clúster 1, 150 elementos relacionados con enzimas, pseudomonas, biosíntesis, metabolitos, plantas de biomasa y biología sintética; clúster 2, 143 elementos relacionados con política y economía de los sectores, aplicaciones y medios de producción, elementos de balances económicos y competitividad regional, y clúster 3, 111 elementos centrados en hidrólisis enzimática, uso de bagazo de caña y degradación anaeróbica.

A manera de complemento, se llevó a cabo un análisis con Bibliometrix, en el cual se identificaron los siguientes tipos de temas: i) altamente desarrollados: enfocados en control biológico, germinación y cultivo de vegetales, así como en diversidad genética y calidad; ii) motores: invernaderos, seguridad alimentaria, pesticidas y antioxidantes; iii) emergentes o decadentes: rendimiento y calidad de cultivos, temperatura, salinidad, y iv) transversales: compuestos bioactivos, carotenoides y actividad antioxidante (figura 20).

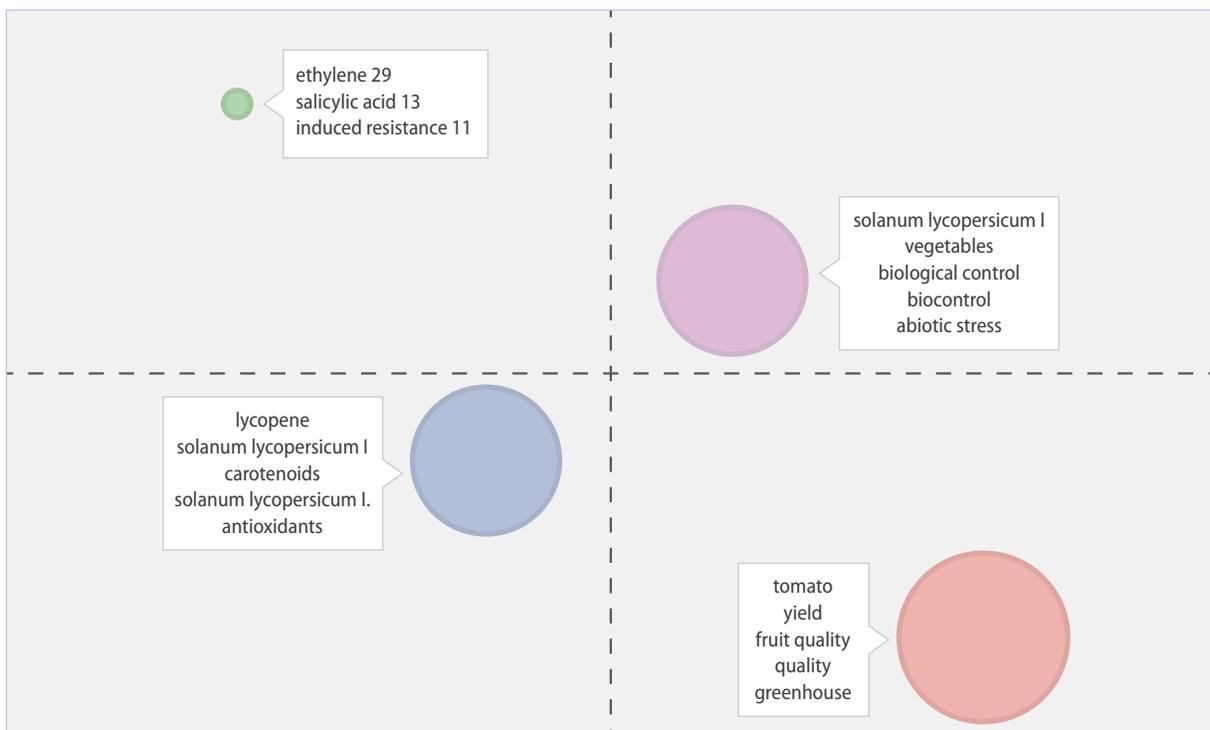


Figura 20. Mapa temático para bioproductos analizado con Bibliometrix.

Fuente: Elaboración propia con base en información recuperada de Scopus y con *software* de análisis Bibliometrix (fecha de consulta: diciembre de 2020)

Los autores con mayor número de publicaciones están vinculados a universidades de Estados Unidos, Corea del Sur y Brasil, interesadas en investigación en biotecnología e ingeniería aplicada, combustibles, agricultura y ciencias ambientales. Tales universidades son la Estatal de Nueva York, la Estatal de Utah y el Laboratorio Nacional de Lawrence Berkeley en Estados Unidos, así como la Universidad de Ciencia y Tecnología de Pohang en Corea y la Universidad de Passo Fundo en Brasil. En el caso de Estados Unidos, también se encuentra la Oficina de Eficiencia Energética y Energías Renovables, que centra su investigación en la generación, desarrollo y conversión de materias primas, y en la elaboración de bioproductos y biocombustibles para los diferentes procesos de las cadenas de suministro.

En cuanto a la concentración de resultados por países, Estados Unidos lidera con 274 publicaciones, seguido de Brasil que tiene menos de la mitad de este (120) y China (105) (figura 21). De acuerdo con las áreas temáticas, la bioquímica ocupa el primer lugar (14,8 %), seguida de medio ambiente (13,4 %), ingeniería química (13,3 %) y agricultura (12 %). La mayoría de las publicaciones son artículos científicos (55,2 %), artículos de revisión (28,3 %) y capítulos de libros (12,1 %).

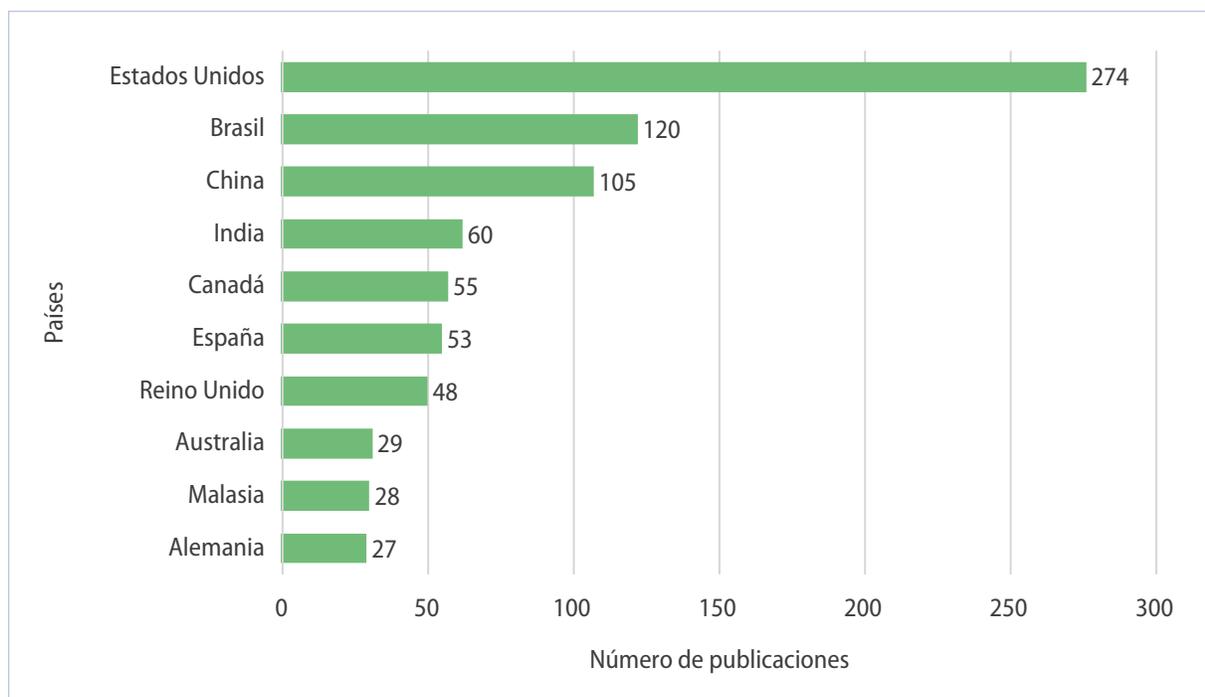
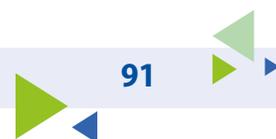


Figura 21. Principales países según número de investigaciones en bioproductos.

Fuente: Scopus, 2020

En el contexto nacional, se destacan la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Los Andes. Esta última cuenta con la Maestría en Diseño de Procesos y Productos, en la cual se abordan la implementación, diseño y relevo de herramientas, así como programas de procesos y productos químicos para brindar productos innovadores y aumentar la competitividad empresarial.





Capítulo 5



Contribución de AGROSAVIA

AGROSAVIA, como entidad de orden nacional, de carácter científico-técnico, tiene por objeto el desarrollo y ejecución de investigación, transferencia de tecnología y promoción de los procesos de innovación para mejorar la productividad y competitividad del sector. Su propósito superior es transformar de manera sostenible el sector agropecuario colombiano con el poder del conocimiento para mejorar la vida de productores y consumidores.

Con base en lo anterior, AGROSAVIA considera la generación de proyectos de investigación, desarrollo tecnológico, innovación y vinculación, en torno a cuatro enfoques que apuntan al fortalecimiento de la bioeconomía en el sector agropecuario:

1. *Prácticas de agricultura sostenible*: para favorecer la agricultura y la seguridad alimentaria, así como satisfacer las necesidades actuales y futuras del sector agropecuario colombiano, garantizando la competitividad, la conservación de los ecosistemas, la equidad social y económica y la disponibilidad, acceso y consumo de alimentos saludables.
2. *Biodiversidad*: para contribuir al conocimiento y aprovechamiento de la agrobiodiversidad del país (plantas, animales, microorganismos) o de sus productos derivados, así como a la gestión de estos de manera eficiente y sostenible, para que sean punto de partida de procesos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación.
3. *Economía circular*: para contribuir a la conservación continua de los ciclos biológicos y técnicos que permitan mejorar el capital natural, poniendo énfasis en los encadenamientos productivos, los flujos de materiales, la utilización de energía a partir de fuentes renovables y las aplicaciones específicas de productos de origen agropecuario.
4. *Bioproductos*: para investigar, diseñar e implementar metodologías de producción, formulación y escalamiento de bioinsumos, que garanticen el desarrollo tecnológico de bioproductos innovadores y de alto valor agregado.

El marco estratégico de AGROSAVIA cuenta con metas de impacto y actividades transversales a todas sus redes de innovación¹³, en aspectos relacionados con los distintos enfoques de la bioeconomía abordados en este documento.

Diagnóstico de acciones corporativas

Para AGROSAVIA es importante la bioeconomía como medio para propiciar beneficios socio-económicos frente al aprovechamiento de las potencialidades de la biomasa y el uso sostenible de los recursos.

En su proceso de promoción de la bioeconomía, la corporación propende al abordaje social con empresas públicas y privadas, destacando sus beneficios económicos, sociales y ambientales. Así mismo, apoya diálogos y estrategias nacionales e internacionales para fortalecer la imagen de este tema y posicionarlo como una solución o mejora a los problemas que actualmente se presentan en materia de producción, precios y consumo, en diferentes sectores de la economía.

Prácticas de agricultura sostenible

La creación en 1993 de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica, desde 2018 AGROSAVIA) permitió un cambio de enfoque en la investigación agropecuaria. De un enfoque con alta influencia de la revolución verde se pasó a uno de sostenibilidad (económica, social y ambiental) y para ello se crearon programas nacionales con cobertura de temas que permitieron el desarrollo, validación y transferencia de tecnología en prácticas de manejo sostenible.

Las prácticas de manejo sostenible de los recursos naturales agua, suelo y biodiversidad se han implementando desde la creación de la corporación. Las prácticas se han evaluado y validado y en muchos casos se han convertido en recomendaciones de ofertas tecnológicas de productos o tecnologías.

¹³ Estas redes de innovación son: i) cacao, ii) cultivos permanentes, iii) cultivos transitorios y agroindustriales, iv) frutales, v) ganadería y especies menores, vi) hortalizas y plantas aromáticas y vii) raíces y tubérculos.

En lo que concierne al manejo de plagas y enfermedades, se han logrado consolidar prácticas de control integrado que consideran el manejo cultural y el químico, así como el control biológico, y en las que el desarrollo de bioplaguicidas se ha venido fortaleciendo a lo largo de los años.

En los aspectos relacionados con suelo, agua y clima, se han realizado importantes trabajos de manejo y conservación de suelos, labranza conservacionista y nutrición integrada de cultivos (considerando fuentes químicas, orgánicas y uso de biofertilizantes), para mejorar la eficiencia en la toma de nutrientes, en el manejo del recurso hídrico, en la mecanización de cultivos y en el manejo y recuperación de praderas. Se han realizado esfuerzos en la diversificación espacio-temporal de cultivos, con la evaluación e implementación de sistemas agroforestales y silvopastoriles y con la rotación de cultivos intercalados¹⁴.

La corporación ha desarrollado variedades vegetales con alto contenido nutricional y biofortificadas, lo que ha permitido la generación de nuevos materiales con características deseables de rendimiento, resistencia a factores bióticos y abióticos y con mayores contenidos de macro y micronutrientes que permitan a los consumidores un mayor aprovechamiento de estos en sus dietas y la disminución de la malnutrición y las deficiencias de micronutrientes (por ejemplo, maíz QPM de alta calidad de proteína; frijoles biofortificados ricos en hierro y zinc, batatas con altos contenidos de betacarotenos y guayaba rica en vitamina C).

En temas transversales, se ha avanzado en la zonificación de los sistemas de producción desde los puntos de vista agrológico y agroclimático y en buenas prácticas de manejo¹⁵. Así mismo, se han desarrollado metodologías de evaluación de los impactos ambiental, social y económico de las tecnologías entregadas a los productores (AGROSAVIA, 2018, 2019, 2020a).

¹⁴ Al respecto, se puede consultar AgroExplora, sitio web de AGROSAVIA (<https://bit.ly/3tvDnpr>).

¹⁵ Buenas prácticas agrícolas (BPA), ganaderas (BPG) y de manufactura (BPM).

Biodiversidad

Después de la promulgación del CDB en 1992, el gobierno colombiano formalizó el Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación Colombiana (1994) a partir de las colecciones de trabajo existentes en el ICA y delegó a AGROSAVIA como administrador de dicho sistema. En 1996, el Sistema de Bancos de Germoplasma se organizó en tres subsistemas (animal, vegetal y microorganismos), conocidos hoy en día como los Bancos de Germoplasma para la Alimentación y la Agricultura (BGAA).

Las estrategias generadas por AGROSAVIA han permitido realizar progresos, por un lado, en el incremento de especímenes, con el propósito de aumentar la diversidad y variabilidad genética de las colecciones, y por otro lado, en la caracterización, mediante el uso de tecnologías ómicas y el fortalecimiento de capacidades institucionales en temas de curaduría, uso y aprovechamiento.

Así mismo, la corporación considera las colecciones biológicas como un instrumento de información esencial para el desarrollo de la investigación científica y para el modelaje ambiental de la biodiversidad del país y de especímenes de importancia agrícola de otras regiones del mundo, ya que su conservación y mantenimiento contribuyen al mejor aprovechamiento de los recursos biológicos y al mejoramiento de la seguridad alimentaria del territorio nacional. Bajo esta premisa, AGROSAVIA crea en 2015 el Departamento de Agrobiodiversidad y la Coordinación de Recurso Biológicos, los cuales han liderado y coordinado el diseño e implementación de estrategias relacionadas con la conservación, caracterización y documentación, así como con la promoción y uso de los recursos genéticos conservados en los BGAA. Esta coordinación se ha hecho a través de proyectos de agenda corporativa o mediante alianzas estratégicas con otras entidades públicas y privadas, con el fin de contribuir al mejoramiento de la calidad, productividad y sostenibilidad de los sistemas agropecuarios del país.

Adicionalmente, desde el año 2017 la corporación cuenta con el Departamento de Semillas, encargado de orientar la ejecución de acciones de I+D+i relacionadas con semillas y la administración de los procesos de producción de semilla de calidad, así como de estructurar estudios de caracterización de la oferta y demanda de semillas y desarrollar iniciativas estratégicas de semillas que fortalezcan a los actores del SNIA.

Dentro de las acciones llevadas a cabo por el departamento, se encuentran las que se enfocan en el uso de la diversidad y su conservación. En atención a lo anterior, trabaja en temas como la apropiación e integración del concepto de *semillas de calidad* para garantizar en el tiempo la sostenibilidad de especies y variedades a través de la producción de semilla o material de propagación. En el Plan Nacional Semilla (PNS), el departamento busca impulsar la producción de semillas de calidad y fomentar los sistemas locales de semillas en beneficio de los pequeños y medianos productores¹⁶.

Dentro de las estrategias desarrolladas en conservación, se han ejecutado proyectos de investigación en diferentes sistemas que garantizan la preservación de los recursos genéticos, así como la existencia de duplicados y copias de seguridad. También se ha mejorado la infraestructura tecnológica con el objetivo de profundizar procesos de caracterización genómica y fenotípica e implementar sistemas de información especializados. Todas estas estrategias se han adelantado de manera paralela con la gestión y consolidación de alianzas estratégicas, llevadas a cabo por el Departamento de Agrobiodiversidad en los niveles nacional e internacional.

En cuanto a los BGAA, se han implementado sistemas de información especializados (GRIN-Global y BioloMICS) para manejar los datos de pasaporte y las caracterizaciones de las accesiones que conforman las colecciones biológicas de los Bancos de Germoplasma Vegetal y de Microorganismos. Por otro lado, AGROSAVIA promueve el uso de las colecciones biológicas de los bancos de germoplasma mediante diferentes estrategias de difusión, como un micrositio alojado en la página web de la corporación (www.agrosavia.co/nosotros/bancos-de-germoplasma), en el cual se pueden visibilizar las colecciones y solicitar accesiones con fines de investigación, desarrollo e innovación. Para dar cumplimiento a la reglamentación nacional vigente sobre recolección y registro de colecciones y acceso a recurso genético, AGROSAVIA generó una política para la adquisición, manejo y entrega de los recursos biológicos que conforman los bancos de germoplasma (AGROSAVIA, 2016).

¹⁶ Sobre el PNS, se puede consultar: <https://www.agrosavia.co/sociedad/semillas>.

Las investigaciones específicas con el material de los BGAA han dado lugar a tecnologías importantes para el desarrollo agropecuario del país. Es así como a partir de las accesiones biológicas conservadas en el Banco de Germoplasma Vegetal (BGV), se han desarrollado proyectos específicos de caracterización que usan tecnologías de genotipificación y fenotipificación para identificar y asociar caracteres de interés (respuesta a estrés biótico y abiótico) en procura de acelerar los procesos de mejoramiento. Con el BGV también se han desarrollado proyectos de fitomejoramiento en los que se adelantan procesos de selección y cruzamientos para obtener variedades que hoy día están inscritas en el ICA y se encuentran vinculadas al Registro Nacional de Cultivares (RNC).

En el caso del Banco de Germoplasma Animal (BGA), se han desarrollado programas de mejoramiento genético y el plan de fomento de razas criollas (implementado entre 2005 y 2011), que permitió multiplicar la población (131 núcleos) con 6.264 animales registrados a lo largo de su ejecución. A partir del año 2013, parte de los animales provenientes del BGA se han destinado al fortalecimiento de los núcleos de selección para el mejoramiento genético de cuatro razas criollas bovinas (romosinuano [ROMO], blanco orejinegro [BON], costeño con cuernos [CCC] y sanmartinero [SM]). Actualmente, estos núcleos cuentan en promedio con 300 vientres, sobre los cuales se aplican métodos de selección genética para la mejora de rasgos de interés productivo. El BGA y los núcleos de selección representan una fuente importante de material genético de alta calidad para los productores interesados en incorporar genética de razas criollas a sus hatos, como una alternativa de producción sostenible para las condiciones climáticas del trópico colombiano.

En cuanto al Banco de Germoplasma de Microorganismos, se han obtenido a partir de las accesiones y mediante procesos de caracterización (geno y fenotípica) y de actividad biológica, varios productos, como probióticos, biocontroladores de plagas y biofertilizantes (AGROSAVIA, 2019). Respecto a las estrategias de biorremediación, AGROSAVIA ha trabajado en el diagnóstico de problemas de contaminación de suelos, aguas y cultivos con hidrocarburos, metales pesados y agroquímicos. A partir del diagnóstico, se han desarrollado investigaciones sobre microorganismos capaces de inmovilizar metales pesados como cadmio y arsénico en cultivos de importancia económica nacional. Adicionalmente, se han evaluado microorganismos para la descontaminación de aguas afectadas por hidrocarburos en procesos de producción de petróleo.

Economía circular

Como se mencionó anteriormente, todas las redes contemplan líneas de acción en los diferentes enfoques, pero en el caso de la economía circular cobran especial importancia aquellas redes relacionadas con el incremento del valor agregado de los productos agrícolas, pecuarios y agroindustriales, las cuales se asocian con el desarrollo de tecnologías de transformación de productos. Algunos ejemplos de redes para destacar son los siguientes:

- La red de cultivos transitorios y agroindustriales, con líneas de acción enfocadas en el desarrollo de alternativas para la utilización de subproductos, en mejorar la eficiencia energética y la mitigación del impacto ambiental en los sistemas de producción.
- La red de hortalizas y plantas aromáticas, con líneas enfocadas en la reducción y aprovechamiento de residuos agrícolas, en técnicas de manejo de cosecha y poscosecha y en procesos agroindustriales y bioprospección para generar valor agregado.
- La red de cacao, que diseña y ajusta protocolos y prototipos para la transformación agroindustrial de subproductos del sistema como estrategia de valor agregado.
- La red de raíces y tubérculos, que genera estrategias de uso y adopción de alternativas competitivas y sostenibles.
- La red de cultivos permanentes, con el uso y aprovechamiento de sistemas agroforestales.

Por su parte, la agenda de investigación de AGROSAVIA ha incorporado desde su creación proyectos que contribuyen al desarrollo de la economía circular y la bioeconomía del sector, como el aprovechamiento y valoración de subproductos, la generación de energía y biocombustibles, el mejoramiento de la eficiencia de los procesos, entre otros.

Respecto a la oferta tecnológica disponible, AGROSAVIA ha desarrollado variedades y recomendaciones de prácticas de manejo de cosecha y poscosecha que permiten aplicar los conceptos de la economía circular (reducir, reutilizar, reciclar, recuperar, rediseñar, reparar, renovar, repensar y reponer), pero además tiene las siguientes ofertas que se destacan por estar asociadas a la eficiencia energética: i) modelo de evaporación híbrido para la producción de panela; ii) diseño y construcción de un modelo regional demostrativo de hornilla panelera que aumenta la eficiencia energética, en los departamentos de Antioquia, Risaralda, Tolima y Huila, y iii) metodología para la evaluación energética y ambiental de hornillas paneleras.

Bioproductos

La corporación trabaja en el desarrollo de bioproductos desde sus orígenes (1993). Ha dado continuidad a la investigación del ICA sobre biofertilizantes y construyó una planta de producción de inoculantes para su escalamiento comercial. Posteriormente, se desarrollaron temas alrededor del control biológico y se fortalecieron los de microbiología de suelos. Los esfuerzos de investigación incorporaron herramientas de bioprospección y conceptos como formulación con enfoque de desarrollo de producto.

Como estrategia de fortalecimiento, se estableció en 2006 el Centro de Biotecnología y Bioindustria (CBB), cuyo objetivo fue generar conocimiento científico y soluciones biotecnológicas innovadoras para agregar valor a las distintas cadenas productivas del sector agropecuario colombiano. La visión de trabajo se centró en tres unidades funcionales: i) biología y genética molecular, ii) bioproductos y iii) calidad e inocuidad. A partir de allí se generaron los primeros contratos de transferencia de tecnología, con empresas nacionales e internacionales, que incorporaron, en el nivel comercial, los procesos de investigación y desarrollo en bioproductos adelantados por la corporación.

La materialización de estos primeros esfuerzos de investigación permitió realizar entre 2006 y 2008 los primeros registros ante el ICA, correspondientes a un bioplaguicida, siete biofertilizantes y laboratorios de control de calidad de bioinsumos. Así mismo, entre 2006 y 2010 se obtuvo ante el ICA el primer registro de planta piloto de producción de bioplaguicidas, lo que le confirió a AGROSAVIA la capacidad de producir a nivel comercial este tipo de productos.

Posterior a esto, se consolidó dentro de la corporación el Departamento de Bioproductos, al cual se le asignaron líneas de investigación y desarrollo enfocadas en bioplaguicidas, biofertilizantes y productos biológicos para salud animal. Con esta nueva estructura dentro del proceso de obtención de bioproductos, se diseñó un procedimiento corporativo que incluyó el fortalecimiento de conceptos como costos de producción, mercadeo, gerencia de producción, licenciamientos, explotación de propiedad intelectual y patentamiento, entre otros.

El departamento gestiona la operación de plantas piloto de producción de bioplaguicidas, biofertilizantes y bioproductos para salud y nutrición animal, así como para evitar la

propagación viral. Desde estas plantas se trabaja en la ejecución de proyectos en conjunto con los investigadores de las redes de innovación de AGROSAVIA, y en proyectos de codesarrollo con empresas privadas y universidades.

El proceso de desarrollo tecnológico de bioproductos utilizado en la corporación se divide en cuatro fases, una de prueba concepto, otra de desarrollo, una tercera de cambio de escala y una última de registro y lanzamiento. En cada una de estas fases se desarrollan actividades de investigación, vigilancia tecnológica, análisis costo/beneficio, mercadeo y propiedad intelectual. Al final del proceso se cuenta con un producto registrado, a partir del cual se establece un proceso de licenciamiento de tecnologías, producción, comercialización y distribución, con aliados que permiten su disponibilidad comercial para los usuarios finales.

En la actualidad, AGROSAVIA cuenta con ocho productos registrados ante el ICA, entre los que se encuentran cinco bioplaguicidas, dos biofertilizantes y un probiótico para salud animal. Así mismo, con estos desarrollos ha generado productos de propiedad intelectual, los cuales tienen cuatro patentes concedidas y una en proceso de revisión, así como tres licenciamientos de tecnologías, un contrato de producción y dos contratos de distribución para los bioproductos desarrollados.

Definición de las líneas estratégicas de trabajo por enfoque

A partir de las consideraciones sobre la bioeconomía en el contexto del país y en función de las capacidades de AGROSAVIA, se propone para cada enfoque establecer o fortalecer las líneas estratégicas que se presentan a continuación.

Prácticas de agricultura sostenible

Para continuar con el manejo sostenible y asegurar la conservación y manejo eficiente de los recursos (conforme a la normatividad legal vigente y a las políticas y procedimientos corporativos establecidos para tal fin), se propone lo siguiente:

- a. Uso de coproductos, subproductos y residuos.
- b. Uso de bioproductos.
- c. Estrategias de recuperación de la capacidad productiva de los suelos, manejo ecoeficiente de los recursos suelo, agua, luz y nutrientes, y reconversión productiva de agroecosistemas degradados.
- d. Diversificación espaciotemporal de sistemas productivos.
- e. Fortalecimiento de prácticas de manejo integrado de plagas (MIP) en cosecha y poscosecha.
- f. Estrategias de diversificación y mejora en diferentes sistemas productivos orientados a la soberanía y seguridad alimentarias y a la calidad e inocuidad de los alimentos.
- g. Agricultura de precisión y agroclimáticamente inteligente (agricultura 4.0).
- h. Fortalecimiento de capacidades de investigación, así como de vinculación y evaluación de impacto económico, social y ambiental de prácticas sostenibles.
- i. Desarrollo de procesos de investigación participativa y de gobernanza con comunidades y fortalecimiento de las capacidades de actores locales en las diferentes regiones naturales del país.

Biodiversidad

Con el fin de asegurar la conservación y manejo de los especímenes de la agrobiodiversidad en los bancos de germoplasma, las colecciones de trabajo y la colección entomológica (conforme a la normatividad legal vigente y a las políticas y procedimientos corporativos establecidos para tal fin), se propone:

- a. Conservación de los recursos genéticos vegetales, animales, de microorganismos y de insectos que conforman la agrobiodiversidad, para dar valor de existencia y promover su uso y aprovechamiento.
- b. Conocimiento de la variabilidad presente en las colecciones y núcleos de razas criollas, para determinar sus atributos y marcadores, con miras a identificar características de interés (actuales o futuras) y dar valor de opción a los recursos biológicos.
- c. Utilización de la agrobiodiversidad caracterizada en programas de mejoramiento genético y estrategias de bioprospección, biorremediación, nutrición y sanidad.
- d. Fortalecimiento de las capacidades locales de usuarios o beneficiarios de la agrobiodiversidad como estrategia para el rescate, conservación y uso sostenible de esta en procesos productivos agrícolas.

- e. Aprovechamiento de las ciencias ómicas y otras de última generación como herramientas para identificar y caracterizar atributos de valor en los recursos biológicos.

Economía circular

En el enfoque de economía circular, AGROSAVIA dirige sus esfuerzos a generar conocimiento sobre uso y reutilización de la biomasa y los subproductos de actividades agropecuarias, para lo cual ha definido las siguientes líneas:

- a. Reconversión productiva sostenible y con opciones tecnológicas para la reutilización de biomasa residual, tratamiento y desinfección de aguas de distritos de riego, reutilización de materia orgánica, reciclaje de materiales e implementación de módulos de compostaje y vermicompostaje.
- b. Generación de modelos de producción y consumo sostenible y responsable, involucrando investigaciones socioeconómicas de agricultura familiar con enfoque de género.
- c. Promoción de procesos de investigación participativa con enfoque territorial.
- d. Reconversión productiva sostenible y reducción de las ineficiencias en los sistemas de alimentación.
- e. Producción y utilización de biomasa para generar procesos que sustituyan la dependencia de recursos no renovables en un contexto de bioeconomía.
- f. Generación de valor agregado en la producción agrícola mediante procesos agroindustriales.
- g. Investigación y producción de innovaciones en sistemas silvopastoriles, agroforestales y sistemas de producción integrados, así como el empleo de energías alternativas (solar, eólica, hidráulica, biomasa, biogás, entre otras) que promuevan un uso más eficiente y sostenible de los recursos naturales.

Bioproductos

Con el fin de desarrollar, optimizar y garantizar la obtención de bioproductos de nivel comercial, generando un impacto en los sectores de la bioeconomía, se definieron las siguientes líneas:

- a. Bioplaguicidas enfocados en bioinsecticidas, biofungicidas, bioherbicidas, clasificados como microbianos (bacterias, hongos, virus, protozoarios), macrobiales (parasitoides, predadores, nemátodos) y bioquímicos (extractos botánicos, semioquímicos).

- b. Biofertilizantes o bioestimulantes como fijadores de nitrógeno (bacterias, algas), solubilizadores de fósforo (hongos y bacterias), solubilizadores de potasio y hongos formadores de micorrizas y promotores de crecimiento.
- c. Biorremediadores para mitigar problemas de metales pesados e hidrocarburos.
- d. Aditivos para salud animal enfocados en eubióticos, enzimas, antioxidantes, entre los que se contemplan probióticos, prebióticos, ácidos orgánicos, inoculantes, aditivos para ensilajes, vacunas, entre otros.
- e. Desarrollo de bioproductos de nueva generación a partir de coadyuvantes, moléculas químicas y metabolitos, así como el empleo de herramientas biotecnológicas para la producción de bioproductos competitivos.
- f. Generación de alianzas para el escalamiento, distribución y venta de bioproductos.





Capítulo 6



Consideraciones finales

La comunidad científica debe prestar especial atención a las iniciativas participativas y de innovación social de cada región, así como a las nuevas herramientas tecnológicas y científicas para el desarrollo de la bioeconomía. Se recomienda que estos aspectos se incluyan en la capacitación formal de las actuales y futuras generaciones de científicos. La financiación de proyectos de investigación debe considerar el impacto potencial, socioeconómico y ambiental de las nuevas cadenas de valor de la bioeconomía y establecer las bases para esquemas participativos que contribuyan a la adopción rápida de tecnología y amplíen sus beneficios para la sociedad (Hernández & Schanz, 2019).

El desarrollo conceptual de la bioeconomía presentado en este documento debe fortalecerse para ser llevado a la práctica por AGROSAVIA. Para ello, la Dirección de Vinculación (DV) y la de Investigación y Desarrollo (DID) se apoyan en cuatro de sus departamentos, cuyos lineamientos permiten un rápido acercamiento a los temas de bioeconomía. En la DID, los departamentos son los de Producción Intensiva Sostenible y de Agrobiodiversidad, y en la DV, los de Semillas y Bioproductos.

El Departamento de Producción Intensiva Sostenible propone las siguientes cuatro líneas estratégicas que permiten abordar este enfoque: i) análisis del territorio y sistemas locales, ii) desarrollo de opciones tecnológicas que soporten la generación o reconversión de agroecosistemas resilientes, iii) estrategias de diversificación de los sistemas de producción y aprovechamiento sostenible de biomasa residual y iv) opciones de bioeconomía para la recuperación de la capacidad productiva de los suelos y el manejo sostenible y eficiente de agua, suelo y nutrientes, especialmente en zonas vulnerables biofísica o socioeconómicamente.

Los departamentos de Agrobiodiversidad y Semillas han definido tres líneas estratégicas de trabajo para abordar el enfoque: i) adquisición y conservación de los recursos biológicos, ii) caracterización y evaluación para búsqueda de atributos y iii) aprovechamiento sostenible.

Esta última línea incluye la relación con procesos de mejoramiento genético y de bioprospección para la generación de productos cuya expresión de valor dependa de los sistemas de producción de los cuales forman parte.

El Departamento de Bioproductos dará continuidad al desarrollo y optimización de bioplaguicidas, biofertilizantes y aditivos para salud animal, así como al desarrollo de bioproductos de nueva generación, todo esto como aporte a la bioeconomía.





Referencias

- Alatorre, G. (1995). *Bioprospección, ¿una herramienta para el manejo sostenible de los recursos naturales?* Grupo de Estudios Ambientales (GEA). <http://base.d-p-h.info/es/fiches/premierdph/fiche-premierdph-1858.html>
- Ardisana, E. H., Millet Gaínza, B., Torres García, A., & Fosado Téllez, O. (2018). Agricultura en Sudamérica: la huella ecológica y el futuro de la producción agrícola. *Revista Chakiñan*, (5), 90-101. <https://doi.org/10.37135/chk.002.05.06>
- Barros, M. V., Salvador, R., De Francisco, A. C., & Piekarski, C. M. (2020). Mapping of research lines on circular economy practices in agriculture: from waste to energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 109958. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109958>
- Beronio, R. A., & Payumo, J. G. (2004). Accessing biotechnology: PhilRice's experience. In *8th APEC workshop on technical cooperation, capacity building, risk management and emerging issues in agricultural biotechnology, Seoul & Suwon, Korea* (pp.8-12). <https://bit.ly/2WYK0pz>
- Bonciu, F. (2014). The european economy: from a linear to a circular economy. *Romanian Journal of European Affairs*, 14(4), 78-91. <https://bit.ly/3zRJF6a>
- Brambila-Paz, J. de J. (2011). *Bioeconomía: instrumentos para su análisis económico* (1ª ed.). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México. <http://repiica.iica.int/docs/intranet/Bioeconomia.pdf>
- Bruins, M. E., & Sanders, J. P. M. (2012). Small-scale processing of biomass for biorefinery. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6(2), 135-145. <https://doi.org/10.1002/bbb.1319>
- Bull, A. (Ed.). (2004). *Microbial diversity and bioprospecting*. American Society Microbiology Press. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/full/10.1086/425784>
- Bustamante, C., Redondo, J. M., & Roa-Ortiz, S. A. (2021). *Análisis de la sostenibilidad de paisajes agropecuarios: aproximación conceptual y metodológica* [Manuscrito en proceso de publicación]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA.
- Canales, N., & Gómez-González, J. (2020). *Diálogo de política sobre bioeconomía para el desarrollo sostenible en Colombia* [Reporte de SEI]. Instituto de Ambiente de Estocolmo. <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2020/05/200517a-ortiz-canales-colombia-bioec-workshop-spanish.pdf>

- Cañoles, M., Valdés, O., & Rojas, L. (2019). *Estudio de economía circular en el sector agroalimentario chileno: informe final: consultoría ODEPA*. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. <https://bit.ly/2WTAuU4>
- Carbajal Azcona, Á. (2013). *Manual de nutrición y dietética*. Universidad Complutense de Madrid. <http://eprints.ucm.es/22755/>
- Castree, N. (2003). Bioprospecting: from theory to practice (and back again). *Transactions of the Institute of British Geographers*, 28(1), 35-55. <https://ro.uow.edu.au/sspapers/743/>
- Chapela, I. H. (1996). La bioprospección en la era de la información: un análisis crítico de las iniciativas de conservación asociadas con el descubrimiento de nuevos fármacos. En J. Feinsilver (Ed.), *Biodiversidad, biotecnología y desarrollo sostenible en salud y agricultura: conexiones emergentes* [Publicación científica 560]. Organización Panamericana de la Salud (OPS). <https://iris.paho.org/handle/10665.2/40217>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [Cepal]. (2016). *Autonomía de las mujeres e igualdad en la agenda de desarrollo sostenible* [Documento]. XIII Conferencia Regional sobre la Mujer de América Latina y el Caribe, Montevideo. <http://hdl.handle.net/11362/40633>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [Cepal]. (2019a). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40155-la-agenda-2030-objetivos-desarrollo-sostenible-oportunidad-america-latina-caribe>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [Cepal]. (2019b). *Panorama social de América Latina 2018*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44395-panorama-social-america-latina-2018>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] & Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2019). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45111-perspectivas-la-agricultura-desarrollo-rural-americas-mirada-america-latina>
- Cordero Ferrero, J. (2019). Economía circular: el ciclo integral del agua y la eficiencia energética. *Encuentros Multidisciplinares*, 63, 1-11. <http://hdl.handle.net/10486/689846>
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca [CVC]. (2020). *Protocolo n.º 6: sector ingredientes naturales*. <https://ventanillaverde.cvc.gov.co/archivos/1583855163.pdf>

- Corporación Biointropic, Universidad Eafit & Science Innovation Link Office [SILO]. (2018). *Estudio sobre bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia: fase II*. <https://bit.ly/3BFLTpY>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. (2016, febrero 4). *Circular n.º 001: política para la adquisición, manejo y entrega de recursos biológicos en bancos de germoplasma*. <https://bit.ly/3AcHR7Z>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. (2018). *Balance social, 2017*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12011>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. (2019). *Balance social, 2018*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35024>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. (2020a). *Balance social, 2019*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/36395>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. (2020b). *Qué hacemos: propósito superior*. <https://bit.ly/38Tx6M5>
- Corredor Castellanos, G. R. (2014). Externalización de la gestión del conocimiento como clave para la competitividad del sector biotecnológico colombiano. *Semestre Económico*, 17(36), 87-100. <https://bit.ly/3lpmWIB>
- Cotes, A., Barrero, L., Rodríguez, F., Zuluaga, M., & Arévalo, H. (2012). *Bioprospección para el desarrollo del sector agropecuario de Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12491>
- Damalas, C. A., & Eleftherohorinos, I. G. (2011). Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5), 1402-1419. <https://doi.org/10.3390/ijerph8051402>
- Damalas, C. A., & Koutroubas, S. D. (2016). Farmers' exposure to pesticides: toxicity types and ways of prevention. *Toxics*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.3390/toxics4010001>
- Den Hollander, M. C., Bakker, C. A., & Hultink, E. J. (2017). Product design in a circular economy: development of a typology of key concepts and terms. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 517-525. <https://doi.org/10.1111/jiec.12610>
- Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación [Colciencias]. (2016). *Colombia BIO*. <http://www.colciencias.gov.co/portafolio/colombia-bio/quienes-somos>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2017). *Encuesta Nacional de calidad de vida (ECV) 2017*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/calidad-de-vida-ecv/encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-ecv-2017>

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2018). *Boletín técnico: pobreza monetaria y multidimensional en Colombia año 2017*. <https://bit.ly/2VDUhxu>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2019). *Encuesta nacional agropecuaria (ENA): información 2019*. <https://bit.ly/3Ahla1C>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2020). *Economía circular: primer reporte 2020*. <https://bit.ly/3tHckze>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2021). *Producto interno bruto (PIB) nacional trimestral: históricos*. <https://bit.ly/3za0TKU>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2008a, marzo 31). *Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (PSAN)* (Documento Conpes 113). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Social/113.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2008b, abril 21). *Política nacional fitosanitaria y de inocuidad para las cadenas de frutas y de otros vegetales* (Documento Conpes 3514). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3514.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2011, junio 14). *Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad* (Documento Conpes 3697). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3697.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2016a, agosto 8). *Política nacional de desarrollo productivo* (Documento Conpes 3866). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3866.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2016b, noviembre 21). *Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos* (Documento Conpes 3874). <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2018, julio 10). *Política de Crecimiento Verde* (Documento Conpes 3934). <https://bit.ly/3tDkfa4>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2019). *El campesinado, eje central de la estrategia rural del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022*. <https://bit.ly/2YQijGI>
- Domenech Aparisi, T. A., Bleischwitz, R., Doranova, A., Panayotopoulos, D., & Roman, L. (2019). Mapping industrial symbiosis development in Europe: typologies of networks, characteristics, performance, and contribution to the circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 76-98. 10.1016/j.resconrec.2018.09.016.
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Towards a circular economy: business rationale for an accelerated transition*.

- Escalante Hernández, H., Orduz Prada, J., Zapata Lesmes, H. J., Cardona Ruiz, M. C., & Duarte Ortega, M. (2010). *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia*. Unidad de Planeación Minero Energética (UPME); Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam); Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias); Universidad Industrial de Santander (UIS).
- Fassio, F., & Tecco, N. (2019). Circular economy for food: a systemic interpretation of 40 case histories in the food system in their relationships with SDGs. *Systems*, 7(3), 43. <https://doi.org/10.3390/systems7030043>
- Fawcett, R., & Towery, D. (2002). *Conservation tillage and plant biotechnology: how new technologies can improve the environment by reducing the need to plow*. <https://bit.ly/3EfOadt>
- Gibson, L., Wilman, E. N., & Laurance, W. F. (2017). How green is 'green' energy? *Trends in Ecology & Evolution*, 32(12), 922-935. 10.1016/j.tree.2017.09.007
- Global Bioeconomy Summit [GBS]. (2018). *Comunicado Cumbre Global de Bioeconomía 2018: innovación en la bioeconomía global para la transformación sostenible e inclusiva y el bienestar*. <https://bit.ly/3kcbQaN>
- Goedde, L., Horil, M., & Sanghvi, S. (2015). *Pursuing the global opportunity in food and agribusiness*. <http://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/pursuing-the-global-opportunity-in-food-and-agribusiness>
- Hasenheit, M., Gerdes, H., Kiresiewa, Z., & Beekman, V. (2016). *Summary report on the social, economic and environmental impacts of the bioeconomy: Project BioSTEP: promoting stakeholder engagement and public awareness for a participative governance of the european bioeconomy*. BioSTEP. <https://bit.ly/3AhlrSc>
- Henry, G., & Trigo, E. J. (2010). *The knowledge based bio-economy at work: from large scale experiences to instruments for rural and local development*. Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food. <https://bit.ly/3Caluzl>
- Hernández, V. L., & Schanz, H. (2019). Agency in actor networks: who is governing transitions towards a bioeconomy?: the case of Colombia. *Journal of Cleaner Production*, 225, 728-742. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.306>
- Hodson de Jaramillo, E., Castaño, J., Poveda, G., Roldán, G., & Chavarriaga Aguirre, P. (2017). *Seguridad alimentaria y nutricional en Colombia*. Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). <https://bit.ly/3nKS8VR>
- Illanes, A. (2015). Alimentos funcionales y biotecnología. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(1), 5-8. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n1.50997>

- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020a, febrero 3). Resolución 61252. *“Por medio de la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el registro de los fabricantes e importadores de alimentos para animales, así como los requisitos y el procedimiento para el registro de alimentos para animales y se dictan otras disposiciones”*. <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2020/2020r61252>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020b, mayo 27). Resolución 68370. *“Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de productor, productor por contrato, envasador, importador y departamentos técnicos de ensayos de eficacia agronómica de bioinsumos para uso agrícola; así como los requisitos para el registro de bioinsumos para uso agrícola”*. <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2020/2020r68370>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], Instituto Colombiano de Desarrollo Rural [Incoder], Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales [UAESPNN], Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis [Invemar], Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas [Sinchi] & Servicio Geológico Colombiano [Ingeominas]. (2012). *Estudio de los conflictos de uso del territorio colombiano, escala 1:100.000*.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2021). *Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia*. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2010). *Plan de mediano plazo 2010-2014: por una agricultura competitiva y sustentable para las Américas* [Serie Documentos Oficiales n.º 87]. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/12016>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2018). *Global warming of 1.5 °C: an IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf
- International Energy Agency [IEA]. (2020). *Global CO₂ emissions in 2019*. <https://www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019>

- Jurgilevich, A., Birge, T., Kentala-Lehtonen, J., Korhonen-Kurki, K., Pietikäinen, J., Saikku, L., & Schösler, H. (2016). Transition towards circular economy in the food system. *Sustainability*, 8(1), 69. <https://doi.org/10.3390/su8010069>
- Kleinschmit, D., Arts, B., Giurca, A., Mustalahti, I., Sergent, A., & Pülzl, H. (2017). Environmental concerns in political bioeconomy discourses. *International Forestry Review*, 19(1), 41-55. <https://doi.org/10.1505/146554817822407420>
- Kumar, N. M., Chopra, S. S., Vidal de Oliveira, A. K., Ahmed, H., Vaezi, S., Madukanya, U. E., & Castañón, J. M. (2020). Solar PV module technologies. In S. Gorjian & A. Shukla (Eds.), *Photovoltaic solar energy conversion: technologies, applications and environmental impacts* (1st Edition, pp. 51-78). Elsevier Inc. 10.1016/B978-0-12-819610-6.00003-X
- La Notte, L., Giordano, L., Calabrò, E., Bedini, R., Colla, G., Puglisi, G., & Reale, A. (2020). Hybrid and organic photovoltaics for greenhouse applications. *Applied Energy*, 278. 10.1016/j.apenergy.2020.115582
- Lavidow, L., Birch, K., & T. Papaioannou. (2012). EU agri-innovation policy: two contending visions of the bio-economy. *Critical Policy Studies*, 6(1), 40-65. <https://doi.org/10.1080/19460171.2012.659881>
- Lewandowski, I. (ed.). (2018). *Bioeconomy: shaping the transition to a sustainable, biobased economy*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8>
- Ley 99 de 1993. "Ley General Ambiental de Colombia". Congreso de la República de Colombia. *Diario Oficial n.º 41146*. https://www.mininterior.gov.co/sites/default/files/dacn_ley_99_de_1993_0.pdf
- Ley 1876 de 2017. "Por medio de la cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria y se dictan otras disposiciones". Congreso de la República de Colombia. *Diario Oficial n.º 50461*. <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201876%20DEL%2029%20DE%20DICIEMBRE%20DE%202017.pdf>
- Lizarazo-Cortés, O., Lamprea, N., & Daza-Gacha, D. (2019). Contratos de acceso a recursos genéticos y solicitudes de patente en Colombia: mitos y realidades. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(1), 57-70. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.78120>
- Marín, J. W., & Bustamante-Zamudio, C. (2018). *Análisis del papel de la bioeconomía y los negocios verdes, con énfasis en uso agropecuario y turismo de naturaleza*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/35311>
- McCormick, K., & Kautto, N. (2013). The bioeconomy in Europe: an overview. *Sustainability* 5(6), 2589-2608. <https://doi.org/10.3390/su5062589>

- McDonough, W., Braungart, M., Anastas, P. T., & Zimmerman, J. B. (2003). Applying the principles of green engineering to cradle-to-cradle design. *Environmental Science & Technology*, 37(23), 434A-441A. 10.1021/es0326322
- Mejía González, D., Gómez J. A., Albarracín, C., & López, L. F. (2009). *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y afines con énfasis en ingredientes naturales para la industria cosmética en Colombia 2009*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR); Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; Cámara de Comercio de Bogotá; Universidad Nacional de Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12924>
- Melgarejo, L. M., Sánchez, J., Chaparro, A., Newmark, F., Santos-Acevedo, M., Burbano, C., & Reyes, C. (eds). (2002). *Aproximación al estado actual de la bioprospección en Colombia* [Serie de Documentos Generales Invemar n° 10]. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (Invemar). http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/ESTADO_BIOPROSPECCION.pdf
- Mills, E. (2015). *La bioeconomía: guía básica*. Transnational Institute. <https://www.tni.org/es/publicacion/la-bioeconomia>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2019). *Situación de las mujeres rurales en Colombia 2010-2018*. Dirección de la Mujer Rural.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2014, agosto 14). Resolución 1348. "Por la cual se establecen las actividades que configuran acceso a los recursos genéticos y sus productos derivados para la aplicación de la Decisión Andina 391 de 1996 en Colombia y se toman otras determinaciones". https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_1348_2014.htm
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2017, septiembre 25). Resolución 1962. "Por la cual se expide el límite del indicador de cociente de inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del Etanol Anhidro Combustible Desnaturalizado y se adoptan otras disposiciones". <https://bit.ly/3EjAH4f>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2020). *Acceso a recursos genéticos y sus productos derivados* [Presentación]. <https://bit.ly/3DRi4EK>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS] & Ministerio de Comercio, Industria y Turismo [Mincit]. (2019). *Estrategia nacional de economía circular: cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio*. <https://bit.ly/2Xh8yd8>

- Misión de sabios: Colombia 2019*. (2019). Gobierno de Colombia. https://minciencias.gov.co/sites/default/files/libro_mision_de_sabios_digital_1_2_0.pdf
- Montecinos, S., & Carvajal, D. (2018). *Energías renovables: escenario actual y perspectivas futuras*. Editorial Universidad de La Serena. <https://bit.ly/3jIGLeI>
- Moreno, L. A., Andrade, G. I., & Ruiz-Contreras, L. F. (eds.). (2016). *Biodiversity 2016: status and trends of colombian continental biodiversity*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/32963>
- Moreno-González, A. Y. (2018). *Economía circular: crecimiento inteligente, sostenible e integrador* [Monografía]. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. <https://bit.ly/3kRqTZ>
- Morseletto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 153, 104553. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553>
- Muscat, A., De Olde, E. M., De Boer, I. J. M., & Ripoll-Bosch, R. (2019). The battle for biomass: a systematic review of food-feed-fuel competition. *Global Food Security*, 25, 100330. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100330>
- Nakicenovic, N., & Schulz, N. B. (2011). *World in transition-a social contract for sustainability [welt im wandel: gesellschaftsvertrag fuer eine grosse transformation]* [Flagship report]. German Advisory Council on Global Change (WBGU). <http://www.wbgu.de/en/flagship-reports/fr-2011-a-s...>
- New Zealand, Ministry of Research, Science and Technology [NZ MoRST]. (2005). *Biotechnologies to 2025*. <https://bit.ly/3DFCDE5>
- Olabi, A. G. (2019). Circular economy and renewable energy. *Energy*, 181, 450-454. 10.1016/j.energy.2019.05.196
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2021). *Inocuidad de alimentos*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (1992). *Convenio sobre la diversidad biológica*. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2017). *La población mundial aumentará en 1.000 millones para 2030*. <https://bit.ly/38Fi8cc>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2015). *Construyendo una visión común para la agricultura y alimentación sostenibles*. <http://www.fao.org/3/i3940s/i3940s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2018). *Assessing the contribution of bioeconomy to countries' economy: a brief review of national frameworks*. <http://www.fao.org/3/I9580EN/i9580en.pdf>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: agricultura sostenible*. <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/sustainable-agriculture/es/>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. [OECD]. (2009). *The bioeconomy to 2030: designing a policy agenda*.
- Pan, S. Y., Du, M. A., Huang, I. T., Liu, I. H., Chang, E. E., & Chiang, P. C. (2015). Strategies on implementation of waste-to-energy (WTE) supply chain for circular economy system: a review. *Journal of Cleaner Production*, 108(A), 409-421.
- Pfau, S. F., Hagens, J. E., Dankbaar, B., & Smits, A. J. M. (2014). Visions of sustainability in bioeconomy research. *Sustainability*, 6(3), 1222-1249. <https://doi.org/10.3390/su6031222>
- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2017). Economía circular: relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, 15, 85-95. <http://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/308>
- Quezada, F., Roca, W., Szauer, M. T., Gómez, J. J., & López, R. (eds.). (2005). *Bioteología para el uso sostenible de la biodiversidad: capacidades locales y mercados potenciales*. Banco de Desarrollo de América Latina (CAF); Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/662/Bioteologia_para_el_desarrollo_sostenible_de_la_biodiversidad._Capacidades_locales_y_mercados_potenciales.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Republic of the Philippines, Department of Agriculture. (2001). *Administrative Order n.º 08 S. 2002 on rules and regulations for the importation and release into the environment of plants and plant products derived from the use of modern biotechnology*. Base de datos Faolex. <https://www.informe.org/en/legislation/administrative-order-no-8-s-2002-rules-and-regulations-importation-and-release>
- Rodríguez Espinosa, H., Ramírez Gómez, C. J., & Restrepo-Betancur, L. F. (2015). Propuesta metodológica para la formulación participativa de programas de desarrollo agropecuario local. *Revista Luna Azul* (40), 224-239. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321733015015>
- Romero-Perdomo, F. A., & Carvajalino Umaña, J. D. (2020). *Impacto de la economía circular en los objetivos de desarrollo sostenible: análisis de organizaciones adheridas al Pacto Global Red Colombia de las Naciones Unidas* [Tesis de maestría]. Universidad EAN. <https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/10340/RomeroFelipe2020.pdf;jsessionid=758AE-180CA333418772FF31A637DC72B?sequence=1>

- Scarlat, N., Dallemand, J. F., Monforti-Ferrario, F., & Nita, V. (2015). The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: policies and facts. *Environmental Development*, 15, 3-34. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.03.006>
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2011). *Protocolo de Nagoya sobre acceso a los recursos genéticos y participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de su utilización al Convenio sobre la Diversidad Biológica*. <https://www.cbd.int/abs/doc/protocol/nagoya-protocol-es.pdf>
- Sherwood, J. (2020). The significance of biomass in a circular economy. *Bioresource Technology*, 300, 122755. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122755>
- Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC]. (2020). *Biodiversidad en Colombia*. <http://www.siac.gov.co/biodiversidad>
- Sittenfeld, A., & Gámez, R. (1993). Biodiversity prospecting by INBio. En W. V. Reid, S. A. Laird, C. A. Meyer, R. Gámez, A. Sittenfeld, D. H. Janzen, M. A. Gollin, & C. Juma (Eds.), *Biodiversity prospecting: using genetic resources for sustainable development* (pp. 69-98). World Resources Institute (WRI); Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio); Rainforest Alliance; African Centre for Technology Studies (ACTS). https://zenodo.org/record/292998/files/biodiversityProspecting1993_OCRr.pdf
- Solomon, S. (2007). *IPCC (2007): climate change the physical science basis*. American Geophysical Union.
- Stern, N. (2006). *Stern review: the economics of climate change*. HM Treasury. <https://bit.ly/393gXUc>
- Stockholm Environment Institute [SEI], International Institute for Sustainable Development [IISD], Overseas Development Institute [ODI], Third Generation Environmentalism [E3G] & United Nations Environment Programme [UNEP]. (2020). *The production gap: Special Report 2020*. <http://productiongap.org/2020report>
- Tecnalia. (2017). *Estudio en la intensidad de utilización de materiales y economía circular en Colombia para la Misión de Crecimiento Verde*. Departamento Nacional de Planeación (DNP).
- Toop, T. A., Ward, S., Oldfield, T., Hull, M., Kirby, M. E., & Theodorou, M. K. (2017). AgroCycle—developing a circular economy in agriculture. *Energy Procedia*, 123, 76-80. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.269>
- Trigo, E. J., Henry, G., Sanders, J., Schurr, U., Ingelbrecht, I., Revel, C., Santana, C., & Rocha, P. (2014). Hacia un desarrollo de la bioeconomía en América Latina y el Caribe. En E. Hodson de Jaramillo (Ed.), *Hacia una bioeconomía en América Latina y el Caribe en asociación con Europa* (pp. 17-46). Editorial Pontificia Universidad Javeriana. <http://www.cursobioeconomia.mincyt.gob.ar/wp-content/uploads/2014/12/Hacia-una-bioeconomia-1.pdf>

- Unidad de Planeación Minero Energética [UPME]. (2019). *Plan energético nacional 2020-2050: documento de consulta*. https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf
- Valbuena, G. A. (2014). Impactos socioeconómicos y ambientales de la bioeconomía en América Latina y el Caribe. En E. Hodson de Jaramillo (Ed.), *Hacia una bioeconomía en América Latina y el Caribe en asociación con Europa* (pp. 83-92). Editorial Pontificia Universidad Javeriana. <http://www.cursobioeconomia.mincyt.gob.ar/wp-content/uploads/2014/12/Hacia-una-bioeconomia-1.pdf>
- Valbuena Calderón, G., & Chavarriaga, P., (2013). La bioeconomía en el país. *Diario Portafolio*. <https://www.portafolio.co/opinion/redaccion-portafolio/bioeconomia-pais-69488>
- Van Hal, O., Weijenberg, A. A. A., De Boer, I. J. M., & Van Zanten, H. H. E. (2019). Accounting for feed-food competition in environmental impact assessment: towards a resource efficient food-system. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118241.
- Villanueva-Mejía, D. F. (2018). Anexo 1: análisis sector agrícola y pecuario. En Corporación Biointropic, Universidad Eafit & Science Innovation Link Office [SILO] (Eds.), *Estudio sobre bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia: fase II*.
- Von Braun, J., & Kennedy, E. T. (eds.). (1994). *Agricultural commercialization, economic development and nutrition*. International Food Policy Research Institute by Johns Hopkins University Press. <https://www.ifpri.org/publication/agricultural-commercialization-economic-development-and-nutrition>
- Winans, K., Kendall, A., & Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 825-833. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.123>
- World Business Council for Sustainable Development [WBCSD]. (2017). *CEO guide to the circular economy*. http://docs.wbcsd.org/2017/06/Ceo_guide_to_CE.pdf
- Xu, X., Wei, Z., Ji, Q., Wang, C., & Gao, G. (2019). Global renewable energy development: influencing factors, trend predictions and countermeasures. *Resources Policy*, 63(C), 101470. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101470>
- Zúñiga, A. C., & Guarín Echeverry, J. H. (2017). Bioeconomía y contabilidad ambiental. *Sinapsis*, 9(1), 89-104. <https://app.eam.edu.co/ojs/index.php/sinapis/article/view/7/30>





Anexos

Anexo 1. Documentos relacionados con el marco político de los enfoques de bioeconomía prorizados por AGROSAVIA

Año	Política	Descripción/Aspectos para resaltar	Prácticas sostenibles	Biodiversidad	Economía circular	Bioproductos
1996	Documento Conpes 2834: <i>Política de bosques</i>	Lograr un uso sostenible de los bosques con el fin de conservarlos, consolidar la incorporación del sector forestal en la economía nacional y mejorar la calidad de vida de la población.		x		
1997	Documento Conpes 3530: <i>Lineamientos y estrategias para fortalecer el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de residuos sólidos</i>	Formula lineamientos y estrategias de políticas adicionales, y define los criterios para la optimización de las estrategias financieras, técnicas, legales, institucionales, ambientales y comerciales relacionadas con la prestación del servicio público de aseo.			x	
1997	Política de la Gestión Ambiental para la fauna silvestre en Colombia	Tiene por objeto generar las condiciones necesarias para el uso y aprovechamiento sostenible de la fauna silvestre como estrategia de conservación de la biodiversidad y alternativa socioeconómica para el desarrollo del país, garantizando la permanencia y funcionalidad de las poblaciones naturales y de los ecosistemas de los cuales forman parte.	x	x		

(Continúa)

(Continuación anexo 1)

Año	Política	Descripción/Aspectos para resaltar	Prácticas sostenibles	Biodiversidad	Economía circular	Bioproductos
1997	Documento Conpes 3855: <i>Concepto favorable a la nación para contratar una operación de crédito externo hasta por USD 10 millones, o su equivalente en otras monedas, destinados a financiar el programa de gestión eficiente de la demanda de energía en zonas no interconectadas: proyecto piloto Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina</i>	Implementar el programa de optimización de la gestión de la demanda de electricidad en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina para mejorar su sostenibilidad energética, económica y ambiental, y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en las Zonas No Interconectadas (ZNI) (energías renovables).	x		x	
1999	Documento Conpes 3055: <i>Estrategias y acciones para la energización de las zonas no interconectadas del país</i>	Desarrollar proyectos energéticos sostenibles a largo plazo, viables financieramente y acordes con los recursos naturales disponibles, mitigando el impacto en el medio ambiente (energías renovables).	x		x	
2008	Documento Conpes 3510: <i>Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia</i>	Orientado a promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia, aprovechando las oportunidades de desarrollo económico y social que ofrecen los mercados emergentes de los biocombustibles. De esta manera, se busca expandir los cultivos de biomasa conocidos en el país y diversificar la canasta energética, dentro de un marco de producción eficiente y sostenible económica, social y ambientalmente, que permita competir en los mercados nacional e internacional.			x	

(Continúa)

(Continuación anexo 1)

Año	Política	Descripción/Aspectos para resaltar	Prácticas sostenibles	Biodiversidad	Economía circular	Bioproductos
2008	Documento Conpes 3514: <i>Política nacional fitosanitaria y de inocuidad para las cadenas de frutas y de otros vegetales (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2008b)</i>	Establece acciones encaminadas a mejorar las condiciones fitosanitarias de las frutas y otros vegetales, con el fin de proteger la salud de las personas y aumentar la competitividad e internacionalización de la producción nacional. En la aplicación de esta política se destaca el ajuste al sistema de reglamentación para el registro de plaguicidas, bioinsumos y fertilizantes de uso agrícola.	x			x
2008	Documento Conpes 3527: <i>Política Nacional de Competitividad y Productividad</i>	Plantea la necesidad del diseño de una política de aprovechamiento de los recursos genéticos para la agricultura y el desarrollo de la biotecnología en Colombia.	x	x	x	x
2008	Documento Conpes 3533: <i>Bases de un plan de acción para la adecuación del sistema de propiedad intelectual a la competitividad y productividad nacional 2008-2010</i>	Busca crear las condiciones óptimas para formular e implementar una política de propiedad intelectual acorde con la estrategia de desarrollo productivo en proceso de formulación, que redunde en el fortalecimiento de la confianza del empresariado en el Sistema de Propiedad Intelectual (SPI).		x		
2009	Documento Conpes 3582: <i>Política nacional de Fomento a la Investigación y la Innovación</i>	Crea las condiciones para que el conocimiento sea un instrumento del desarrollo, principalmente mediante la aceleración del crecimiento económico y la disminución de la inequidad. Esta política considera la biodiversidad como un área estratégica y reconoce la necesidad de avanzar en su conocimiento y uso sostenible.		x		

(Continúa)

(Continuación anexo 1)

Año	Política	Descripción/Aspectos para resaltar	Prácticas sostenibles	Biodiversidad	Economía circular	Bioproductos
2010	Documento Conpes 3678: <i>Política de Transformación Productiva: un modelo de desarrollo sectorial para Colombia</i>	Orientado a generar crecimiento sostenible en la economía y el empleo, busca desarrollar sectores altamente competitivos y generadores de valor agregado, alcanzando estándares de clase mundial.	X	X		
2010	Documento Conpes 3680: <i>Lineamientos para la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas</i>	Establece las pautas y orientaciones para avanzar en la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) de Colombia como un sistema completo, ecológicamente representativo y eficazmente gestionado, con el objetivo de contribuir al ordenamiento territorial, al cumplimiento de los objetivos nacionales de conservación y al desarrollo sostenible en el que está comprometido el país.	X	X		
2011	Documento Conpes 3697: <i>Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad</i>	Dirigido a crear las condiciones económicas, técnicas, institucionales y legales para el desarrollo de empresas y productos comerciales basados en el uso sostenible de la biodiversidad con fines comerciales, específicamente los recursos biológicos, genéticos y sus derivados. Fruto de esta normatividad, se destacan los avances en el desarrollo de bioinsumos agrícolas relacionados con la biotecnología, específicamente con el acceso a recursos genéticos.	X	X	X	X

(Continúa)

(Continuación anexo 1)

Año	Política	Descripción/Aspectos para resaltar	Prácticas sostenibles	Biodiversidad	Economía circular	Bioproductos
2012	<i>Política Nacional para la Gestión integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE)</i>	Tiene por objeto promover la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. Enmarca y orienta conceptual y estratégicamente todos los demás instrumentos ambientales de gestión (políticas, normas, planes, programas y proyectos), existentes o que se desarrollen, para la conservación de la biodiversidad en sus diferentes niveles de organización. Además, busca promover el establecimiento de bancos de germoplasma y programas de biotecnología, así como la valoración multicriterio de la biodiversidad y el desarrollo sostenible del potencial económico de la biodiversidad (Villanueva-Mejía, 2018).		x		
2014	<i>Documento Conpes 3819: Política nacional para consolidar el sistema de ciudades en Colombia</i>	Plantea la necesidad de integrar la planificación ambiental al sistema urbano teniendo en cuenta las características propias de cada territorio y las aglomeraciones urbanas alrededor de determinadas ciudades, debido a la importancia de preservar los ecosistemas estratégicos del país, principalmente las fuentes abastecedoras de acueductos, y de consolidar el ordenamiento ambiental.			x	
2015	<i>Documento Conpes 3834: Lineamientos de política para estimular la inversión privada en ciencia, tecnología e innovación a través de deducciones tributarias</i>	Busca estimular la inversión privada en ciencia y tecnología por medio de deducciones tributarias.		x		

(Continúa)

(Continuación anexo 1)

Año	Política	Descripción/Aspectos para resaltar	Prácticas sostenibles	Biodiversidad	Economía circular	Bioproductos
2016	Documento Conpes 3866: <i>Política nacional de desarrollo productivo (DNP, 2016a)</i>	Tiene como objetivo general aumentar la productividad y la diversificación del aparato productivo colombiano en procura de generar bienes y servicios más diversificados y sofisticados. La ejecución de esta política establece 90 acciones enmarcadas en siete ejes: i) transferencia de conocimiento y tecnología, ii) innovación y emprendimiento, iii) capital humano, iv) financiamiento, v) encadenamientos productivos, vi) calidad y vii) comercio exterior.	x		x	x
2016	Documento Conpes 3874: <i>Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos (DNP, 2016b)</i>	Busca aportar al desarrollo sostenible, a la adaptación al cambio climático y a su mitigación. Plantea la base inicial para avanzar hacia la economía circular desde la gestión integral de residuos sólidos. A partir de esta política, se quiere lograr que el valor de los productos y materiales se mantenga durante el mayor tiempo posible en el ciclo productivo, que los residuos y el uso de recursos se reduzcan al mínimo, y que estos últimos se conserven dentro de la economía cuando hayan llegado al final de su vida útil, con el fin de volverlos a utilizar repetidamente y seguir creando valor. Los ejes estratégicos de la política son: i) prevenir la generación de residuos, ii) reducir los que son llevados a disposición final, iii) promover la reutilización, aprovechamiento y tratamiento de los residuos y iv) evitar la generación de gases de efecto invernadero.	x		x	
2017	Documento Conpes 3892	Actualización del Documento Conpes 3834 de 2015.		x		

(Continúa)

(Continuación anexo 1)

Año	Política	Descripción/Aspectos para resaltar	Prácticas sostenibles	Biodiversidad	Economía circular	Bioproductos
2017	Documento Conpes 3886	Lineamientos de política y Programa Nacional de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) para la construcción de la paz y su Plan de Acción y Seguimiento (PAS).	X	X		
2018	Documento Conpes 3918: <i>Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia</i>	Se basa en el supuesto de que vincular aspectos asociados a la bioeconomía puede contribuir directamente al cumplimiento de los objetivos 12 (producción y consumo responsables), 14 (vida submarina) y 15 (vida de ecosistemas terrestres), e indirectamente a los objetivos 3 (salud y bienestar), 6 (agua limpia y saneamiento), 7 (energía asequible y no contaminante), 9 (industria, innovación e infraestructura) y 13 (acción por el clima).	X	X	X	X
2018	Documento Conpes 3934: <i>Política Nacional de Crecimiento Verde</i>	Establece que para mantener e incrementar el ritmo de crecimiento económico que necesita el país, y así atender los problemas sociales en materia de pobreza, desigualdad y construcción de paz, se requiere la búsqueda de nuevas fuentes de crecimiento que sean sostenibles a partir de la oferta de capital natural para la producción de bienes y servicios ambientales. Este documento presenta la bioeconomía como uno de los principales componentes del área de negocios verdes y sostenibles. Así mismo, promueve condiciones que permitan una mayor penetración de energías renovable (línea de acción 10: promoción de la inversión en proyectos de generación con Fuentes No Convencionales de Energía Renovable [FNCER]).	X	X	X	X

(Continúa)

(Continuación anexo 1)

Año	Política	Descripción/Aspectos para resaltar	Prácticas sostenibles	Biodiversidad	Economía circular	Bioproductos
2019	Documento Conpes 3969: <i>Concepto favorable a la nación para otorgar garantía y celebrar operaciones asimiladas a operaciones de crédito público externo a favor de la financiera de desarrollo nacional (FDN) hasta por la suma de USD 53,3 millones, o su equivalente en otras monedas, para que esta contrate garantías con la banca multilateral, cuyo destino sea el respaldo al financiamiento de iniciativas de energías renovables y eficiencia energética</i>	Apunta a desarrollar productos financieros que mejoren el perfil de riesgo y faciliten la bancabilidad de proyectos de FNCER, con el fin de diversificar el parque de generación de energía eléctrica del país y así reducir las emisiones de GEI y mitigar los riesgos relacionados con el cambio climático (energías renovables).	X		X	
2019	Estrategia Nacional de Economía Circular	Tiene como objetivo promover una nueva cultura y nuevos modelos de negocio con transformación productiva y cierre de ciclos de materiales a productores, proveedores y consumidores.	X		X	

(Continúa)

(Continuación anexo 1)

Año	Política	Descripción/Aspectos para resaltar	Prácticas sostenibles	Biodiversidad	Economía circular	Bioproductos
2020	<p>Documento Conpes 4004: <i>Política de Economía Circular en la Gestión de los Servicios de Agua Potable y Manejo de Aguas Residuales</i></p>	<p>Propone mejorar las capacidades institucionales y de gobernanza, implementar un modelo de economía circular y desarrollar mecanismos de gestión de la información en la prestación de los servicios de agua potable y manejo de aguas residuales para garantizar la disponibilidad del agua a largo plazo, y la prestación de los servicios de agua potable y manejo de aguas residuales en condiciones de calidad y continuidad.</p>	x		x	
2020	<p>Documento Conpes 4021: <i>Política nacional para el control de la deforestación y la gestión sostenible de los bosques</i></p>	<p>Plantea que los bosques colombianos presentan un alto potencial en biodiversidad para la bioeconomía.</p>	x	x		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Documentos relacionados con el marco jurídico y normativo de los enfoques de bioeconomía prorizados por AGROSAVIA

Marco jurídico y normativo	Marco jurídico y normativo	Prácticas sostenibles	Biodiversidad	Economía circular	Bioproductos
Ley 2 de 1959	Establece siete grandes zonas de reserva forestal para el desarrollo de la economía forestal y la protección de los suelos, las aguas y la vida silvestre.	x	x		
Ley 17 de 1981	Aprueba la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).		x		
Ley 29 de 1990	Establece disposiciones para el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico.	x	x	x	x
Constitución Política de 1991	Establece la función social y ecológica de la propiedad y da prioridad al desarrollo integral de las actividades agrícolas y forestales.		x		
Decreto 1843 de 1991	Por el cual se reglamentan parcialmente los títulos III, V, VI, VII y XI de la Ley 09 de 1979, sobre uso y manejo de plaguicidas.				x
Ley 99 (1993) y Resolución 1962 del 25 de septiembre de 2017	El gobierno señala que es una obligación mantener la atmósfera en condiciones que permitan un correcto desempeño del ecosistema (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2017). Además, con la ley se definen las normas ambientales mínimas para disminuir la afectación ambiental que generan las labores productivas, es decir, para las organizaciones la protección ambiental se convierte en una obligación regulada por la ley (Ministerio de Medio Ambiente [MinAmbiente], 1993).	x		x	

(Continúa)

(Continuación anexo 2)

Marco jurídico y normativo	Marco jurídico y normativo	Prácticas sostenibles	Biodiversidad	Economía circular	Bioproductos
Ley 165 de 1994	Ley del Ministerio del Medio Ambiente (MinAmbiente) que ratifica por parte de Colombia el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB).		X		X
Resolución ICA 1056 de 1996	Formula disposiciones sobre el control técnico de los insumos pecuarios y deroga las resoluciones 710 de 1981, 2218 de 1980 y 444 de 1993.				X
Decisión Andina 391 de 1996. "Régimen común sobre acceso a los recursos genéticos"	Regula el acceso a los recursos genéticos y sus productos derivados por parte de los países miembros de la Comunidad Andina (CAN). Así mismo, establece definiciones en relación con la materia y genera el marco de acción para el aprovechamiento de estos recursos.		X		X
Decreto 730 de marzo de 1997	Designa al hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) como autoridad nacional competente en materia de acceso a los recursos genéticos y sus productos derivados.		X		
Decisión Andina 436 de 1998 y 804 de 2015	Diferencian explícitamente los bioinsumos de uso agrícola de los de origen químico.				X
Decreto 1320 de 1998	Por el cual se reglamenta la consulta previa con las comunidades indígenas y negras para la explotación de los recursos naturales dentro de su territorio. El Estado otorga acceso a los recursos genéticos con fines de investigación, lo cual involucra conocimiento tradicional de las comunidades étnicas solo bajo la modalidad de consulta previa con el Ministerio del Interior.	X	X		
Decreto 309 del 2000	Reglamenta la investigación científica sobre diversidad biológica y los permisos de estudio con fines de investigación científica sobre diversidad biológica.		X		X

(Continúa)

(Continuación anexo 2)

Marco jurídico y normativo	Marco jurídico y normativo	Prácticas sostenibles	Biodiversidad	Economía circular	Bioproductos
Decisión Andina 486 de 2000	Establece un régimen común de propiedad intelectual, en el cual se prohíbe expresamente patentar plantas, animales y procedimientos que sean biológicos o microbiológicos.				X
Ley 740 de 2002	Se aprueba el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica, suscrito en Montreal el 29 de enero de 2000.		X		
Resolución 68 de 2002	Establece el procedimiento para los permisos de estudio con fines de investigación científica en diversidad biológica y se adoptan otras determinaciones.	X	X		X
Decreto 302 de 2003	Modifica el párrafo 1º del artículo 2º del Decreto 309 de 2000, el cual reglamenta la investigación científica sobre diversidad biológica		X		X
Decreto 4525 de 2005	Regula, administra o controla el movimiento transfronterizo para el tránsito, la manipulación y la utilización de organismos vivos modificados (ovm) que puedan tener efectos adversos para el medio ambiente y la diversidad biológica, teniendo en cuenta los riesgos para la salud humana, la productividad y producción agropecuaria.		X		X
Decreto 1375 de 2013	Reglamenta las colecciones biológicas.		X		X
Decreto 1376 de 2013	Reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial.		X		X

(Continúa)

(Continuación anexo 2)

Marco jurídico y normativo	Marco jurídico y normativo	Prácticas sostenibles	Biodiversidad	Economía circular	Bioproductos
Ley 1715 de 2014	Regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.			X	
Resolución 1207 de 2014	Formula disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.	X		X	
Resolución 1348 de 2014	Establece las actividades que configuran el acceso a los recursos genéticos y sus productos derivados para la aplicación de la Decisión Andina 391 de 1996 en Colombia y se toman otras determinaciones.		X		X
Decreto 1076 de 2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible que define el acceso al recurso genético.		X		X
Resolución 1312 del 11 agosto de 2016	Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA), requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones (energías renovables).	X		X	
Resolución 1283 del 8 agosto de 2016	Por la cual se establecen el procedimiento y los requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones (energías renovables).	X		X	
Decreto 1543 de 2017	Por el cual se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y de Gestión Eficiente de la Energía (Fenoge).			X	
Resolución 0472 de 2017	Reglamenta la gestión integral de los residuos de construcción y demolición (RCD).			X	

(Continúa)

(Continuación anexo 2)

Marco jurídico y normativo	Marco jurídico y normativo	Prácticas sostenibles	Biodiversidad	Economía circular	Bioproductos
Resolución 1352 de 2017	Modifica la Resolución 1348 de 2014 y adiciona los aspectos técnicos relacionados con la solicitud de patentes o procedimientos obtenidos o desarrollados a partir de recursos genéticos o de sus productos derivados.		X		X
Resolución 1407 de 2018	Reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio y metal.			X	
Ley 1955 de 2019	“Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: Pacto por Colombia, pacto por la equidad”.	X	X	X	X
Ley 1990 de 2019	Política para prevenir la pérdida y el desperdicio de alimentos, estableciendo medidas para reducir estos fenómenos, con lo cual se busca contribuir al desarrollo sostenible desde la inclusión social, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo económico, y promover una vida digna para todos los habitantes.	X		X	
Resolución UPME 203 de 2020	Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para acceder a los beneficios tributarios en inversiones en investigación, desarrollo o producción de energía a partir de FNCE.	X		X	
Resolución ICA 68370 de 2020	Establece los requisitos para el registro y control de bioinsumos.				X
Resolución ICA 061252 de 2020	Establece los requisitos y el procedimiento para el registro de los fabricantes e importadores de alimentos para animales, así como los requisitos y el procedimiento para el registro de alimentos para animales y se dictan otras disposiciones.				X
Resolución ICA 55 de 2020	Establece los requisitos y el procedimiento para obtener la autorización de producción y uso de biológicos autógenos (autovacunas) veterinarios.	X			X

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Ecuaciones de búsqueda aplicadas en Scopus y Web of Science para la vigilancia tecnológica

Anexo 3.1. Ecuaciones para el enfoque de prácticas de agricultura sostenible

Ecuación de búsqueda establecida	TITLE-ABS-KEY (sustainability*) AND (food AND safety OR natural AND resources OR climate AND change OR nutrition OR health OR healthy AND ecosystems OR biomass OR biofuels OR biotechnology OR sustainable AND production OR agriculture OR sustainable AND intensive AND production OR sustainability OR agroecology OR circular AND agriculture OR bioinputs OR biofertilizer OR renewable AND resources OR landscape AND productivity)	
Fecha de búsqueda	Diciembre de 2020	
Origen de datos	Scopus 1.411 publicaciones científicas	Web of Science 1.526 publicaciones científicas

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3.2. Ecuaciones para el enfoque de biodiversidad

Ecuación de búsqueda establecida	TITLE-ABS-KEY (biodiversity* AND sustainability*) AND TITLE-ABS-KEY = (bioeconomy* OR sustainability* AND bioprospecting OR sustainability OR diversity OR microorganism OR plant* OR germplasm OR molecules OR seed OR biological OR agrobiodiversity OR genetic AND resource OR genetic OR secondary AND metabolites OR conservation OR biosafety OR forestry OR biotechnology*)	
Fecha de búsqueda	Diciembre de 2020	
Origen de datos	Scopus 1.974 publicaciones científicas	Web of Science 2.144 publicaciones científicas

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3.3. Ecuaciones para el enfoque de bioprospección

Ecuación de búsqueda establecida	TITLE-ABS-KEY (bioprospecting) AND (bioprospection OR bioprospecting OR genetics OR biodiversity OR ecosystem OR species OR genetic OR resources OR natural OR environmental OR authority OR systematic OR search OR bioactive OR plant AND production OR ecology)	
Fecha de búsqueda	Diciembre de 2020	
Origen de datos	Scopus 484 publicaciones científicas	Web of Science 467 publicaciones científicas

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3.4. Ecuaciones para el enfoque de economía circular

Ecuación de búsqueda establecida	TITLE-ABS-KEY (circular AND economy) AND (recycle OR refuse OR reduce OR reuse OR repair OR re-gift OR recover OR 7r OR life AND cycle OR management OR reduction OR reuse OR industrial AND surplus OR waste OR supply OR resupply OR clean AND energy OR renewable OR alternatives OR efficiencies OR use AND of AND resources OR subproducts OR coproducts OR agroindustres)	
Fecha de búsqueda	Diciembre de 2020	
Origen de datos	Scopus 478 publicaciones científicas	Web of Science 746 publicaciones científicas

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3.5. Ecuaciones para el enfoque de bioproductos

<p>Ecuación de búsqueda establecida</p>	<p>TITLE-ABS-KEY (bioproducts) AND (quality OR bioinput OR bio-input OR production OR fertilizer OR biofertilizer OR biopesticide OR probiotic OR food AND safety OR additive OR scale AND change OR marketing OR trademark OR metabolites OR adjuvants OR residual AND substrates OR production OR enzymes OR probiotics)</p>	
<p>Fecha de búsqueda</p>	<p>Diciembre de 2020</p>	
<p>Origen de datos</p>	<p>Scopus 900 publicaciones científicas</p>	<p>Web of Science 1.149 publicaciones científicas</p>

Fuente: Elaboración propia



AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

