

ESTUDIO SOBRE BIOECONOMÍA

COMO FUENTE DE NUEVAS INDUSTRIAS BASADAS EN EL CAPITAL NATURAL DE COLOMBIA FASE II

Análisis de la situación y
recomendaciones de política de
bioeconomía

ANEXO 1 ANÁLISIS SECTOR AGRÍCOLA Y PECUARIO

Elaborado por: Diego F. Villanueva-Mejía
Universidad EAFIT

MEDELLÍN, COLOMBIA
28 DE JUNIO 2018

ESTUDIO ENTIDADES LÍDERES DE BIOECONOMÍA

UNIVERSIDAD
EAFIT


biointropic

silco
Science & Innovation Link Office

— APOYAN —


UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN


**CORPORACIÓN
UNIVERSITARIA
LASALLISTA**
VOLAMOS EN EDUCACIÓN

— ENTIDADES PATROCINADORAS —


MISIÓN DE CRECIMIENTO VERDE

 **DNP** Departamento
Nacional
de Planeación

 **TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

 **WORLD BANK GROUP**

 Korea
Green Growth
Partnership

COLOMBIA



CONTENIDO

ANÁLISIS SECTOR AGRÍCOLA Y PECUARIO.....	5
1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SECTOR AGRÍCOLA Y PECUARIO	5
1.1. CONTEXTO ESTRATÉGICO DEL SECTOR	5
1.2. SUBSECTORES DEL SECTOR.....	6
1.3. COMPORTAMIENTO DEL SECTOR.....	7
1.3.1. Producción anual.....	7
1.3.2. Comercio Internacional	7
1.3.3. Participación de la producción anual del sector en el PIB Nacional	9
1.3.4. Otras cifras claves	9
1.4. ACTORES CLAVE	12
1.5. CLÚSTER DEL SECTOR.....	13
1.6. ANÁLISIS DE LAS CAPACIDADES EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL SECTOR	16
1.7. INICIATIVAS Y PROGRAMAS REALIZADOS EN EL SECTOR.....	18
2. OPORTUNIDADES DE INNOVACIÓN DEL SECTOR EN BIOECONOMIA	25
2.1. Impacto de la Bioeconomía en la Agricultura: la Biotecnología a nivel mundial. 25	
2.2. Oportunidad de Innovación: Bioinsumos para la agricultura	27
2.3. Oportunidad de Innovación: Desarrollo de nuevas variedades vegetales	29
2.4. Oportunidad de Innovación: Desarrollo de Biorrefinerías.....	32
2.5. Oportunidad de Innovación: Mejoramiento genético animal	36
2.6. Oportunidad de Innovación: Fitorremediación	36
3. FACTORES CRITICOS.....	38
3.1. Dimensión Tecnológica	38
3.2. Dimensión Regulatoria	39
3.3. Dimensión de Mercado	40
3.4. Dimensión de Talento Humano.....	40
3.5. Dimensión de financiación e inversión.....	41
3.6. Dimensión de Ambiental	42
3.7. Dimensión de Infraestructura	43
4. RESUMEN DE DIAGNOSTICO DEL SECTOR AGRÍCOLA Y PECUARIO	43
BIBLIOGRAFIA.....	45





LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN Y USO PRINCIPAL DE LAS 111.5 MILLONES DE HECTÁREAS QUE CONFORMAN EL ÁREA CONTINENTAL DE COLOMBIA (FUENTE: DANE, 2014).....	6
FIGURA 2. PRODUCCIÓN ANUAL- SECTOR AGROPECUARIO	7
FIGURA 3. COMERCIO EXTERIOR SECTOR AGROPECUARIO.....	8
FIGURA 4. PARTICIPACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ANUAL SECTOR AGROPECUARIO EN EL PIB NACIONAL	9
FIGURA 5. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS INGRESOS GENERADOS ANUALMENTE POR PRODUCTO AGRÍCOLA	10
FIGURA 6. PORCENTAJE DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN EN COLOMBIA (2017) POR ÁREA DEL CONOCIMIENTO	17
FIGURA 7. PORCENTAJE DE INVESTIGADORES EN COLOMBIA (2017) POR ÁREA DEL CONOCIMIENTO	17

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: SUB-SECTORES DEBEN SER PRIORIZADOS EN LOS ÁMBITOS AGRÍCOLA Y PECUARIO..	11
TABLA 2: PRINCIPALES ACTORES QUE INTEGRAN EL SECTOR AGRÍCOLA Y PECUARIO.....	12
TABLA 3: PROGRAMAS, CONVOCATORIAS QUE HAN IMPACTADO EL DESARROLLO DEL SECTOR AGRÍCOLA Y PECUARIO	20
TABLA 4: PRODUCCIÓN ANUAL PROMEDIO DE BIOMASA RESIDUAL POR CULTIVO AGRÍCOLA	33
TABLA 5: POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL.....	34
TABLA 6: DIVERSAS ALTERNATIVAS PARA EL USO DE LA BIOMASA DE LA PALMA. DESDE LAS PLANTAS DE BENEFICIO DE ACEITE DE PALMA HACIA EL DESARROLLO DE BIORREFINERÍAS. FUENTE: (GARCIA-PEREZ & GARCIA-NUNEZ, 2013)	35
TABLA 7: INNOVACIONES EN EL SECTOR AGRÍCOLA Y PECUARIO.....	37





ANÁLISIS SECTOR AGRÍCOLA Y PECUARIO

El presente informe contiene un análisis detallado del sector agrícola y pecuario que servirá como insumo para la Misión de Crecimiento Verde de DNP.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SECTOR AGRÍCOLA Y PECUARIO

1.1. Contexto estratégico del Sector

1.1.1 Seguridad alimentaria y objetivos del desarrollo sostenible

La búsqueda de la seguridad alimentaria fue adoptada como prioridad mundial con la declaración de Roma de 1996 (FAO, 1996). Al año 2015, la comunidad global logró la Meta de Desarrollo del Milenio de reducir a la mitad el número de personas sufriendo de desnutrición, gracias en gran parte a las reducciones logradas en Latinoamérica (FAO, IFAD, & WFP, 2015). Sin embargo, aunque Colombia logró reducir el 12%, avanzó muy poco dado que al 2015, las tasas de desnutrición en el país se hallaban cerca del 9%, y lo más significativo, es que 54 de cada 100 hogares se encontraban en grado de inseguridad alimentaria (MinSalud, 2015).

Las proyecciones de crecimiento de la población mundial demuestran que para el año 2050 habrá cerca de 9 mil millones de habitantes (FAO, 2009), lo que implica un aumento en el consumo de alimentos proteicos, específicamente de origen animal, en la población creciente en los países de economías en vía de desarrollo. Adicionalmente, estas cifras de crecimiento poblacional traen consigo el reto de aumentar la producción alimentaria en aproximadamente un 70 por ciento (FAO, 2009, 2011b) y mantenerse siempre en la senda de buscar mejoramiento de su contenido nutricional. Sumado a lo anterior, se estima que para el año 2050, el consumo global de cereales, lácteos y cárnicos aumentará en un 1%, 19 % y 19 % respectivamente, siendo más marcados los aumentos en Latinoamérica, con un 5%, 25%, y 30% respectivamente (Bruinsma, 2003). Es en este aspecto donde Colombia tiene una oportunidad importante, dado que se encuentra dentro de los siete países con mayor capacidad de aumentar la producción agrícola, especialmente de cereales, renglón fundamental en el sostenimiento de la producción de alimentos cárnicos y lácteos (FAO, 2018; FINAGRO, 2014).

1.1.2 Colombia: abundantes recursos naturales e inmenso potencial agrícola

De acuerdo con el Sistema de Información de la Biodiversidad Colombiana, más del 50% del país se encuentra protegida, área que contiene 62.829 especies de flora y fauna, razón por la cual Colombia es considerado como un país megadiverso (SIB, 2018). El número de especies se basa en los registros del “Global Biodiversity Information Facility” (GBIF), cifra que se encuentra en constante actualización, por lo que solo presenta un estimativo de la riqueza natural del país. Asimismo, Colombia es conocido como el quinto país más grande en extensión, con una superficie continental de 1´115.000 km², el cual tiene una ubicación privilegiada en el norte del cono sur de América, con acceso a dos diferentes océanos (Atlántico y Pacífico) y una gran diversidad de pisos térmicos como consecuencia de las tres cordilleras que lo atraviesan (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012). Su riqueza en recursos naturales renovables y no renovables (como el níquel, cobre, hierro, carbón, gas natural, petróleo, oro, plata, platino y esmeraldas, así como una abundante flora y fauna), hacen de este territorio una plataforma agrícolas para la producción de una amplia variedad de cultivos y productos forestales (OCDE, 2015).

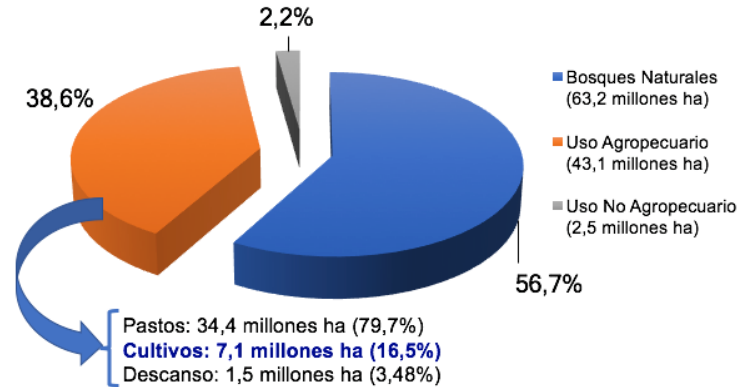




1.1.3 Disponibilidad de tierras para la agricultura en Colombia

El más reciente Censo Agropecuario realizado en Colombia inició su desarrollo en el año 2014 y finalizó con la trigésima entrega en el año 2016 (DANE, 2014). Este censo permitió identificar la distribución y principal uso de las 111.5 millones de hectáreas (ha) que conforman a Colombia en área continental (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012) (ver figura 1), siendo 56.7% destinado a Bosques (correspondiente a 63.2 millones de ha), el 38.6% dedicado al uso agropecuario (correspondiente a 43.1 millones de ha) y el 2.2% (equivalente a 2.5 millones de ha) destinado a un uso diferente a Bosques y Agropecuario (p.e. asentamientos urbanos y rurales). Si bien es cierto que estas cifras reflejan un uso importante de la tierra de Colombia a la agricultura, el censo permitió identificar que, de las 43.1 millones de hectáreas aptas o destinadas a agricultura, únicamente 7.1 millones (es decir 6.3% del área nacional) se encuentran dedicadas a siembra de cultivos, el resto, equivalente a 34.4 millones de ha se encuentra destinado a la alimentación de animales, lo cual es crítico para el medio ambiente, dado que la ganadería contribuye en un 14.5% con las emisiones de efecto invernadero, incrementa la degradación de los suelos, contamina agua y aire, y declina la biodiversidad de las regiones (Rojas-Downing, Nejadhashemi, Harrigan, & Woznicki, 2017). Sin duda alguna, una importante oportunidad de crecimiento para la producción agrícola del país, oportunidad que el mundo ha identificado. Factores determinantes como: disponibilidad de tierra, suministro de agua y diversidad topográfica y climática, han hecho que Colombia sea considerado el séptimo país del mundo con la oportunidad de convertirse en despensa agrícola (FAO, 2011a).

Figura 1. Distribución y uso principal de las 111.5 millones de hectáreas que conforman el área continental de Colombia (Fuente: DANE, 2014).



Fuente: (DANE, 2014)

1.2. Subsectores del sector

Según la clasificación de cuentas nacionales del DANE, el sector agrícola y pecuario se integra por las siguientes actividades económicas:

- (01). Productos de café
- (02). Otros productos agrícolas
- (03). Animales vivos, productos animales y productos de la caza





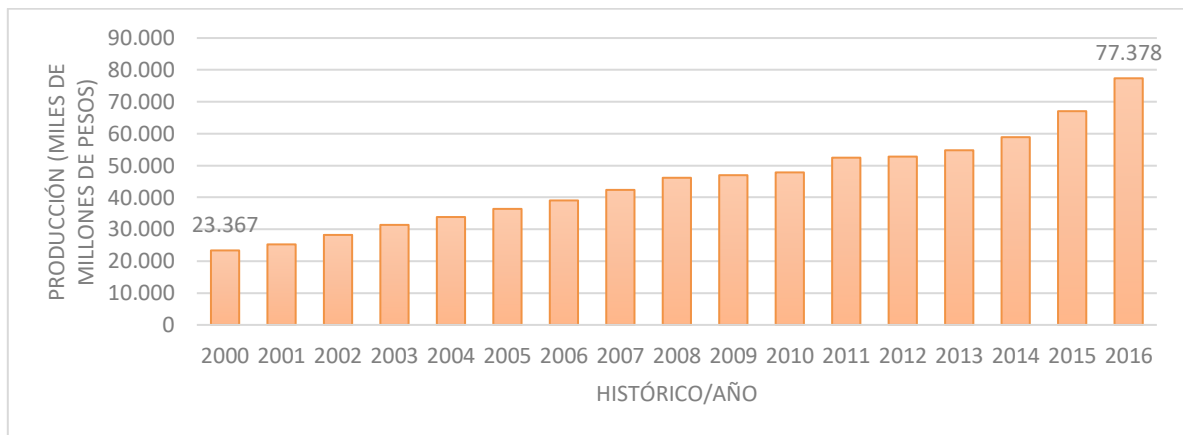
- (04). Productos de silvicultura, extracción de madera y actividades conexas
- (05). Productos de la pesca, la acuicultura y servicios relacionados

1.3. Comportamiento del sector

1.3.1. Producción anual

La producción total del sector agropecuario en Colombia es de 77.378 miles de millones de pesos a 2016. Con un crecimiento del 14% comparado con el 2015. Se observa, una tendencia creciente en el periodo analizado, demostrando estabilidad económica en el sector dada la ausencia de variaciones atípicas.

Figura 2. Producción anual- sector agropecuario



Fuente: Elaboración propia a partir de cuentas nacionales DANE, 2016.

1.3.2. Comercio Internacional

Los productos agrícolas eran el principal componente de las exportaciones hasta mediados de los 80, representando el 54% del valor total de las exportaciones de bienes y servicios. Esta proporción descendió hasta el 31% en el período de 1987 a 1999 y hasta el 20% en 2000-05. Colombia ha sido un exportador neto de productos agroalimentarios durante el período 1990- 2013, pero la balanza comercial del sector agroalimentario se ha ido reduciendo en los últimos años. El valor de las exportaciones agrícolas descendió tras la crisis económica mundial y la temporada de lluvias de 2009-10, que afectó gravemente a la producción agrícola. Asimismo, la fuerte apreciación de la divisa durante el periodo 2008-13 asociada al boom de las materias primas, también ha afectado a la competitividad del sector agrícola. La integración con los mercados internacionales sigue siendo muy escasa, tanto en el ámbito de las exportaciones como de las importaciones, a pesar de la importante liberalización efectuada en los aranceles agrícolas (United Nations, 2017). Según las cifras reportadas por el DANE, solo en 2017 las exportaciones agropecuarias (agrupando agropecuario, ganadería, caza y silvicultura, según clasificación CIIU) tuvieron una participación del 7.1%, equivalente a \$2,678 millones de dólares, frente al total de los demás sectores económicos del país (total \$37,815 millones de dólares) (DANE, 2018a).



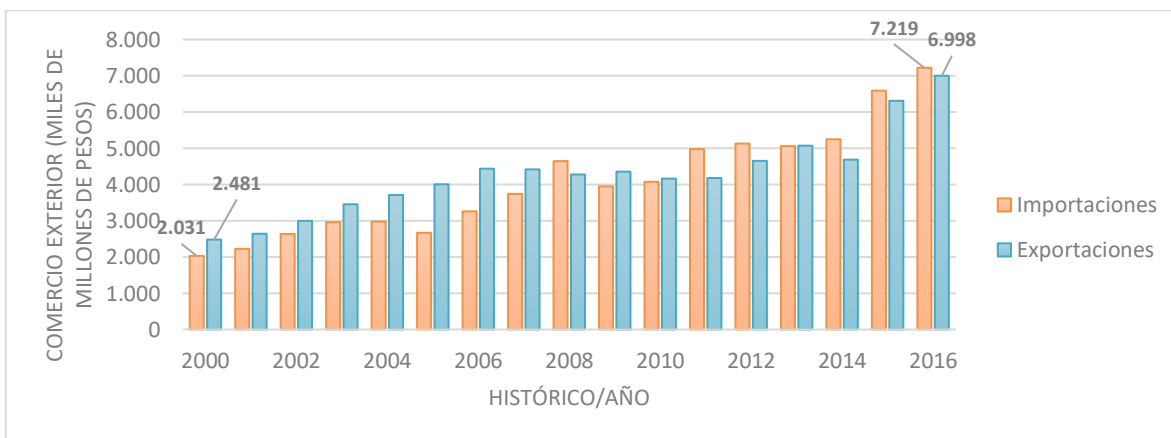


Continuando con el análisis del año 2017, por países, Estados Unidos se consolida como el principal destino de las exportaciones colombianas, representando 29.9% del total exportado. Completan el top 5 en orden de importancia México (4.1%), Ecuador (3.9%), Perú (2.9%), Japón (1.5%), y Bélgica y Alemania con el mismo porcentaje de participación (1.3%).

Por otro lado, la proporción de importaciones agroalimentarias en el PIB agrícola sigue siendo elevada en comparación con la proporción de importaciones totales en el PIB total (28% frente a 16%). Según las cifras reportadas por el DANE, solo en 2017 las importaciones agropecuarias (agrupando agropecuario, ganadería, caza y silvicultura, según clasificación CIIU) tuvieron una participación del 4.9%, frente al total de los demás sectores económicos del país, equivalente a \$2.269,3 millones de dólares, (DANE, 2018b). Las importaciones de Colombia, fueron originarias de Estados Unidos (26,1%), siendo este el país #1; le siguieron en su orden las compras internacionales desde China (19%), México (7,5%), Brasil (5%), Alemania (4,1%) y Japón (2,7%).

La balanza comercial del sector agropecuario a corte de 2016 es negativa con exportaciones de 6.998 miles de millones de pesos, e importaciones con valor de 7.219 miles de millones de pesos, indicando un déficit de 221 mil millones de pesos. Desde el año 2000 hasta el año 2007, las cifras de comercio exterior del sector agropecuario en Colombia enseñan un evidente superávit comercial. Desde el año 2008 en adelante, el comercio exterior colombiano, ha enseñado un cambio de tendencia, de superávit a déficit, con excepción en los años 2009, y 2010 donde la relación fue positiva para el sector. La situación anterior, es probable que obedezca a la firma del tratado de libre comercio con EEUU, donde disminuyen restricciones a la entrada de productos agrícolas al mercado colombiano.

Figura 3. Comercio Exterior Sector Agropecuario



Fuente: Elaboración propia a partir de cuentas nacionales DANE, 2016.

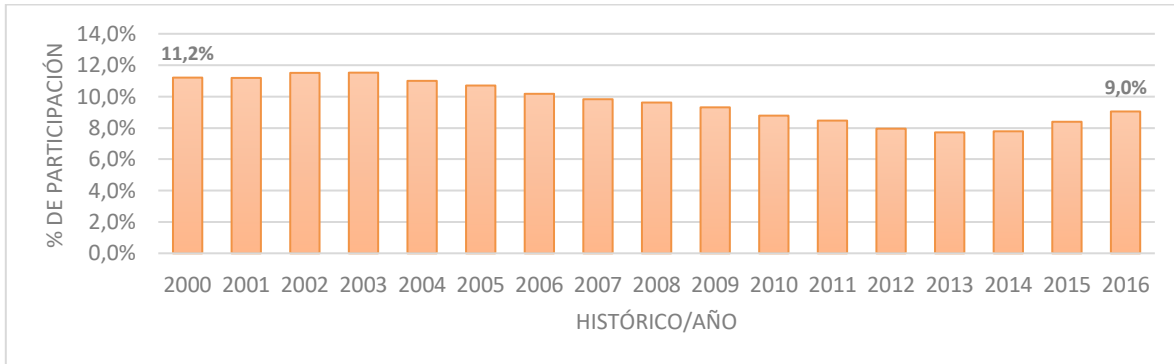




1.3.3. Participación de la producción anual del sector en el PIB Nacional

En general puede afirmarse que el sector agropecuario ha mostrado un gran dinamismo en los últimos años dónde la producción ha sido un factor determinante en la economía nacional. El sector agropecuario para 2016 contribuyo a la economía con el 9% de la producción total, una suma considerable que podría justificar el esfuerzo de llevar al sector a un modelo bioeconómico.

Figura 4. Participación de la Producción Anual Sector Agropecuario en el PIB Nacional



Fuente: Gráficos elaborados a partir de cuentas nacionales del Dane, 2016

1.3.4. Otras cifras claves

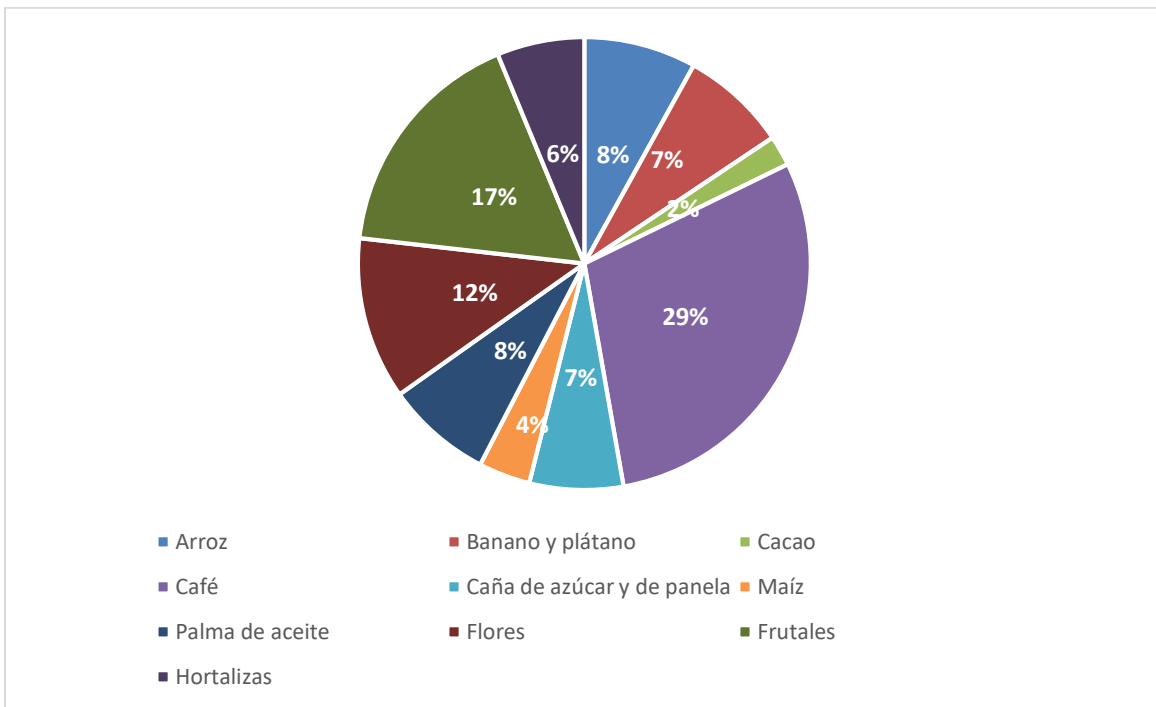
- Factores determinantes como: disponibilidad de tierra, suministro de agua y diversidad topográfica y climática, han hecho que Colombia sea considerado el séptimo país del mundo con la oportunidad de convertirse en despensa agrícola (FAO, 2011a).
- Según el Censo agropecuarios (DANE, 2014) Colombia cuenta con 43.1 millones de hectáreas aptas o destinadas a agricultura, de las cuales tiene cultivadas 7.1 millones (es decir 6.3% del área nacional).
- Según un estudio realizado por FINAGRO, se identificaron 15 productos fundamentales para el desarrollo del sector (FINAGRO, 2014): Arroz, Banano y plátano, Cacao, Café, Caña de azúcar y de panela, Maíz Palma de aceite, Flores, Frutales, Hortalizas, Ganadería doble propósito, Ganadería leche, Porcicultura, Avicultura y Piscicultura.
- El desarrollo de estos productos agropecuarios, generan 2,1 millones de empleos directos, lo que representa el 80% del total del sector agrícola y pecuario. Asimismo, se considera que estos productos permitirán a futuro incrementar en más de un millón de hectáreas la superficie cultivada del país y, de acuerdo a estimaciones de FINAGRO, generarán aproximadamente 291 mil nuevos empleos para 2020.
- Número de hectáreas usadas en 2015 para la producción de cultivos genéticamente modificados o cultivos biotecnológicos en Colombia es de 109,935 en Maíz, Algodón y clavel principalmente (Agro-Bio, 2016).





- Producción de biomasa residual Agrícola y pecuario es de 279.333.596 T/año de acuerdo a análisis del Ministerio de Minas y Energía. La biomasa agrícola proviene de cultivos como palma, caña, café, maíz, arroz, banano, plátano, y la biomasa pecuaria de bovinos, porcinos y avícola. (Ministerio de Minas y Energía, 2010)
- Los productos agrícolas considerados fundamentales, por su aporte a la seguridad alimentaria del país, el empleo rural y el comercio internacional (FINAGRO, 2014), pueden verse representados en la Figura 3, con la distribución promedio de ingresos generados durante el año 2012. Los 5 productos restantes considerados fundamentales son de origen pecuario: la ganadería (doble propósito y de leche), porcicultura, avicultura y piscicultura, siendo la ganadería la de mayor peso en el PIB pecuario con 48,7%, seguido de avicultura, porcicultura y piscicultura en orden de importancia.

Figura 5. Representación gráfica de los ingresos generados anualmente por producto agrícola



Fuente: FINAGRO, 2014

- Respecto a los productos agrícolas considerados fundamentales, son cultivados en 4 millones de hectáreas, es decir, en el 56.33% de área destinada actualmente para cultivos, lo cual representa una oportunidad de crecimiento. Adicionalmente, contemplando los productos pecuarios, se espera se generen 2,1 millones de empleos directos en el proceso productivo, lo que representa el 80% del total del sector agrícola y pecuario. Asimismo, se considera que estos productos permitirán a futuro incrementar en más de un millón de hectáreas la superficie cultivada del





país y, de acuerdo a estimaciones de FINAGRO, generarán aproximadamente 291 mil nuevos empleos para 2020.

- A partir de los productos anteriormente mencionados, y gracias al análisis reportado por el Departamento Nacional de Planeación, Misión crecimiento verde, en el Informe #1 del estudio sobre la Bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital (Diagnóstico y definición de sectores estratégicos para Colombia), el equipo consultor en compañía de actores estratégicos, consideró que los siguientes sub-sectores deben ser priorizados en los ámbitos agrícola y pecuario, para aprovechar las oportunidades de innovación a partir de la biotecnología, con el fin de encontrar nuevas palancas de crecimiento y de ingreso a mercados más sofisticados (DNP, 2018).

Tabla 1: Sub-sectores deben ser priorizados en los ámbitos agrícola y pecuario

Subsector	Aplicaciones
Productos de café	Desarrollo de nuevas variedades (resistentes a factores bióticos como plagas, y a factores abióticos, como el ambiente extremo, o mejoramiento de las características nutricionales); desarrollo de bioinsumos agrícolas; generación de bancos de germoplasma, uso de variedades para la biorremediación de suelos; extracción de metabolitos y principios activos a partir de desechos agrícolas; desarrollo de biorrefinerías y bioproductos, entre otros.
Avícola	Desarrollo de estrategias tecnológicas para el diagnóstico oportuno de patógenos y enfermedades; desarrollo de bioproductos que conlleven al mejoramiento de la nutrición y salud animal, así como al mejoramiento de la calidad de la carne; desarrollo de neutralizadores de olores y manejo integral de biomasa residual para nuevos bioproductos, entre otros.
Ganadería	Desarrollo de nuevas variedades/razas, desarrollo de tecnologías para el diagnóstico oportuno de patógenos y enfermedades; bioproductos que conlleven al mejoramiento de la nutrición y salud animal, así como al mejoramiento de la calidad de la carne y de la leche; tecnologías de vanguardia para favorecer el incremento de la producción; obtención de neutralizadores de olores; manejo integral de biomasa residual para nuevos bioproductos y obtención de biogás a partir de desechos, entre otros.
Hortofrutícola	Desarrollo de nuevas variedades (resistentes a factores bióticos como plagas, y a factores abióticos, como el ambiente extremo, o mejoramiento de las características nutricionales); desarrollo de bioinsumos agrícolas; generación de bancos de germoplasma, uso de variedades para la biorremediación de suelos; extracción de metabolitos y principios activos a partir de desechos agrícolas; desarrollo de biorrefinerías y bioproductos, entre otros.
Palma	Desarrollo de nuevas variedades (resistentes a factores bióticos como plagas, y a factores abióticos, como el ambiente extremo, o mejoramiento de las características nutricionales); desarrollo de bioinsumos agrícolas; generación de bancos de germoplasma, uso de variedades para la biorremediación de suelos; extracción de metabolitos y principios activos a partir de desechos agrícolas; desarrollo de biorrefinerías y bioproductos, entre otros.
Caña	Desarrollo de nuevas variedades (resistentes a factores bióticos como plagas, y a factores abióticos, como el ambiente extremo, o mejoramiento de las características nutricionales); desarrollo de bioinsumos agrícolas; generación de bancos de germoplasma, uso de variedades para la biorremediación de suelos; extracción de metabolitos y principios activos a partir de desechos agrícolas; desarrollo de biorrefinerías y bioproductos, entre otros. Manejo de vinazas para la producción de alcohol carburante y producción de biofertilizantes, entre otros.

Fuente: Elaboración propia.





Este tipo de aplicaciones puede ser extendido al resto de subsectores agrícola y pecuario, para un sector más sostenible.

1.4. Actores Clave

En la tabla 1, se presenta a manera de resumen, los principales actores que integran el sector Agrícola y Pecuario. En ella se desglosan: entidades públicas (gobierno), cuyo objeto es el desarrollo de normativas para el desarrollo, control, regulación, entre otras; las entidades generadoras de conocimiento, tales como centros de investigación, universidades, centros de desarrollo tecnológico; las entidades desarrolladoras de productos o servicios derivados del uso sostenible de la biodiversidad, de naturaleza pública o privada; las entidades usuarias de las tecnologías desarrolladas, quienes en principio son receptoras de las tecnologías desarrolladas; las entidades financiadoras o inversionistas, las cuales son clave para el desarrollo del sector por permitir la consecución de recursos para el desarrollo del conocimiento, la maduración y transferencia de tecnologías, así como la adopción de los desarrollos bioeconómicos; finalmente en la tabla se presentan las instituciones que de una u otra manera fomentan la generación de empresas y una cultura tecnológica de apropiación y desarrollo tecnológico del sector.

Tabla 2: Principales actores que integran el sector Agrícola y Pecuario.

Gobierno nacional y regulación	Generador de conocimiento: CDT/ Centro de investigación/ Universidad	Empresa desarrolladora Bio	Empresa usuaria BIO	Financiación e inversión	Fomento empresarial e innovación
Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Ministerio de Comercio Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) Autoridad Nacional de Agricultura y	<u>Centros de investigación públicos:</u> Alexander Von Humboldt, Corpoica (Público-Privado), Sena, Centro de Investigación en Agricultura y Biotecnología (Ciab) <u>Centros de investigación privados:</u>	Ecoflora Agro, Biodefensas agrícolas LST, Bichopolis, Abonamos SA, Biocultivos, Semillas Arroyave, Biotegan SAS, Vecol SA, Bioganar, Vitrogen Colombia, CGR Biotecnología Reproductiva, GenBiogan, Fenavi, Anapa,	Productores agropecuarios de palma, cacao, café, arroz, frutas, hortalizas (otros) Centrales de Abasto Bayer, Syngenta, Dupont, Pioneer, BASF, Acosemillas, Anapa, Asociación	FINAGRO Pymecapital Fondo de agronegocios Colombia Banco Agrario Innpulsa Colciencias Corporación Fondo Biocomercio Colombia (Cfbc) USAID Acdi Voca	Cámaras de Comercio Procolombia Corporación Colombiana Internacional (CCI) ANDI AgroBio Biointropic Fidar Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC) Otras Asociaciones





<p>Pesca (AUNAP) Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) Invima DNP UPRA</p>	<p>Ciat, Cenicel, Cenivam, Cenicaña, Cenipalma, Ceniflores, Corporación para Investigaciones Biológicas (Cib), Cenicafé, Corpogen, Cenibanano, Conif, Ceniagua, Fundación Intal. <u>Universidades:</u> Unal, Udea, UAndes, UValle, UTadeo, UJaveriana, ULasalle, UniAagararia, UCes, UCatólica de oriente, UEafit, UCaldas, UTecnológica de Pereira, Unicartagena, Unillanos, UTolima, UNariño, ULibre UPamplona, USucre, UPacífico, CorHuila, UCauca, (otras). <u>Centros de Desarrollo Tecnológico:</u> Biotec, Crepic, CCI, Acuapez, Cepass Huila, Corporación PBA, (Otros)</p>	<p>Aliar SA, Acosemillas.</p>	<p>Pork Colombia.</p>		<p>PTP - MInComercio</p>
---	---	-------------------------------	-----------------------	--	--------------------------

Fuente: Elaboración propia

1.5. Clúster del sector

A continuación, se presentan algunos “clústeres” que han impactado el desarrollo del sector agrícola y pecuario de Colombia. Las iniciativas clúster son esfuerzos deliberados para catalizar el desarrollo de las aglomeraciones económicas. Un ejemplo de ello son las Rutas Competitivas que han desarrollado iNNpulsa junto a Cámaras de Comercio locales, por medio de las que se construyen hojas de ruta y proyectos para dinamizar algunas de las apuestas productivas regionales. La información que se presenta a continuación contiene los objetivos y detalles de las entidades que han liderado las iniciativas, así como la importancia del aprovechamiento sostenible de los derivados del sector agrícola y pecuario, hacia la generación de desarrollo económico para las regiones.





Clúster Cacao de Antioquia

Es una iniciativa liderada por la Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, junto con la Cámara de Comercio del Magdalena Medio y Nordeste Antioqueño y la Cámara de Comercio de Urabá. Estas instituciones han trabajado para la estructuración del clúster de cacao, en las regiones del Bajo Cauca, Urabá, Magdalena Medio y Nordeste, las cuales representan el 92% de la producción del departamento. El objetivo de este “Clúster Cacao de Antioquia” es incrementar la competitividad del sector cacaocultor en Antioquia a través de la generación de valor en los segmentos de cacao en grano y cacao transformado. En este sentido, los productores / empresas invitadas a participar son aquellas que tienen una clara orientación hacia mercados especializados y entidades de soporte del negocio que implementan acciones con el fin de apoyar la gestión en dichos mercados. Cuenta con la participación de 41 asociaciones de productores y 21.740 empleos directos generados en la región.

Clúster Proteína Blanca.

Iniciativa liderada por la Cámara de Comercio de Cali, el “Clúster de Proteína Blanca” agrupa las diferentes empresas relacionadas con la producción avícola y porcícola en el Valle y norte del Cauca, así como a las empresas dedicadas a las actividades y servicios de apoyo como alimentación, vacunación, sacrificio, refrigeración industrial y transporte especializado, entre otras. Los sectores principales sobre los cuales se concentra la iniciativa del clúster son: alimentos y bebidas, pecuario, productos e insumos agrícolas.

Clúster Derivados Lácteos

En 2015 se priorizó la estructuración de la iniciativa “Clúster Derivados Lácteos”, conscientes a partir del reconocimiento del potencial de las actividades derivadas del aprovechamiento de los lácteos en el Departamento de Antioquia: 1) Una producción aproximada de 3.5 millones de litros diarios en el departamento, lo que la convierte en la primera cuenca lechera del departamento. 2) 80.000 familias beneficiadas con la producción lechera en el norte de Antioquia; 3) Antioquia concentra el 18% de la producción industrial de lácteos y es el departamento líder en exportaciones del sector. A partir de estos antecedentes, la Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, comprometida con el Desarrollo Regional desde una mirada integral y de impacto a partir de la especialización productiva, inició bajo su liderazgo, la estructuración del “Clúster Derivados Lácteos”, con el objetivo de incrementar la competitividad del sector lácteo en Antioquia a través de la generación de la identificación de opciones estratégicas de mercado y la construcción de una visión de futuro. En este sentido, los productores / empresas invitadas a participar son aquellas que tengan presencia en la cadena de valor del Clúster.

Clúster CONFIQUE

Iniciativa liderada por la Cámara de Comercio del Cauca, resalta de la cadena productiva del fique en el departamento del Cauca, la concentración de la producción de sacos, cordeles, biomantos y artesanías. Entre sus fortalezas se presenta la organización de aproximadamente 11.000 familias campesinas e indígenas se ocupan de la siembra, cultivo y beneficio de esta penca del fique. Además de ocuparse de la siembra, cultivo y desfibrado del fique, algunas de las mujeres de las zonas productoras, hilan y tiñen la fibra para realizar artesanías, con tejidos propios de la región. Se pretende diseñar productos a base de fique, que estén dirigido al segmento de la moda y puedan ser comercializados en mercados Internacionales.





Clúster Café de Antioquia

Liderado por la Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, y luego de un proceso de validación con los diferentes actores, en 2013 se priorizó la estructuración de la iniciativa “Clúster de café”, a partir de la siguiente información: 1) 93 mil familias que producen cerca de 1,5 millones de sacos de café; 2) En Colombia el consumo de café se estima que crezca a un ritmo del 30% para 2011-2020; 3) En el mundo, el consumo de café crece tres veces más en valor que en volumen (7 % vs 2 %). El objetivo del “Clúster Café de Antioquia” es incrementar la competitividad del sector cafetero en Antioquia a través de la generación de valor en los segmentos de café verde y café tostado. En este sentido, los productores / empresas que hacen parte de la iniciativa son aquellas que tienen una clara orientación hacia mercados especializados y entidades de soporte del negocio que implementan acciones con el fin de apoyar la gestión en dichos mercados.

Clúster de Insumos Agroindustriales del Atlántico

Liderada por la Cámara de Comercio de Barranquilla, la iniciativa Agro Competitivo para el “Clúster de Insumos Agroindustriales” tiene por objetivo reforzar y potenciar la competitividad de las empresas del sector agropecuario atlanticense y de su ecosistema, desde la producción, comercialización y distribución de insumos para la actividad agropecuaria. Su estrategia "Soluciones Integrales", se encuentra basada en el acompañamiento que ofrece al empresario del campo al momento de adquirir un servicio o producto. Todo esto haciendo que su proveedor se convierta en asesor y guía del negocio, apalancado en la articulación con entidades de formación, de gobierno, de innovación, de tecnologías, de logística, de promoción, por ejemplo. Para ello, acciones como: la conformación del Observatorio de Proyectos Agropecuarios del Atlántico OPAA; la adecuación académica local; el Programa de Innovación en Soluciones Integrales; el ciclo de sensibilización; los acercamientos con la demanda y la oferta, son las propulsoras de la apropiación de la estrategia por parte de la cadena de valor del Clúster. Dicha cadena de valor se encuentra conformada por alrededor de 270 empresas y 50 entidades de apoyo, entre ellas: Industrias de materia prima, producción de insumos, comercio y distribución, actividad primaria agrícola y pecuaria, industria de alimentos, logística, entidades de formación e I+D+i, gobierno, promoción, certificaciones, consultores.

Clúster de Carne de Arauca

Liderado por la Cámara de Comercio de Arauca, el Clúster de Carne de Arauca tiene como objetivo promover la competitividad de dos de sus principales sectores económicos. El sector priorizado es el ganadero debido a la importancia cultural y económica. El ganado es raza criolla, con excepción de algunas fincas, su alimentación es pastoril. Caracterizados por un gran número de pequeños productores, muy orientado al sector primario y poco hacia los mercados finales. Con este clúster se busca fortalecer toda la cadena de valor del sector para lograr que sea un sector competitivo.

CENIREC

De igual forma, y en un apartado especial, es importante reconocer la alianza desarrollada entre los centros de investigación CENIACUA, CENIBANANO, CENICAÑA, CENICEL, CENIFLORES, CENIPALMA, y CONIF, en la creación y puesta en marcha de la Corporación Red Especializada de Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Agropecuario de Colombia – CENIREC. Esta corporación ha jugado un papel importante en el intercambio de información y en el diálogo formal e informal entre científicos, promoviendo el trabajo interdisciplinario para compartir recursos, acceder a información o servicios que de otra manera pueden ser costosos o difíciles de conseguir. Todos los centros de investigación agrupados por CENIREC dan énfasis a la producción





biológica y, como consecuencia, sus líneas de investigación utilizan las mismas técnicas y metodologías. CENIREC actúa como ente Coordinador del Servicio Compartido de Propiedad Intelectual en el Sector Agropecuario de Colombia, SECOPI AGRO Colombia.

Los Centros de investigación organizados en esta corporación han contribuido no sólo con el desarrollo de sus propios sectores, volviéndolos más competitivos y más acordes con los principios de conservación del medio ambiente; también han fomentado y fortalecido el avance científico del país. Los gremios productores y los centros universitarios utilizan las experiencias logradas como modelo para obtener el apoyo tecnológico que requieren.

1.6. Análisis de las capacidades en ciencia y tecnología del sector

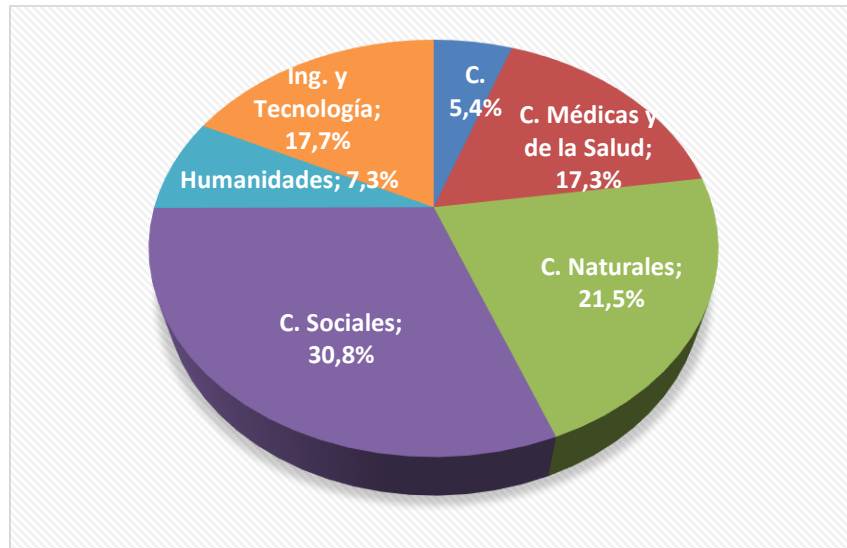
Investigación en el sector agrícola y pecuario:

De acuerdo con el resultado de la última convocatoria de medición de grupos e investigadores realizada por Colciencias en 2017, en Colombia hay 3970 grupos de investigación reconocidos (de un total de 15943 grupos registrados en la Plataforma ScienTI), entre los cuales únicamente 214 son grupos reconocidos y afines al área de las ciencias agrícolas (que reúne la biotecnología agrícola, las ciencias veterinarias, las ciencias animales y lechería, la agricultura, silvicultura y pesca, así como otras ciencias agrícolas), lo que equivale al 5.4% (Ver figura 4), mientras que 435 investigadores se encuentran formados y ejerciendo en ésta misma área del conocimiento, lo que equivale al 5.3% (Ver figura 5) (Colciencias, 2018). En términos generales, esto evidencia una baja capacidad del país en materia de investigación en aspectos relacionados con el sector agrícola y pecuario, la cual es ostensiblemente menor que en otras disciplinas. Sin embargo, el campo de investigación agropecuario colombiano, es un campo con un alto potencial que aún se puede aprovechar para la investigación como plataforma de innovación y solución de problemáticas, primero por la cantidad de retos y necesidades, y segundo, porque es uno de los sectores con mayor capacidad de crecimiento en el país.



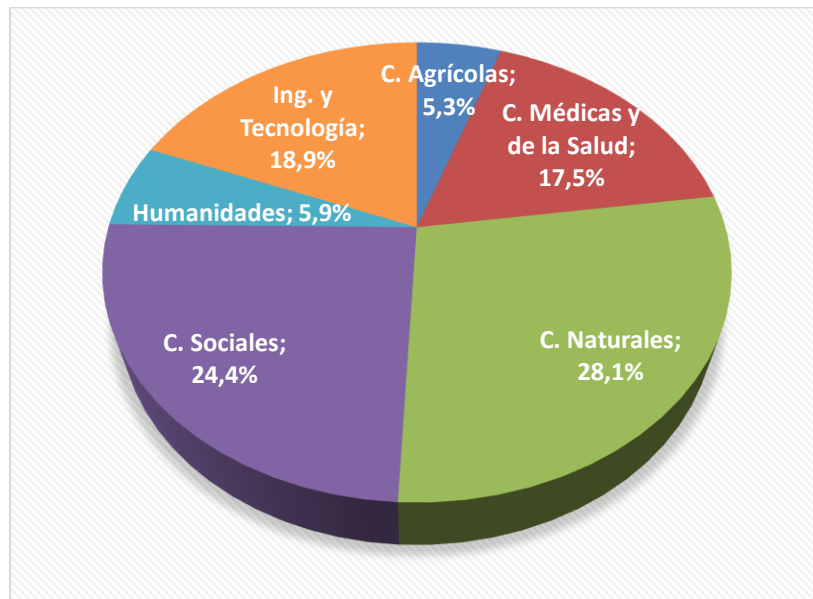


Figura 6. Porcentaje de grupos de investigación en Colombia (2017) por área del conocimiento



Fuente: Colciencias 2017

Figura 7. Porcentaje de Investigadores en Colombia (2017) por área del conocimiento



Fuente: Colciencias 2017





1.7. Iniciativas y programas realizados en el sector

A continuación, se destacan algunas iniciativas y proyectos de innovación relacionados con bioeconomía y biotecnología, que se han realizado en los últimos 5 años apoyados por diferentes instituciones.

Iniciativas ejemplares:

Iniciativa #1: Colorganics – Colorantes naturales.

Colorganics se dedicó a investigar el uso del achiote como colorante natural para los alimentos. El achiote es una especie de alto potencial para este fin, que crece en el trópico, que se ha usado como colorante de condimentos, pero su aplicación en la industria de manera masiva era escasa. Su atractivo es de interés por las compañías norteamericanas y europeas, dado que buscan fuentes naturales de colorantes que acompañen el desarrollo de sus diversos productos, entre ellos los comestibles. Hoy, con 16 años de funcionamiento, Colorganics cuenta una historia totalmente diferente a la de sus inicios, pues sus primeros años fueron bastante complejos, sobre todo por el desconocimiento de las instituciones gubernamentales, pero sobre todo por el desinterés de la sociedad para el uso de este tipo de productos, situación que hoy es totalmente diferente.

A partir del achiote, han logrado extraer la bixina, o 'E 160b' según la nomenclatura de aditivos alimentarios. En 2005, Colorganics resultó ganador de la Convocatoria Ley 344 Colciencias – Sena del proyecto de extracción de bixina a partir de la semilla de achiote, por medio de la cual confirmaron que en Colombia se podría desarrollar investigación para la explotación sostenible de recursos naturales. Dos años más tarde se realizaría la primera aplicación exitosa en la industria, con las galletas Noel.

Para 2011 el nombre de la empresa se empezaba a posicionar y recibió el Premio Innova del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. En ese mismo año, resultaron ganadores de la Convocatoria Alianzas Productivas, del Ministerio de Agricultura, con el proyecto de establecimiento de cultivo de achiote y cúrcuma en alianza con la comunidad de Río Quito-Chocó. Tres años después, es decir en 2014, con la intención de lograr un mayor impacto en las comunidades y contar con el apoyo de un aliado importante, estructuraron y pusieron en marcha un proyecto para la producción industrial de bixina en alianza con la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, Usaid. Para el año 2015, Colorganics ya había recibido un premio del programa de acompañamiento Pabe (Biocomercio Colombia e iNNpulsa) como una de las tres empresas de alto potencial en el área de biocomercio, y de igual forma, fueron reconocidos por dos años consecutivos como proveedor ejemplar de Nutresa por sus desarrollos en innovación y suministro de materias primas. Además de sacar provecho del achiote, Colorganics produce colorantes de cúrcuma (amarillo), betanina (rojo), clorofila (verde), antocianina (morado), annatto (naranja) y carmín (rojo y vinotinto), todos naturales y procedentes de fuentes biológicas (Colorganics, 2018). Sus productos ya han empezado a exportarse a países como Perú, México y Estados Unidos. En definitiva, toda una muestra de garantía de desarrollo bioeconómico para el país.

Iniciativa #2: Universidad EAFIT/Asociación de bananeros Asociación de bananeros de Colombia (Augura) - Biofertilizante.

Motivados por la necesidad de brindar alternativas amigables con el ambiente, y en particular, con el conocimiento de la exigencia de los mercados internacionales, quienes exigen productos certificados y de gran calidad, se generó una alianza desde el año 2008, entre investigadores de la Universidad EAFIT y la Asociación de bananeros Asociación de





bananeros de Colombia (Augura), en pro de fortalecer la industria bananera (Universidad EAFIT, 2017).

A partir de procesos de investigación y desarrollo, que implicó la bioprospección y caracterización de microorganismos asociados a las plantas bananeras de la región de Urabá, el mejoramiento de condiciones para aumentar la biomasa y esporas de las bacterias promotoras del crecimiento en plantas, la formulación de bioinsumos fertilizantes (biofertilizantes) evaluados en laboratorio, invernadero y campo, todo de la mano de los permisos correspondientes para el acceso a recursos biológicos y acceso a recursos genéticos con fines comerciales, ha sido el trasegar de esta alianza que ha culminado con la obtención de patentes nacionales e internacionales por parte de la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos, para la invención denominada “*Proceso para incrementar la producción de biomasa y esporas de bacterias promotoras del crecimiento vegetal del género Bacillus - Bioestimulante*”.

Éste es quizás el mejor ejemplo de una iniciativa biotecnológica que ha unido a la universidad, la empresa y el Estado; que ha usado sosteniblemente los recursos de la biodiversidad; que ha cumplido con todos los requisitos legales de las entidades competentes para cada caso; y que demuestra que sí es posible aprovechar las enormes oportunidades que tiene el país, para aprovechar los biorecursos, implementar tecnología y generar una industria bioeconómica con alta tendencia al alza.

Iniciativa #3: Ecoflora Agro.

EcoFlora Agro es una empresa colombiana, líder y pionera en el desarrollo de extractos vegetales para la protección eficaz y sostenible de cultivos agrícolas (Ecoflora Agro, 2018). Partiendo del hecho de que cerca del 95% de los productos que se utilizan en el mundo para la protección de cultivos son aún pesticidas químicos, la gran mayoría de ellos con categoría de toxicidad alta y por lo tanto relacionados con impactos nocivos para los ecosistemas, para el ambiente y para la salud humana, se abre un escenario de oportunidad para la identificación de sustancias biológicas que cumplan la función biocida pero que no generen efectos negativos. Esto, debido a que los productos petroquímicos mal manejados (como sucede con mayor frecuencia en Latinoamérica y otras regiones agrícolas menos desarrolladas) representan problemas asociados a la contaminación de alimentos con residuos de pesticidas, a la resistencia de plagas y enfermedades, al impacto sobre la salud de operarios o trabajadores del sector agrícola, de comunidades en áreas de influencia, de la biodiversidad y de los recursos naturales en general.

Fue así como Ecoflora Agro, inició desarrollos científicos de bioprospección para la identificación de especies vegetales que pudieran suplir la necesidad y a partir de los cuales, se pudieran producir bioplaguicidas. El uso de este tipo de bioinsumos trae consigo grandes beneficios para la agricultura, la salud y el ambiente, entre estos: la producción de cosechas más limpias y sanas, debido a que los cultivos se exponen a menores cargas contaminantes, la posibilidad de contar con ambientes laborales más saludables para los trabajadores agrícolas y la protección de los polinizadores y los organismos benéficos, aliados naturales de los agricultores. Los bioinsumos de Ecoflora Agro se comercializan en Colombia, Ecuador, Perú, Costa Rica, Estados Unidos, y a partir del último semestre de 2017 empezó a comercializar en Marruecos (África).





Programas, políticas, convocatorias, que han favorecido el desarrollo del sector:

Ahora, se resaltan algunos programas, convocatorias que han impactado el desarrollo del sector agrícola y pecuario, y que han permitido la innovación tecnológica relacionada con bioeconomía y biotecnología.

Tabla 3: Programas, convocatorias que han impactado el desarrollo del sector agrícola y pecuario

FECHA	TIPO	HITOS
1991	Programa	Programa Nacional de Biotecnología , que busca fortalecer la capacidad científica y promover el desarrollo de la biotecnología a nivel nacional.
1994	Ley	Ley 165 de 1994 – Ratificación del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Los objetivos de este convenio internacional son la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos, mediante un acceso adecuado a esos recursos y una transferencia apropiada de las tecnologías pertinentes, teniendo en cuenta todos los derechos sobre esos recursos y a esas tecnologías, así como mediante una financiación apropiada.
1996	Normativa	La CAN aprueba la normativa sobre acceso a recursos biológicos y genéticos a través de la Decisión Andina 391 que genera obligaciones para Colombia
1996	Política	Política Nacional de Biodiversidad , con el objetivo de promover la conservación, el conocimiento y el uso sostenible de la biodiversidad, así como la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los conocimientos, innovaciones y prácticas asociados a ella por parte de la comunidad científica nacional, la industria y las comunidades locales.
1997	Política	Política para la Gestión Ambiental de la Fauna Silvestre en Colombia. 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 hacen parte.
2002	Plan	Plan Nacional en Bioprospección Continental y Marina , con el fin de buscar, identificar y caracterizar los recursos biológicos y genéticos, continentales y marinos, en las diferentes regiones del país, con potencial económico a nivel nacional e internacional y la implementación de proyectos de investigación, producción y comercialización.
2005	Plan	Declaración del DNP: su objetivo es “impulsar el conocimiento en áreas estratégicas para el desarrollo competitivo del país” considerando en esta categoría las siguientes áreas: biodiversidad y recursos genéticos, biotecnología e innovación agroalimentaria y agroindustrial.





2006		<p>Programa de Transformación Productiva es una alianza público-privada orientada a: Fortalecer el aparato productivo colombiano; Aprovechar las oportunidades que surgen de los Acuerdos Comerciales; Contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los colombianos.</p> <p>Es un programa de gobierno que inicia en el año 2006, a través de un proceso de acercamiento entre las empresas y el Estado, soportado en estudios llevados a cabo para el efecto y el acompañamiento de una consultoría internacional, con el propósito de encontrar espacios para el desarrollo sectorial.</p>
2007	Convocatoria	<p>Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Convocatoria Nacional para la Cofinanciación de Programas y Proyectos de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación para el Sector Agropecuario por Cadenas Productivas.</p>
2008	Política	<p>CONPES 3527 - Política Nacional de Competitividad y Productividad (Conpes3527, 2008). Incorpora dentro del marco amplio de la competitividad las capacidades de generación, uso y transferencia de conocimiento. Se plantea la necesidad del diseño de una política para el aprovechamiento de los recursos genéticos para la agricultura y el desarrollo de la biotecnología en Colombia.</p>
2008	Convocatoria	<p>Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Convocatoria Nacional para la Cofinanciación de Programas y Proyectos de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación para el Sector Agropecuario por Cadenas Productivas.</p>
2008	Política	<p>CONPES 3510 - Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia (Conpes3510, 2008).</p>
2009	Política	<p>CONPES 3582/09 - Política Nacional de Fomento a la Investigación y la Innovación (Conpes3582, 2009). Crear las condiciones para que el conocimiento sea un instrumento del desarrollo, principalmente a través de acelerar el crecimiento económico y disminuir la inequidad. Esta política considera la biodiversidad como un área estratégica y reconoce la necesidad de avanzar en su conocimiento y uso sostenible.</p>
2009	Ley	<p>Ley 1286 de 2009, Fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia y se dictan disposiciones que permiten transformar a Colciencias en departamento administrativo.</p>
2009	Fondo	<p>Se crea el Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas a través del cual se apoyan programas, proyectos y actividades de ciencia, tecnología e innovación.</p>
2010	Política	<p>CONPES 3678 – Política de Transformación productiva: Un modelo de desarrollo sectorial para Colombia</p>
2010	Plan	<p>El Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, estableció el mandato de fortalecer y clarificar qué instituciones serían responsables del fomento de la biotecnología: "La nueva oferta institucional incluirá la creación de una institucionalidad específica para promover el desarrollo de la biotecnología, el aprovechamiento comercial de la biodiversidad y los recursos genéticos".</p>





2010	Plan	Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE). Entre otros: Profundizar en el conocimiento del potencial de recursos de FNCE más promisorias; Desarrollo de capacidad, I+D+I y apropiación tecnológica.
2011	Política	CONPES 3697 - Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad (Conpes 3697, 2011)
2012	Política	Política Nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (PNGIBSE). Marco de Política de Uso Sostenible de la biodiversidad: La estrategia busca, además de promover el establecimiento de bancos de germoplasma, de programas de biotecnología, y de valoración multicriterio de la biodiversidad, procurar el desarrollo sostenible del potencial económico de la biodiversidad.
2012	Convocatoria	Colciencias - Convocatoria para conformar un banco de proyectos elegibles de Desarrollo Tecnológico e Innovación para el Cierre de Brechas Tecnológicas en Cadenas Productivas Agropecuarias, en la modalidad de cofinanciación.
2012	Ley	Ley 1518 del 2012 que favorece los acuerdos de la UPOV91, la cual protege semillas modificadas genéticamente bajo derechos de propiedad intelectual. En el país se produce soya, maíz, algodón, rosas y claveles transgénicos.
2012	Acuerdo Internacional	Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea (2012), con el cual el país puede importar alimentos transgénicos como maíz, soya, trigo, entre otros, a precios bajos.
2013	Convocatoria	Desarrollo del estudio del potencial de la biotecnología del país, en el marco del CONPES 3697 en el año 2013, por parte de Genetrix, Bioserentia, Mediplantes.
2013	Convocatoria	Convocatorias de capital semilla y de aceleración de INNPULSA (CER 002, CER004)
2013	Plan	Plan Nacional de Negocios Verdes, quedó consignado el análisis realizado en el año 2013 por el Ministerio de Ambiente, frente a los Planes de Acción de las Corporaciones Autónomas Regionales, los Planes de Desarrollo Departamentales, los Planes Regionales de Competitividad y las Agendas Internas Regionales (apuestas productivas) y presenta la participación de la oferta para los Negocios Verdes, de acuerdo con los resultados obtenidos de la muestra seleccionada.
2014	Convocatoria	Convocatorias de prueba concepto de INNPULSA en asocio con Colciencias 2014-2015 (700-701)
2014	Normativa	Resolución 1348 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Define las actividades de bioprospección, aprovechamiento comercial e industrial que configuran acceso a los recursos genéticos y sus productos.
2014	Evento	Encuentro Biotech 2025: tendencias, desafíos y oportunidades en biotecnología. La directora de Colciencias, Yaneth Giha, proclama el inicio de la década de la biotecnología en Colombia.
2015	Convocatoria	Convocatoria para el apoyo de crecimiento de Bioempresas de INNPULSA 2015-2016 (CEE04, CEE005)





2015	Convocatoria	Convocatoria de proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación del sector Agropecuario - Colciencias. Contribuir a la solución de las necesidades tecnológicas de los pequeños productores agropecuarios con relación a las demandas señaladas en la “Agenda” de I+D+i para las cadenas productivas priorizadas y con el fortalecimiento de los procesos de agregación de valor y calidad e inocuidad de productos promisorios identificados en las regiones, que favorezcan la ampliación de mercados y contribuyan a aumentar la competitividad del sector agropecuario y las capacidades científicas regionales.
2015	Política	CONPES 3834 - Lineamientos de política para estimular la inversión privada en ciencia, tecnología e innovación a través de deducciones tributarias Las deducciones tributarias para la inversión en ciencia, tecnología e innovación (CTI) son instrumentos de intervención indirecta usados para promover la inversión privada en actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación (I+D+i).
2015	Programa	Colombia Bio. Busca fomentar el conocimiento, conservación, manejo y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad en los territorios colombianos a través de la Ciencia, Tecnología e Innovación, respaldado por Colciencias para convertir al país en una bioeconomía para el año 2025, donde el 2% de su PIB esté representado en productos y servicios de base biotecnológica.
2016	Convocatoria	FONTAGRO Convocatoria 2016. “Innovaciones para el mejoramiento de la agricultura familiar a través de encadenamientos productivos que faciliten el acceso al mercado”
2016	Programa	Expedición Bio. Expediciones científicas (20 en total) para la caracterización de Biodiversidad, que incluyen el fortalecimiento de Colecciones Biológicas, la ampliación de Librerías Genéticas y contribución a la toma de decisiones a nivel nacional.
2016	Evento	BIONOVO es la primera Feria de Biotecnología en Colombia. Es un espacio especializado en facilitar las conexiones y negocios entre empresas, emprendedores, universidades, centros de investigación, gobierno e inversionistas, delegaciones comerciales internacionales alrededor de la Biodiversidad y la Biotecnología.
2017	Política	CONPES 3892 –Lineamiento de política para estimular la inversión privada de Ciencia, tecnología e innovación a través de deducciones tributarias Con base en la reforma tributaria 1819 de 2016, se ordenó actualizar el documento CONPES 3834 DE 2015, teniendo como base la nueva forma de calcular el beneficio tributario en CTI
2017	Ley	Ley 1838 de 6 de julio de 2017. Por la cual se dictan normas de fomento a la ciencia, tecnología e innovación mediante la creación de empresas de base tecnológica (spin-offs) y se dictan otras disposiciones.
2017	Convocatoria	FONTAGRO Convocatoria Ordinaria 2017. Para la presentación de proyectos sobre “Innovaciones para la intensificación sostenible de la agricultura familiar ante el cambio climático”
2017	Convocatoria	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Convocatoria para conformar un banco de propuestas para la financiación de planes de mejoramiento de las condiciones productivas y planes de mejoramiento de las condiciones ambientales.





2017	Programa	La Misión de Crecimiento Verde es una iniciativa liderada por el DNP a través de la cual se busca definir los insumos y lineamientos de política pública para orientar el desarrollo económico del país hacia el CV en el 2030, de manera comprensiva y acertada. La Misión producirá las bases técnicas para la formulación de la Política de Crecimiento Verde de Largo Plazo, meta del actual Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un Nuevo País”. El DNP busca involucrar de manera estratégica al sector privado en la Misión.
2017	Plan	Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano (2017-2027). El propósito del Programa Nacional de Agrobioprospección es la generación de soluciones o productos innovadores que le aporten valor agregado a las cadenas de producción agropecuaria, a partir del conocimiento y el uso sostenible de la biodiversidad. Para lograr esto, se propone un modelo basado en la integración de las regiones y los grupos de investigación, una alianza del sector productivo-investigativo-académico, el establecimiento de una red de laboratorios y centros nacionales y consolidar una plataforma de capacidades que incluye la formación de talento humano y el fortalecimiento de plantas piloto para el escalamiento de productos y el mejoramiento de las actuales capacidades nacionales en ciencias ómicas, bioinformática y análisis químico a elevada escala.
2017	Convocatoria	Innpulsa - convocatoria para la generación de encadenamientos productivos con procesos asociativos bajo el esquema de marca social jalonados por empresas ancla para impulsar la comercialización de la producción agrícola familiar.
2017	Política	CONPES 3886 – Lineamientos de política y programa nacional de pago por servicios nacionales para la construcción de paz. Este documento CONPES desarrolla los lineamientos de política para la implementación de los pagos por servicios ambientales (PSA), orientados a las instituciones públicas, al sector privado y a la sociedad civil, para realizar inversiones que garanticen el mantenimiento y la generación de los servicios ambientales de los ecosistemas estratégicos del país.
2017	Política	CONPES 3918 - Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son 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.
2017	Ley	Ley 1876 del 29 Dic de 2017. Por la cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA).
2018	Convocatoria	FONTAGRO: Convocatoria Ordinaria 2018. Para la presentación de proyectos de “Escalamiento de Innovaciones para el mejoramiento de la agricultura familiar en América Latina y el Caribe”.
2018	Convocatoria	Colciencias - Convocatoria regional para el fortalecimiento de capacidades I+D+i y su contribución al cierre de brechas tecnológicas en el departamento de Antioquia, Occidente.





2018	Convocatoria	Colciencias - Cierre de Brechas Tecnológicas. Cofinanciación de proyectos de cierre de brechas tecnológicas que partan de la identificación previa de demandas y ejercicios de prospectiva o roadmap, para las empresas en alianza con Centros de Desarrollo Tecnológico y Centros de Innovación y Productividad
------	--------------	---

2. OPORTUNIDADES DE INNOVACIÓN DEL SECTOR EN BIOECONOMIA

La agricultura y la ganadería colombiana, así como las del mundo, se encuentran frente a grandes retos. En primer lugar, se hace necesario aunar esfuerzos que conlleven a la **seguridad alimentaria**: se pierde el 30% de los alimentos por fallas y barreras en la distribución de los mismos; existen altos costos de producción asociado a la complejidad de las zonas rurales en el país; hay una desprotección de los cultivos nativos y especies silvestres en general, las cuales son fuentes de variabilidad genética para enfrentar retos como la protección frente a estrés abiótico; se requiere aumentar la producción de alimentos dada la proyección de crecimiento de la población mundial (FAO, 2016). En segundo lugar, los problemas asociados a la **desnutrición**: hay un claro desbalance de metabolitos esenciales y fuente proteica en los alimentos disponibles para el consumo (Bruinsma, 2003); asimismo, hay una población humana en estado de riesgo de desnutrición o desnutrida, que oscila en el 15% a nivel mundial. De igual forma, el **cambio climático**, se conoce que el sector agrícola y pecuario sufre las consecuencias del cambio climático y que asimismo, contribuye en gran medida (por sus prácticas y malos hábitos) a la generación de emisiones de CO₂ (Kurukulasuriya & Rosenthal, 2013). En consecuencia, se requieren materiales vegetales que toleren las condiciones adversas; así como procesos productivos que estén monitoreados para predecir períodos de lluvia o sequías con alto grado de precisión; reducir la aplicación de insumos agrícolas de síntesis química (petroquímicos); manejar y usar sosteniblemente los recursos de la biodiversidad. Y finalmente, respecto a la **demanda energética** de la población, es claro que existen altos hábitos de consumo energético en las poblaciones, así como un agotamiento de los recursos no renovables, lo cual lleva a la necesidad de generar fuentes energéticas diferentes a las derivadas de los fósiles, como las procedentes de las plantas productoras de metabolitos y biomasa utilizable (Carlsson, 2009) o del aprovechamiento de los residuos que contengan derivados biológicos. Todo lo anterior, indudablemente llevará a buscar alternativas y soluciones que contribuyan a un mundo más sostenible.

La implementación de la biotecnología moderna en el campo colombiano permitirá aumentar la productividad agrícola y pecuaria de una manera más sostenible, y cumplir así con la demanda de alimentos que requiere la población; por otra parte, brinda la posibilidad de generar nuevos negocios de alto valor agregado basados en conocimiento, que gestionan los recursos biológicos y la biomasa residual generada por este sector.

2.1. Impacto de la Bioeconomía en la Agricultura: la Biotecnología a nivel mundial.

Un nuevo informe, publicado por PG Economics, reporta que en los últimos 20 años la biotecnología agrícola ha reducido significativamente el impacto ambiental de la agricultura y ha estimulado el crecimiento económico en los 26 países donde se utiliza esta tecnología. La innovadora tecnología agrícola ha contribuido a preservar los recursos naturales de la tierra, al tiempo que permite a los agricultores producir más cultivos de alta calidad. También





ha ayudado a aliviar la pobreza de 16,5 millones de personas, en su mayoría pequeños agricultores de países en vías de desarrollo (Brookes & Barfoot, 2017).

Los puntos 2.1.1 a 2.1.5 desglosan con mayor detalle la información reportada por (Brookes & Barfoot, 2017) sobre el impacto de la biotecnología en el desarrollo bioeconómico del sector agrícola de las regiones, desde diferentes ópticas.

2.1.1 Impacto Ambiental

La biotecnología agrícola ha reducido el impacto ambiental de la agricultura. Se ha demostrado que la implementación de técnicas de biotecnología moderna han contribuido a la reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero que normalmente ocasionan las prácticas agrícolas, como consecuencia de la adopción de prácticas más sostenibles en los agricultores, tales como una menor labranza, lo que disminuye la quema de combustibles fósiles y retiene más carbono en el suelo. Por ejemplo, si los cultivos genéticamente modificados no se hubieran sembrado en 2015, se habrían emitido otros 26.700 millones de kilogramos de dióxido de carbono a la atmósfera (Clive James, 2016), lo que equivale a poner en circulación 11,9 millones de automóviles en las carreteras. De igual forma, entre 1996 y 2015, la biotecnología agrícola redujo la aspersion de productos de protección de cultivos en 619 millones de kilogramos, lo que equivale a una reducción global del 8,1%. Esta cantidad es mayor al total de productos de protección de cultivos que se usan en China cada año. Como resultado, los agricultores que adoptaron cultivos biotecnológicos han reducido el impacto ambiental asociado con sus prácticas de protección de cultivos en un 18,6%, según el indicador “Environmental Impact Quotient (EIQ)” de la Universidad de Cornell (Kovach, Petzoldt, Degnil, & Tette, 1992), coeficiente compuesto de diferentes factores (toxicidad dérmica, toxicidad crónica, toxicidad en peces, toxicidad en aves, toxicidad en abejas, toxicidad en artópodos, potencial de lixiviación, potencial de pérdida de superficie, sistematicidad, entre otros) que sirve para valorar el riesgo potencial causado por el uso de los pesticidas en cultivos agrícolas a los agricultores que los aplican, a los consumidores y al ambiente.

2.1.2 Impacto Social

La biotecnología agrícola ha contribuido al mejoramiento de la calidad de vida, especialmente para los pequeños y pobres agricultores de países en vías de desarrollo. En 2015, el beneficio económico neto del sector agrícola en el mundo fue de 15.500 millones de dólares, equivalente a un aumento promedio en los ingresos de 90 dólares por hectárea cultivada. De 1996 a 2015, el beneficio neto del sector agrícola a nivel mundial fue de 167.700 millones de dólares (ISAAA, 2016), equivalente a un promedio anual de 8.4 millones de dólares. Mediante un mejor control de las plagas y malezas, la biotecnología agrícola ha ayudado a los agricultores a aumentar sus rendimientos, lo que lleva a mayores ingresos y mejor calidad de vida para ellos y sus familias.

2.1.3 Impacto Económico

La biotecnología agrícola ha contribuido al éxito económico mundial y por lo tanto, sigue siendo una buena inversión para millones de agricultores. En 2015, por cada dólar adicional invertido en semillas de cultivos genéticamente modificados a nivel mundial, los agricultores obtuvieron un promedio de utilidad de 3,45 dólares. Asimismo, solo en el año 2015, los agricultores de países en vías desarrollo recibieron 5,5 dólares de utilidad por cada dólar adicional que invirtieron en semillas de cultivos genéticamente modificados, mientras que los agricultores de los países desarrollados recibieron 2,76 dólares de utilidad por cada dólar adicional invertido en semillas de cultivos genéticamente modificados.





2.1.4 Impacto Agronómico: Mejoramiento de productividad en los cultivos

La biotecnología agrícola permite a los agricultores aumentar los rendimientos de los cultivos. Para resaltar, la tecnología de cultivos resistentes a los insectos (IR), utilizada en el algodón y el maíz, ha mejorado constantemente los rendimientos al reducir el daño causado por las plagas. De 1996 a 2015, entre todos los usuarios de esta tecnología, los rendimientos han aumentado en un promedio de 13,1% para el maíz IR y de 15% para el algodón IR, en relación con los sistemas de producción convencionales (ISAAA, 2016). Los agricultores que siembran soya IR comercialmente en América del Sur han visto un aumento promedio de 9.6% en los rendimientos desde 2013.

En algunos países, la tecnología de tolerancia de herbicidas (HT) ha mejorado los rendimientos al proveer al agricultor de un mejor control de las malezas. Por ejemplo, en Bolivia, la soya HT aumentó los rendimientos en un 15%. En Argentina, la tecnología HT ha ayudado a los agricultores a producir una cosecha de soya adicional después de sembrar trigo en la misma temporada de crecimiento. Es por ello que los agricultores que adoptaron la biotecnología en países en vías de desarrollo, muchos de los cuales tienen pocos recursos y pequeños terrenos agrícolas, continúan viendo los mayores beneficios del uso de la tecnología. Para destacar, aquí se presentan algunas cifras: en los últimos 20 años, la biotecnología agrícola ha sido responsable de la producción adicional de 180,3 millones de toneladas de soya, 357,7 millones de toneladas de maíz, 25,2 millones de toneladas de algodón y 10,6 millones de toneladas de canola.

2.1.5 Contribución a la Seguridad Alimentaria

La implementación de la biotecnología en los sistemas agrícolas ha reducido la presión para utilizar nueva tierra con objeto de explotación agrícola y asimismo, ha contribuido a la seguridad alimentaria mundial. Se ha demostrado como los cultivos genéticamente modificados permiten a los agricultores producir más sin necesidad de utilizar tierras adicionales para cultivar. Por ejemplo, si la biotecnología agrícola no hubiera estado disponible para los agricultores en 2015, para mantener los niveles globales de producción se hubiera requerido la siembra de 8,4 millones de hectáreas (ha) adicionales de soya, 7,4 millones de hectáreas adicionales de maíz, 3 millones de hectáreas adicionales de algodón y 0,7 millones de hectáreas adicionales de canola. Esto equivale a necesitar un 11 por ciento adicional de la tierra cultivable en los Estados Unidos o, aproximadamente, el 31% de las tierras cultivables en Brasil o el 13% de la superficie cultivada en China.

A continuación, se presentan algunas propuestas de innovación para el desarrollo bioeconómico del sector agrícola y pecuario.

2.2. Oportunidad de Innovación: Bioinsumos para la agricultura.

El uso de productos tipo insecticidas, fungicidas, bactericidas, nematocidas e incluso fertilizantes ha contribuido a mejorar la producción agrícola, en términos de rendimiento como de calidad, lo que ha aumentado el ingreso agrícola, particularmente en los países desarrollados. Sin embargo, el uso descuidado de plaguicidas (químicos sintéticos) sin cumplir con las normas de seguridad y prácticas recomendadas ha planteado serios riesgos para la salud humana, otros organismos vivos y el medio ambiente, desde las áreas productoras con la exposición de los trabajadores, hasta el aire y el agua con la liberación de sustancias químicas como residuos. Por lo tanto, ha habido una demanda creciente por la seguridad y calidad de los alimentos en las últimas décadas, reflejado en las normas y políticas de seguridad cada vez más estrictas, sobre las importaciones de productos y la estricta cantidad de residuos de plaguicidas en los productos (Carvalho, 2017).





En ese sentido, han surgido los bioinsumos. Para los bioplaguicidas, la agencia para la protección ambiental de Estados Unidos (en inglés, Environmental Protection Agency EPA), reconoce tres categorías de bioplaguicidas: 1) bioplaguicidas bioquímicos, entendidos como sustancias naturales que controlan las plagas, 2) bioplaguicidas microbianos, los cuales se basan en microorganismos que controlan las plagas, y 3) protectores incorporados en la planta o PIP, los cuales son resultado de la ingeniería genética de plantas, mediante la incorporación de material genético en el genoma de los cultivos (EPA, 2018). Sin embargo, varios agentes reguladores internacionales no incorporan los PIPs como bioplaguicidas. Algunas cualidades o condiciones deseables en los bioplaguicidas son las siguientes: químicos que ocurren naturalmente (o sus derivados), toxicidad reducida frente a organismos no blanco, persistencia en el ambiente reducida, utilizable en agricultura orgánica, baja toxicidad para mamíferos, seguro para los trabajadores agrícolas y los residentes cercanos a los cultivos, y finalmente, tecnología verde (Seiber, Coats, Duke, & Gross, 2014).

La industria de bioplaguicidas ha tenido un crecimiento constante entre 2009 y 2015 con tasas aproximadas del 15% (Glare et al., 2012). Se proyecta que este crecimiento continúe, siendo un sector que representa aún un tamaño de mercado pequeño, pero con una de las mayores perspectivas de crecimiento entre todos los subsectores de los agronegocios (Goedde, Horil, & Sanghvi, 2015).

2.2.1 Bioinsumos: Necesidades, oportunidades y alternativas

Debido a la amplia adopción de cultivos mejorados genéticamente mediante ingeniería genética con tolerancia a glifosato (herbicida), lo cual ha resultado en la evolución de plantas “no deseables” con la resistencia al glifosato, se hace necesario descubrir y desarrollar nuevos herbicidas biológicos. Muchas fitotoxinas naturales podrían considerarse bioherbicidas bioquímicos y tener modos de acción novedosos que podrían llenar esta necesidad (Dayan, Owens, & Duke, 2012).

De igual forma, nuevos bionematicidas para aplicación en suelo y para uso en productos almacenados son “críticamente” necesarios. Esto se debe a la eliminación del metilbromuro (Protocolo de Montreal) y problemas de movimiento y exposición contra organismos no blanco con otros fumigantes como el isotiocianato de metilo (MITC) y cloropicrina (Ozone Secretariat, 2018).

Los semioquímicos o sustancias químicas de detección / comunicación son otra clase prometedora de bioplaguicidas que están muy lejos en el desarrollo y, por lo tanto, extremadamente necesarias, las cuales son usadas en la protección de cultivos y en general en retos de control de plagas. Incluyen feromonas, alomonas, kairomonas, y otros atrayentes y repelentes, tanto para monitoreo, como para el control poblacional de plagas (Beck et al., 2014).

Los bioplaguicidas de origen microbiano han sido muy exitosos. Hay casi US\$1 billón de mercado de microorganismos vivos como agentes controladores biológicos, con o sin ingredientes activos de productos naturales. Entre estos se encuentran *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus subtilis*, *Thichoderma spp.*, entre muchos otros. Sin embargo, cada vez se hace necesario el desarrollo de nuevos bioplaguicidas de origen microbiano.

Asimismo, controladores de plaga de origen vegetal son cada vez más comunes en el mercado de bioplaguicidas. Ha habido un crecimiento explosivo en las investigaciones sobre la actividad insecticida de los aceites esenciales de plantas, lo que refleja el interés de las sociedades por el desarrollo de este tipo de bioinsumos. Adicionalmente, el desarrollo





de nuevas clases de insecticidas, y en este caso de origen biológico, viene de la mano de la identificación del mecanismo de acción tóxico de un plaguicida natural o de un plaguicida sintético ya comercializado. La búsqueda actual de nuevos sitios blanco (target) en insectos, garrapatas, ácaros y nematodos se han centrado en la elucidación de receptores que son sensibles a ligandos naturales y que pueden ser encontrados en cualquier parte del organismo-plaga, pero que realmente sean significativos en sus funciones o en su desarrollo. Muchos compuestos secundarios en las plantas y en los microorganismos aparentemente tienen funciones defensivas, y mediante investigaciones científicas, es posible explotar esa química natural, una vez se determinen claramente los efectos de esos compuestos defensivos, por ejemplo, en receptores específicos que son funcionalmente importantes en la fisiología de las plagas.

2.3. Oportunidad de Innovación: Desarrollo de nuevas variedades vegetales

2.3.1 Entender el crecimiento y desarrollo de las plantas

La agricultura, a largo plazo, dependerá infinitamente del entendimiento del crecimiento de las plantas. Crecer y desarrollarse, es una característica de los organismos que viene fundamentada desde la información almacenada y organizada en el genoma y que conduce finalmente, en un organismo formado completamente. Un genoma secuenciado provee dos pilares esenciales: una lista de partes, y los recursos para emplear métodos en mejoramiento genético del organismo. Sin embargo, las instrucciones de cómo ensamblar y cómo debe funcionar el organismo, no se obtienen por sí solas con el secuenciamiento del genoma. Se requiere por lo tanto, desarrollar y aplicar nuevas tecnologías y métodos que permitan entender modelos organismales a la perfección, en su crecimiento y desarrollo y en paralelo, se requiere usar modelación computacional para entender el desarrollo desde la escala molecular y celular; la expresión génica, proteómica, metabolómica; el fenotipo químico y “visual” (externo); métodos para caracterizar las comunidades microbianas asociadas a los cultivos; todo con un fácil acceso (en Colombia) a tecnologías de próxima generación en secuenciamiento a gran escala.

2.3.2 Mejoramiento genético informado

Aún es muy común, que la descendencia de cruces vegetales deba ser seleccionada después de que desarrollen el ciclo de vida completo, y así ver cuál de ellos (los descendientes) adquirió los rasgos buscados por el mejorador o agricultor. Cultivando miles de plantas de la descendencia obtenida, es la ruta habitual en los planes de mejoramiento genético, para evaluar esos rasgos, lo que requiere de mucho tiempo y espacio, y por lo tanto limita el número de descendientes que puede ser analizado.

Usando métodos cuantitativos, que son desarrollados a partir del uso del secuenciamiento de DNA por métodos de próxima generación, es posible identificar diferencias en los genomas de variedades vegetales parentales y así, identificar los genes codificantes de características o rasgos deseables que serán asociados a mapas de rasgos cuantitativos y que fortalecerán los planes de mejoramiento. Una vez hecho esto (obtenido las secuencias genéticas o los genomas completos), millones de descendientes pueden ser evaluados y determinados desde las semillas o semilleros, y por lo tanto, seleccionar los individuos de la descendencia que presentan las características deseadas, lo que elimina la barrera espacio-temporal tradicional del mejoramiento genético tradicional, en el sentido de analizar de manera más profunda y amplia, un mayor número de descendientes, a una tasa altamente acelerada y que potencia el poder del mejoramiento genético hacia la obtención de nuevas variedades vegetales.





2.3.3 Ingeniería Genética de Cultivos Agrícolas

Los avances de la ciencia sobre genómica vegetal han permitido y seguirán permitiendo la ingeniería genética de los cultivos. Sobre el ADN de la planta cultivable, realizar: editar (alterar, bloquear, interferir) genes propios o adicionar de genes desde especies diferentes, será la clave para que, desde los mecanismos moleculares, se contribuya a generar una alta productividad en los cultivos.

Aquí se presentan algunos retos para este sector:

-Mayor productividad en los cultivos:

Transferir genes específicos involucrados en la fotosíntesis de las plantas C4 (tasa fotosintética mucho más elevada) en las plantas C3 (la mayoría de las plantas existentes, la más abundantes p.e. en el trópico), incrementaría las tasas fotosintéticas de los cultivos, traducido esto en una mayor fijación de CO₂ (contribución excepcional al mejoramiento del ambiente) y por lo mismo, un incremento radical en la generación de biomasa (alimentos o insumos para utilización en industrias).

-Mayor contenido nutricional de los cultivos

Una gran proporción de la población mundial depende de un solo cultivo rico en almidón (arroz), como su principal fuente de energía, cultivos básicos que generalmente no son fuentes ricas en micronutrientes. Como consecuencia, se estima que los problemas de salud física y mental relacionados con las deficiencias de micronutrientes afectan a alrededor de dos mil millones de personas en todo el mundo, situación que se espera empeore dado la expansión de la población mundial. Es aquí cuando el mejoramiento de la calidad nutricional de los cultivos básicos parece ser una solución efectiva y directa al problema. Sin embargo, el mejoramiento genético convencional, que ha sido usado durante mucho tiempo para este propósito, se ha limitado a la diversidad existente en el conjunto de genes de las especies vegetales emparentadas, lo cual ha disminuido el éxito en el desarrollo de cultivares con mejores características nutricionales. Es aquí cuando la biotecnología permite la adición o mejora de cualquier nutriente, incluso aquellos que son escasos o están totalmente ausentes en una especie de cultivo, y adicionalmente, introduce velocidad al proceso de biofortificación en comparación con la reproducción convencional (Uncu, Doganlar, & Frary, 2013).

Realizar ingeniería genética que afecte la expresión diferencial de genes, conllevará la concentración de hormonas diferencial que optimizará, no sólo el crecimiento de las plantas, sino además una dirección específica de los carbohidratos producidos hacia metabolitos, granos u otras partes comestibles de las plantas, todo ello, dirigido al mejoramiento de la calidad nutricional en los cultivos (p.e. disminución de ácidos grasos trans en el aceite vegetal). Recientemente se reportó una revisión sobre los principales avances en el mejoramiento genético de algunos cultivos de semillas oleaginosas, desde la perspectiva del uso de tecnología “ómicas” para comprender las rutas metabólicas y descubrir genes clave en la producción de aceite de semillas, y también, el uso de la biotecnología moderna para alterar la producción de ácidos grasos y así enfrentar los desafíos bióticos en los cultivos oleaginosos (Villanueva-Mejía & Alvarez, 2017). Para resaltar algunos desarrollos, se ha desarrollado soya genéticamente modificada que regula la expresión del gen FAD2 y conlleva al incremento en la producción del ácido oleico (Kinney, 1997), se ha desarrollado canola modificada genéticamente con variaciones en la composición de ácidos grasos y por lo tanto, incrementando el valor nutricional de estas variedades (Shi et al., 2015).





- *Tolerancia a estrés biótico en los cultivos*

Uno de los grandes factores limitantes en los cultivos, es el impacto de las plagas y enfermedades producidas por organismos vivos que interactúan con las plantas. A partir de organismos que son parte de la biodiversidad, conocidos por presentar características funcionalmente interesantes (p.e. bacterias, hongos o plantas que limitan el crecimiento de otros organismos), se ha logrado transferir material genético al genoma de las plantas cultivables, para que expresen proteínas o en general metabolitos que bloqueen (interfieran) el efecto nocivo de las plagas o de las proteínas infecciosas de los organismos fitopatogénicos (causantes de enfermedades en las plantas).

Esta estrategia biotecnológica, no solo mejora el desempeño y la producción de los cultivos, sino que además impacta positivamente el medio ambiente, al reducir drásticamente el uso de insumos de base química sintética que en su gran mayoría son tóxicos para otros organismos no blanco, incluido el humano. Asimismo, contribuyen económicamente el ejercicio agrícola, al disminuir los gastos asociados a la utilización de estos productos. El éxito de la ingeniería genética de plantas en los principales cultivos como el maíz, la soya, la colza y el algodón, para los cuales las plantas transgénicas han resuelto temporalmente el problema de la susceptibilidad a las plagas de lepidópteros, es innegable (ISAAA, 2016). Desarrollos científicos en este aspecto, han conducido al fortalecimiento bioeconómico del sector agrícola. Para mencionar, científicos del Instituto de Genética y Biología del Desarrollo de la Academia Nacional de Ciencias en China, han logrado aumentar la tolerancia a plagas en el cultivo de algodón, mediante modificaciones genéticas que han llevado a la expresión en plantas de RNA de doble cadena (dsRNA) que interfiere el metabolismo de la hormona juvenil (JH) en *Helicoverpa armiguera* (un insecto del orden Lepidóptero), el cual es plaga limitante del algodón y otros cultivos agrícolas. De igual forma, la expresión en simultáneo en las plantas de algodón, de proteínas Cry de *Bacillus thuringiensis* (bacteria biocontroladora de insectos), lo que han denominado, como algodón transgénico de próxima generación (Ni et al., 2017).

Datos puntuales sobre el uso de la biotecnología y su impacto en el desarrollo bioeconómico de la agricultura son apreciables, incluso en Colombia. En Colombia se ha usado y cultivado maíz genéticamente modificado tolerante a insectos desde el año 2007. Su éxito en adopción y beneficios ha sido tal, que al llegar al año 2015, las semillas de maíz con esta biotecnología lograron el 14% del área sembrada nacional (con 68,620 ha). Con base en un estudio científico desarrollado (Méndez, Chaparro Giraldo, Moreno, & Castro, 2011), se demostró los impactos del uso de esta tecnología en una pequeña región (Valle de San Juan, Tolima), en la cual, la ganancia en rendimiento promedio fue de +22% y un ahorro neto de alrededor de US\$6/ha, obtenidos por el uso de semilla “premium” (costo de US\$47/ha) frente al uso de insecticidas (costo aproximado de US\$53/ha). Incluyendo la ganancia en rendimiento, el aumento promedio en el ingreso agrícola en 2015 fue de US\$305/ha. Analizando el impacto más allá del valle de San Juan, a otras regiones de Colombia, con la totalidad del área de maíz genéticamente modificado tolerante a insectos en 2015, esto equivale a una ganancia neta de ingresos agrícolas de US\$20.9 millones. Acumulativamente, desde 2007 el aumento neto del ingreso agrícola ha sido de aproximadamente US\$103.4 millones.

- *Tolerancia a estrés abiótico en los cultivos*

Factores como las variaciones extremas en las temperaturas, en las precipitaciones, el viento y los materiales presentes o ausentes en el suelo, son considerados, entre otros, factores abióticos que limitan o favorecen la productividad en el cultivo. Los desafíos del estrés abiótico en el crecimiento y desarrollo de las plantas son evidentes entre los impactos





ecológicos emergentes del cambio climático (Bellard, Bertelsmeier, Leadley, Thuiller, & Courchamp, 2012) y las limitaciones a la producción de cultivos que se ha acrecentado con la creciente población humana compitiendo por recursos naturales. Se predice que el cambio climático afectará más a la producción agrícola, principalmente a bajas latitudes pobladas por países en desarrollo, con efectos adversos del aumento de gases efecto invernadero y los aumentos en la temperatura, desafiando a los investigadores a diseñar estrategias de adaptación en los cultivos agrícolas (Rosenzweig et al., 2014).

Es aquí donde hay una oportunidad y necesidad de investigar e innovar para afrontar los desafíos, oportunidades que provendrán de análisis genómicos de genotipos tolerantes al estrés climático en múltiples especies vegetales, los cuales probablemente revelarán nuevos genes con la tolerancia a este factor abiótico y mecanismos selectivos en poblaciones naturales. Las tecnologías de soporte de la secuenciación de próxima generación para estudios de asociación del genoma completo (en inglés, GWAS – Genome-Wide Association Study) (Lee et al., 2015), están disponibles en muchas especies vegetales y gran parte de la investigación se ha venido concentrando en esta área para la tolerancia al estrés (Pereira, 2016). Por lo tanto, este es un área para descubrimientos futuros que revelará la evolución de diversos mecanismos de tolerancia al estrés que podrían ser valiosos para el diseño de estrategias de mejora de cultivos, incluidos los desafíos del cambio climático. Recientemente, científicos de la Universidad de Tokio en Japón, han logrado desarrollar plantas genéticamente modificadas que sobre-expresan dos factores de transcripción (DREB1A y OsPIL1), que regulan la expresión de genes involucrados con el estrés hídrico en las plantas, y por lo tanto, mejoran la tolerancia a sequía (Kudo et al., 2017). Asimismo, científicos de la Academia Nacional de Ciencias en China, han logrado sobreexpresar el gen PtSOS2 para mejorar la tolerancia a estrés salino en cultivos vegetales (Yang et al., 2015), lo cual provee las bases para el desarrollo de nuevas variedades vegetales con tolerancia a factores abióticos limitantes.

2.4. Oportunidad de Innovación: Desarrollo de Biorrefinerías

La biomasa es la materia viva presente en la biosfera, considerada un recurso muy variado debido a su producción y origen, lo que influye directamente en sus características físicas y químicas. La biomasa es considerada esencial para mantener el equilibrio ecológico y permite enriquecer y conservar la diversidad biológica y el suelo. A partir de ese fundamento, es importante considerar que la agricultura es una actividad antropogénica que genera cantidades considerables de biomasa residual, la cual hace referencia a los subproductos derivados de las transformaciones naturales o industriales que se llevan a cabo en la materia orgánica. A partir del uso sostenible de la biomasa residual, se puede emprender el desarrollo de biorrefinerías, entendidas como sistemas que integran los procesos de conversión de la biomasa para producir combustibles, energía y productos químicos (Ramirez, Arevalo, & Garcia-Nuñez, 2015). A continuación, se presenta, a manera de resumen, algunas iniciativas para el desarrollo de biorrefinerías en Colombia a partir del aprovechamiento de la plantas cultivables y biomasa residual generada en el sector agrícola y pecuario.

2.4.1 Biocombustibles a partir de plantas cultivables.

Tal como se mencionó en el contexto inicial, existe una clara necesidad de generar combustibles que provengan de fuentes diferentes a los fósiles (carbón, petróleo y gas). Actualmente, cerca de 80 % del consumo mundial de energía se origina de esas fuentes, consumo que presentaba un crecimiento anual de cerca de 2 % (media en 20 años), y que





en los últimos años creció en media 3,1 % anualmente (Delgado, Salgado, Perez, & Eduardo, 2015). El Gobierno nacional, mediante la expedición de la Ley 693 de 12 de septiembre de 2001, estableció que, a partir del año 2005, la gasolina colombiana debería tener elementos oxigenados que disminuyeran las emisiones nocivas para el ambiente, con el uso de una mezcla de 90 % gasolina y 10 % etanol. Asimismo, el Decreto 2629 de julio de 2007 ha promovido el uso de biocombustibles, lo que ha llevado a implementar desarrollos biotecnológicos. Actualmente el alcohol carburante producido en Colombia proviene exclusivamente del procesamiento de caña de azúcar del valle geográfico del río Cauca, región que permite colecta y molienda de caña de azúcar durante todo el año, lo cual la ubica como una de las mejores regiones del planeta para producción de caña de azúcar, por sus condiciones agro-ecológicas. En consecuencia, en la actualidad Colombia cuenta con 14 ingenios azucareros, y 6 plantas de bioetanol con capacidad de producir 456 millones de litros de etanol por año a partir del uso de la caña de azúcar (ASOCAÑA, 2018). Por otro lado, acorde a la información suministrada por la Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia, a Marzo de 2018 hay 6 plantas de biodiésel en funcionamiento, las cuales en conjunto tienen una capacidad de producción de 506 mil toneladas por año, que provienen de 512 mil hectáreas de palma de aceite sembradas, generando en todo el proceso productivo más de 16 mil empleos directos y 32 mil empleos indirectos (FedeBiocombustibles, 2018).

Es importante resaltar que Colombia sobrepasa en disponibilidad de tierras (en 5 veces) a los países de mayor producción mundial de aceite de palma, como Malasia, quien enfrenta una saturación de tierras impidiendo el desarrollo de nuevos proyectos e incremento de la inversión inicial. Lo anterior claramente es una ventaja competitiva para tener en cuenta.

2.4.2. Producción de energía a partir de biomasa residual

El incremento del consumo energético mundial de los últimos años, el interés por reducir la dependencia del petróleo por parte de los países importadores y la necesidad de disminuir los problemas ambientales asociados con el uso de los combustibles fósiles, ha direccionado los esfuerzos de las empresas, el gobierno y la academia hacia el estudio de los potenciales de fuentes alternativas y renovables de energía. El reporte del Ministerio de Minas y Energía sobre el Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia ha indicado los usos potenciales de toda la posible biomasa generada en el país como fuente alternativa de energía y sus posibles esquemas tecnológicos de aprovechamiento (Ministerio de Minas y Energía, 2010). Los subproductos derivados de las transformaciones naturales o industriales que se llevan a cabo en la materia orgánica, generando biomasa residual, son muy valiosos. Algunos ejemplos son residuos de cosechas, podas de pastos, efluentes ganaderos, entre otros. A partir del estudio citado, se concluyó que en Colombia hay una biomasa residual en el Sector Agrícola de 71'943.812 Tn/año, desglosada de la siguiente manera (Tabla 2):

Tabla 4: Producción anual promedio de biomasa residual por cultivo agrícola

Cultivo	Producción (Tn/año)	Tipo de residuo	Masa de residuo (Tn/año)
Palma de aceite	872,117	Cuesco	189,074
		Fibra	546,381





		Raquis de Palma	924,618
Caña de azúcar	2,615,251	Hojas	8,525,718
		Bagazo	7,008,873
Caña panelera	1,514,878	Hojas	5,680,790
		Bagazo	3,832,640
Café	942,327	Pulpa	2,008,192
		Cisco	193,460
		Tallos	2,849,596
Maíz	1,368,996	Rastrojo	1,278,642
		Tusa	369,629
		Capacho	288,858
Arroz	2,463,689	Tamo	5,789,669
		Cascarilla	492,738
Banano	1,878,194	Raquis banano	1,878,194
		Vástago banano	9,390,968
		banano de rechazo	281,729
Plátano	3,319,357	Raquis de plátano	3,319,357
		Vástago de plátano	16,596,783
		Plátano de rechazo	497,903
Total	14,974,809		71,943,812

Es evidente el potencial de utilización de la biomasa, pues frente a las cerca de 15 toneladas de productos obtenidos y comercializados de los cultivos banano, plátano, café, arroz, caña, palma de aceite y maíz, existen 72 toneladas aproximadas de biomasa residual con potencial de ser aprovechados. Así mismo, respecto al sector pecuario, se generan en biomasa residual 105'418.066 Tn/año, equivalentes a 117.747,70 TJ/año. Lo anterior, acorde a los siguientes subsectores: Bovino: 99'168.607 Tn/año; Porcino: 2'803.111 Tn/año; y Avícola: 3'446.347 Tn/año.

El mismo estudio del Ministerio de Minas y Energía, demuestra que el potencial energético de la biomasa residual, por tipo de sector medida en Tera Joules por año (TJ/año), teniendo en cuenta que 1kWhr es igual a $3,6 \times 10^6$ J (Ministerio de Minas y Energía, 2010) (Tabla 3):

Tabla 5: Potencial energético de la biomasa residual

Sector	TJ/año bioenergía
Agrícola	11.657,07
Pecuario	117.747,90





2.4.3. Producción de bioproductos a partir de la biomasa

Se ha demostrado que es completamente posible producir metabolitos de interés para las industrias, a partir de la biomasa generada de las plantas. En la tabla 4 se presenta un resumen de la estrategia de aprovechamiento de la biomasa residual derivada de las plantas de beneficio de aceite de palma, para el desarrollo de biorrefinerías y obtención de bioproductos de diversa índole.

Tabla 6: Diversas alternativas para el uso de la biomasa de la palma. Desde las plantas de beneficio de aceite de palma hacia el desarrollo de biorrefinerías. Fuente: (García-Pérez & García-Núñez, 2013)

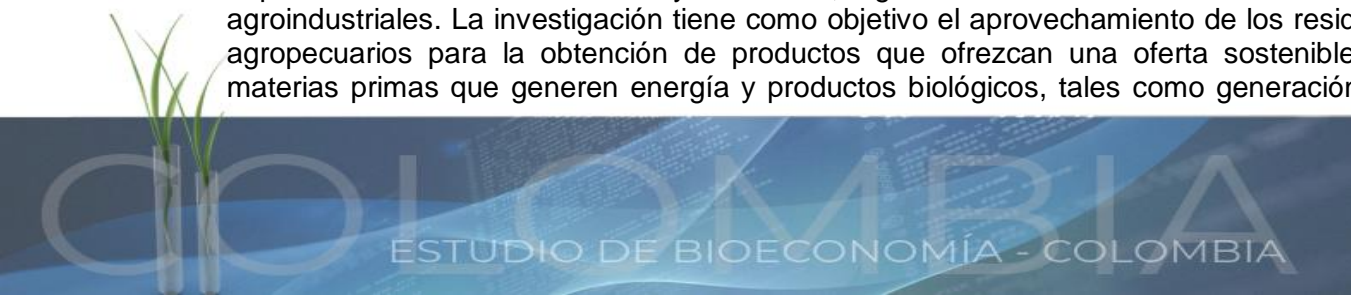
Biomasa	Ruta	Procesos		Productos
Tusa Fibra Cuesco POME	Biológico	Fermentación alcohólica		Etanol, hidrógeno, azúcares, compostaje, productos químicos, captura de CO ₂
		Digestión Anaeróbica		
	Físico y Químico	Secado		Celulosa, pellets, aditivos plásticos, materiales, aislantes, leña-briqueta, aglomerados, papel
		Molienda		
		Compactación		
		Despulpado		
	Térmico	Combustión	Calor	Energía, biocarbón, carbón activado, hidrógeno, combustibles, productos químicos
		Gasificación	Gas	
		Prirólisis	Sólido	
		Licuefacción	Líquido	

De igual forma, se ha demostrado la producción de quitina, mediante digestión anaeróbica, electrocoagulación y fermentación fúngica de la biomasa residual pecuaria (Liu, Liao, & Liu, 2016), lo cual refleja un enorme potencial para el sector pecuario en Colombia.

Es fundamental que los centros de investigación y desarrollo tecnológico y las universidades, esencialmente, como actores generadores de conocimiento, emprendan con otros subsectores (cacao, arroz, café, frutales, hortalizas, avícola, porcino, otros) el camino de las biorrefinerías que se ha adelantado con la caña y la palma. Esto con objeto de aprovechar la biomasa con fines de desarrollo de productos útiles a la sociedad. De esta manera, el sector Agrícola y Pecuario podrá crecer de manera sostenible y unificado hacia todas las regiones del país.

2.4.4 Ejemplo de iniciativa en curso: residuos agropecuarios para generar energía

Investigadores de las universidades Santo Tomás, EAN y Cooperativa de Colombia, lograron la financiación por parte de Colciencias en la convocatoria 745 de 2016, del proyecto de investigación denominado “Evaluación de rutas de aprovechamiento de biomasa residual bajo el esquema de biorrefinerías”. Este proyecto se ejecutará en los departamentos de Cundinamarca y Santander, regiones donde se estudiarán los residuos agroindustriales. La investigación tiene como objetivo el aprovechamiento de los residuos agropecuarios para la obtención de productos que ofrezcan una oferta sostenible de materias primas que generen energía y productos biológicos, tales como generación de





biogás e hidrógeno. De esta manera, se logrará prevenir y disminuir el impacto ambiental por estos desechos, y además se podrá darle un uso efectivo que traerá grandes beneficios para el sector agrario.

2.5. Oportunidad de Innovación: Mejoramiento genético animal

Se ha determinado que el mejoramiento genético histórico en rasgos seleccionados (por ejemplo, producción de leche / carne, eficiencia de crecimiento) ha resultado en una reducción del 1% por año, de las emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de alimento producido (por ejemplo, una tonelada de carne de res o de carne de oveja) (Gill, Smith, & Wilkinson, 2010). Asimismo, se ha determinado que la huella ambiental de la producción lechera ha cambiado significativamente. Por ejemplo, solo en Estados Unidos, entre 1944 y 2007, a pesar que la huella de carbono por unidad de vaca aumentó con el tiempo, la huella de carbono por unidad de leche fue 63% menor en 2007 de lo que era en 1944, todo gracias a la tecnología involucrada en el proceso productivo (Capper, Cady, & Bauman, 2009).

Muchas y diferentes especies animales han sido genéticamente modificadas usando técnicas biotecnológicas y adicionalmente, han sido aprobados con fines biomédicos y pecuarios. Entre los ejemplos de interés para la agricultura se incluyen: Salmón que expresa la proteína wfiAFP-6 que le brinda tolerancia al frío; pollos que expresan la glicoproteína alv6, que le brinda resistencia a enfermedad viral; los cerdos y tilapias con expresión de “fitasa”, una proteína que les brinda mayor capacidad de utilizar harina de soya y que a su vez reducen la excreción de fósforo; bagre y carpa con mayor resistencia a las enfermedades bacterianas gracias a la expresión de lactoferrina humana; ganado editado genéticamente para evitar la expresión de la proteína prionica PrP, que le confiere mejoramiento en la salud animal; ganado que expresa en la leche proteínas/metabolitos de interés humano, tales como alpha-caseína, beta-caseína, omega-3; los conejos que producen RuconestTM (Rhucin1 fuera de la UE); pollos que producen KanumaTM (lipasa alfa). Adicionalmente, y con fines de protección en salud, se han realizado desarrollos y liberación de insectos genéticamente modificados para el control de plagas y vectores de enfermedades. Solo un solo animal transgénico, el salmón atlántico AquAdvantage de rápido crecimiento, ha sido aprobado por la FDA (en inglés, Food and Drug Administration) con fines alimenticios (Van Eenennaam, 2017).

Todo lo anterior implica una serie de oportunidades en las cuales Colombia, puede lograr grandes desarrollos. Sin lugar a dudas, esto conlleva a la generación de industrias o por lo menos, la obtención de productos biotecnológicos que se transfieran (y que generen regalías) a compañías internacionales para comercializarlos.

2.6. Oportunidad de Innovación: Fitorremediación

La biorremediación es definida como la tecnología que emplea diferentes organismos (plantas, hongos, bacterias y levaduras) para transformar contaminantes presentes en suelo o agua, tales como hidrocarburos, metales pesados, compuestos nitroaromáticos entre otros (Hussain, Siddique, Arshad, & Saleem, 2009). Dentro de la biorremediación, la fitorremediación aparece como una alternativa eficiente, económica y ambientalmente amigable como estrategia de rehabilitación ecológica (Joner & Leyval, 2003), que implica el uso de plantas para eliminar, desintoxicar y contener tanto contaminantes orgánicos como inorgánicos, especialmente del suelo, que beneficia la estabilización del suelo, aumenta la producción de biomasa con fines de generación de biocombustible y una excelente estrategia para incrementar el secuestro de carbono. Asimismo, las plantas





biorremediadoras mantienen la estructura superior del suelo, mejorando su utilidad y aumentado su fertilidad, eslabón esencial para el desarrollo de la agricultura (Wang, Ji, Hu, Liu, & Sun, 2017). La tabla 5 muestra algunas innovaciones en el sector agrícola y pecuario.

Tabla 7: Innovaciones en el sector agrícola y pecuario

Tendencias de consumo	Aplicaciones de la biotecnología	Herramientas biotecnológicas
<ul style="list-style-type: none"> • Una agricultura y ganadería más productiva, más sostenible y más saludable. • Producción más limpia u orgánica • Control biológico de plagas y enfermedades • Bioinsumos agrícolas (Biofungicidas, biopesticidas, biofertilizantes) • Agricultura urbana • Agricultura de precisión • Big data para la agronomía • Nuevas variedades • Material de siembra élite • Mejoramiento de la calidad nutricional • Biorrefinerías • Producción de bioactivos para la industria. • Energía a partir de biomasa residual. • Cadenas y modelos de negocios sostenibles. • Sistemas de trazabilidad • Certificaciones especializadas. • Mitigación de gases efecto invernadero. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de nuevas variedades (más nutritivas, resistentes a factores bióticos y abióticos) • Biofertilizantes para nutrición vegetal • Biofungicidas y biopesticidas para sanidad vegetal • Biorremediación de suelos degradados por abuso de agroquímicos • Propagación de material elite y clonación. • Bioinformática • Bancos de germoplasma • Diagnóstico de enfermedades • Nutrición animal • Mejoramiento genético animal (calidad de carne, producción de fármacos, tolerancia a patógenos) • Incremento de la producción avícola y ganadera. • Neutralizadores de olores en producciones avícolas, porcinas, equinas, ganaderas, etc. • Bioprospección de microorganismos, hongos, algas, plantas nativas, entre otros, para aplicaciones en la industria • Extracción de ingredientes naturales y bioactivos. • Valorización de biomasa residual agropecuaria para nuevos bioproductos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ómicas (Genómica, Transcriptómica, Proteómica, Metabolómica) • Biología molecular • Ingeniería Genética (GMO, Edición genética). • Biología sintética • Marcadores moleculares • Ciencias computacionales • Criopreservación • Embriogénesis somática • Cultivos celulares • Fertilización de embriones <i>in vitro</i> • Bancos de germoplasma • Bioprospección • Extracción de ingredientes y bioactivos • Fermentación • Procesos enzimáticos
Cifras del Mercado	Empresas destacadas en el mundo	Empresas destacadas en Colombia
<p>El mercado de los biofertilizantes a nivel mundial tiene un estimado al 2018 de U\$10,2 bn y tasas de crecimiento del 14,07 %.</p> <p>El mercado del material de siembra a nivel mundial tiene un estimado al 2018 de USD 85,23 millardos y tasas de crecimiento del 12,1 %.</p>	<p>Bayer cropscience, Dupont Griffin llc, Syngenta, Basf, Monsanto, Dow agro sciences, Arysta, entre otras</p>	<p>Ecoflora Agro, Biodefensas agrícolas, LST, Bichopolis, Abonamos, Biocultivos, Semillas arroyave, CGR Biotecnología Reproductiva, Biotegan, Vecol, Bioganar, entre otras.</p>

Fuente: Elaboración propia a partir de análisis de información.





3. FACTORES CRITICOS

A continuación, se realiza un análisis de las principales barreras para desarrollar las innovaciones en la bioeconomía en 7 dimensiones: tecnología, regulación, mercado, talento humano, financiación e inversión, ambiental, e infraestructura.

3.1. Dimensión Tecnológica

En este aparte se incluye el análisis del sector desde la dimensión tecnológica asociada a la bioeconomía destacando las principales barreras relacionadas con capacidades en i+d+i. A continuación, se presentan las principales barreras o limitaciones en esta dimensión, que impiden el desarrollo bioeconómico del sector agrícola y pecuario.

- Hay tecnologías en grado de maduración TRL 3 y TRL 4, desarrolladas por la academia y en general por los centros de investigación o empresas, pero hace falta madurarlas. Generalmente, y asociado a las barreras regulatorias, ambientales, y financieras, las tecnologías mencionadas se quedan en la “fase de investigación”, y por lo tanto, no alcanzan a superar los estándares nacionales o internacionales (no se supera el valle de la muerte).
- Hay un fuerte desinterés de las empresas por conocer y sobre todo adquirir los desarrollos biotecnológicos. Eso contribuye a que los desarrollos TRL 3 y TRL 4 no suban en grado de maduración y, por lo tanto, se usen. Se debe reconocer que son finalmente las empresas quienes motivan a los grupos y centros de investigación a que generen conocimiento, desarrollos y generen la base del desarrollo bioeconómico.
- Incipientes mecanismos para la óptima transferencia de tecnologías, desde los centros de investigación y universidades a las empresas del sector público y privado.
- Debido a la baja y desigual infraestructura tecnológica en muchas regiones del país, lo que dificulta la conectividad rural e imposibilita el acceso al conocimiento de vanguardia. Asimismo, se impide el acceso a la comunicación con las instituciones a nivel mundial.
- Escaso nivel de tecnologías de precisión que potencien el desarrollo agrícola y pecuario de las regiones, y por lo tanto, impidan el desarrollo de productos apetecidos por los mercados nacionales e internacionales.
- Los impuestos asociados a la importación y comercialización de insumos y equipos necesarios para la ejecución de la investigación y desarrollo de productos biotecnológicos, sumado a la escasez de financiación pública o privada, dificulta en gran parte la generación de productos y servicios que permitan el desarrollo bioeconómico del país, en consecuencia, de los altos costos del quehacer en I+D+I.
- Hay una gran cantidad de retos tecnológicos asociados al funcionamiento del sector agrícola y pecuario. Sin embargo, la escasa planificación estatal y privada para atender las necesidades del sector, hace que se soliciten soluciones biotecnológicas con una mínima ventana de tiempo, lo cual impide la asertiva respuesta de los desarrolladores, teniendo en cuenta las múltiples barreras en las siete dimensiones aquí planteadas.
- Para el sector agrícola y pecuario, hay un aumento progresivo de requerimiento de productos de alta calidad por parte de los consumidores, con amplios sectores del mercado que exigen productos certificados o acreditados. Debido a la escasez de laboratorios especializados en el país, que certifiquen o acrediten los bioproductos generados, hay una barrera significativa que impide la satisfacción de las demandas establecidas. Incluso, limita el acceso a mercados internacionales.





3.2. Dimensión Regulatoria

En este aparte se incluye el análisis del sector desde la dimensión regulatoria, destacando la regulación existente y las principales barreras relacionadas con vacíos, obstáculos, entre otros, para el uso y comercialización de nuevos productos y tecnologías de la bioeconomía.

- El marco regulatorio colombiano derivado de sus dependencias administrativas (ambiente, agricultura, interior, protección social, salud) es homologado internacionalmente para nuevos negocios de la bioeconomía, como consecuencia de los convenios internacionales que los gobernantes colombianos han firmado y que buscan integrar la economía del país en escenarios multilaterales. Sin embargo, varios procesos normativos están pendientes de actualización, como por ejemplo, el uso de plantas editadas genéticamente.
- La regulación colombiana referente al acceso a los recursos biológicos y genéticos de la biodiversidad colombiana, dificulta a los investigadores el acceso a los recursos biológicos de la nación, y más aún, si se trata de acceder a ellos con fines de comercialización.
- El país cuenta con normatividad específica para bioseguridad de OGM y sus productos derivados para producción de alimentos para el consumo humano desde 1996 a través de reglamentación expedida por el Ministerio de Salud y aplicada por el INVIMA, y para las áreas agrícola y pecuaria desde 1998 donde se designó al Instituto Colombiano Agropecuario, ICA del Ministerio de Agricultura como autoridad competente para los procedimientos relacionados con la introducción, producción, liberación y comercialización de Organismos Genéticamente Modificados (OGM) de uso agrícola y pecuario. En consecuencia, el Sistema Nacional de Bioseguridad de OGM en Colombia es sólido y consistente con los avances científicos y jurídicos, sin embargo, es una normativa exigente que impide la maduración de los productos biotecnológicos concebidos localmente, dada la exigencia en ejecución de pruebas tediosas, pero sobre todo costosas, que termina favoreciendo el ingreso de productos desarrollados por compañías internacionales (por tener mayor músculo financiero), y desfavoreciendo la consolidación de empresas nacionales, genera por lo tanto, un impacto social negativo.
- Hay carencia de incentivos tributarios para las empresas del sector agrícola y pecuario, que motive la incorporación, uso y comercialización de productos derivados de la bioeconomía.
- En muchos niveles e instituciones gubernamentales cuya función es regular, vigilar y controlar, hay una normativa para investigar, desarrollar, usar y comercializar productos derivados de la biodiversidad. Sin embargo, hay ambigüedad en gran parte de la normativa, lo que conlleva a realizar análisis “caso a caso”. Esto desestimula y encarece los desarrollos, por la cantidad de recursos financieros y el tiempo que debe invertirse para ello.
- Como posible causa de lo anterior, se evidencian débiles procesos de divulgación para los investigadores, la academia, lo empresarios e incluso, para los consumidores, de las normas técnicas o del marco regulatorio nacional e internacional.
- Aún no se fortalecen las estrategias del gobierno y de las empresas, para estimular la protección intelectual de los desarrollos derivados de la biotecnología y en general de la bioeconomía, que brinden una ventaja competitiva a las empresas e instituciones en general, que usen productos, metodologías o servicios derivados de la biodiversidad o del aprovechamiento sostenible de la biomasa residual.
- La orientación estratégica proporcionada a la política agrícola durante los últimos 20 años se centró en aumentar la producción agrícola y su competitividad,





especialmente mediante el apoyo proporcionado a la agroindustria. Sin embargo, las orientaciones proporcionadas por estos documentos estratégicos no se reflejaron en los instrumentos de implementación de las políticas, los cuales se centraron fundamentalmente en la protección y regulación a las importaciones y en subsidios a los insumos variables de los agricultores.

3.3. Dimensión de Mercado

En esta dimensión se plantean las siguientes barreras como limitantes para el acceso al mercado de nuevos productos y tecnologías de la bioeconomía.

- Desde la academia y los centros de investigación, se requiere aumentar y fortalecer los procesos de difusión social del conocimiento generado, así como de los beneficios, utilidades, tendencias mundiales, entre otros, de los desarrollos biotecnológicos, y en general de los productos de base natural que provienen de los organismos vivos o de la biomasa residual aprovechada. Todo lo anterior, dirigido a la capacitación de empresarios o funcionarios de entidades gubernamentales.
- Aun así, en caso de conocer los avances científicos, la base empresarial no incorpora de manera significativa los desarrollos biotecnológicos o los conocimientos derivados del uso sostenible de la biodiversidad, en la generación de su portafolio de productos o servicios.
- De igual forma, no se han implementado programas de reemplazo o sustitución gradual de los productos de base petroquímica (o productos sintéticos) por productos naturales, sostenibles, entendidos como recursos biológicos, sus derivados o que provengan del aprovechamiento de la biomasa residual (productos biotecnológicos en general).
- Los requisitos técnicos del mercado, muchas veces desorbitados por el nivel de exigencia de los consumidores, impiden el ingreso y aprovechamiento de los productos biotecnológicos.
- Relacionado con el punto inmediatamente anterior, se han aumentado las barreras internacionales para la comercialización de productos biotecnológicos promovidos por la bioeconomía de las naciones, por el mismo desconocimiento de los gobiernos y en especial de los consumidores, quienes han incrementado el nivel de exigencia para la determinación de riesgos asociados al uso de las tecnologías, lo que aumenta los requerimientos técnicos y las pruebas a las que los productos de origen bioeconómico deben someterse, llevando a restricciones de la comercialización de los mismos.

3.4. Dimensión de Talento Humano

En la dimensión de talento humano se incluye el análisis del sector agrícola y pecuario desde las capacidades nacionales de investigación, las capacidades laborales, de absorción del talento humano, de liderazgo y de formación educativa. A continuación se destacan las barreras del sector relacionadas con debilidades de formación, vacíos, obstáculos para dinamizar la bioeconomía.

- Para el sector agrícola y pecuario, es fundamental mejorar la oferta de personal calificado que contribuya a la generación de un sistema de innovación. Esto comprende profesionales especializados en valorar tecnologías, confrontarlas desde el punto de vista de propiedad intelectual, negociarlas y sobre todo potenciar su transferencia a las empresas para su utilización y aprovechamiento comercial.
- Se debe promover la educación y formación en el ámbito agrícola, mejorando la prestación de asistencia técnica a los productores.





- Los servicios de asistencia técnica se han reformado en los últimos años, pero siguen siendo fragmentados. No existe un marco integral que pueda garantizar la adecuada coordinación de los esfuerzos, que mejore la participación y los intercambios de información y que al mismo tiempo aborde los problemas territoriales. Hay un plan general de asistencia técnica rural (PGAT) que debería mejorar la coordinación de los servicios de asistencia técnica entre las distintas regiones.
- La oferta de programas académicos relacionados con el sector agrícola y pecuario, por parte de las universidades y en general centros de educación media y superior, es muy tradicional. Se debe incentivar la actualización curricular que fomente la formación de talento humano que genere conocimiento de alto nivel, pero sobre todo innovación en el uso tecnológico y sostenible de los recursos de la biodiversidad, sus derivados y la biomasa residual, y así, impactar el sector agropecuario y promover desarrollo.
- Hay bajos niveles de vinculación (inserción) de doctores (PhD) en las empresas del sector agrícola y pecuario, lo que redundará en escasez de innovación y desarrollo de productos tecnológicos de primer nivel que aumente la competitividad de las empresas.
- La bioeconomía a nivel mundial se ha venido liderando por los países desarrollados. En ese sentido, es fundamental el relacionamiento de los científicos, empresarios y administradores de todas las instituciones vinculadas con el sector agrícola y pecuario, con sus pares internacionales. Actualmente, y posiblemente limitados por la capacidad financiera, hay un bajo nivel de relacionamiento internacional de las instituciones, lo que dificulta la adquisición de capacidades (científicas e innovadoras) en el entorno y en general, la potencialización del desarrollo bioeconómico en el sector.
- Falta de inclusión social, en particular de las agremiaciones, asociaciones y en general comunidades, en las políticas de desarrollo económico del país. Para el desarrollo del capítulo bioeconómico, pensando en el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos que impliquen acceso a recursos biológicos sin demasiada tecnología (p.e. ecoturismo científico), es fundamental contemplar la capacidad social, no solo por el conocimiento de los territorios, sino además, para generar apropiación, cultura y protección sostenible de los biorecursos y sin lugar a dudas, desarrollo de las regiones

3.5. Dimensión de financiación e inversión

En la dimensión de financiación e inversión se incluye el análisis del sector, relacionada con instrumentos existentes para dinamizar este sector, así como músculo privado para soportar proyectos, desarrollo de negocios y capitalización. A continuación se presentan las principales barreras o limitaciones en esta dimensión, que impiden el desarrollo bioeconómico del sector agrícola y pecuario.

- El sector agrícola ha padecido las consecuencias de políticas deficientes y enfrenta importantes desafíos estructurales. Durante muchos años, los gobiernos de Colombia no han invertido lo suficiente en los servicios y bienes públicos que habrían permitido al sector agrícola aprovechar su potencial económico (OCDE, 2015).
- La escasez de inversiones, junto con la deficiente gestión de la tierra, el escaso éxito de las reformas del sistema de tenencia de la tierra y un conflicto interno que se ha prolongado desde hace décadas (estrechamente relacionado con el tráfico de





drogas), han afectado profundamente a la evolución y el desempeño del sector agrícola en Colombia.

- En la actualidad, el apoyo proporcionado a los productores agrícolas genera enormes distorsiones, al tiempo que se han desatendido los servicios generales necesarios para el sector agrícola. Determinadas áreas críticas – como las infraestructuras, la investigación y el desarrollo (I+D) agrícola, la transferencia de conocimientos agrícolas y la reestructuración de explotaciones agrícolas – siguen recibiendo un apoyo financiero muy escaso o inexistente, si bien en la década actual la I+D agrícola ha recibido financiación adicional.
- Las respuestas a corto plazo a los problemas afrontados por los productores agrícolas han agotado los escasos recursos económicos disponibles para desarrollar un entorno habilitador para un crecimiento agrícola más incluyente y sostenible.
- A principios de la década pasada, la política agrícola se centró en desarrollar la competitividad de diversas cadenas productivas, pero los instrumentos de política implementados siguieron sin poder abordar adecuadamente los verdaderos desafíos estructurales a los que se enfrenta el sector.
- El sector público sigue siendo la principal fuente de financiación para el I+D agrícola, sin importar si estos son ejecutados por organizaciones públicas o privadas. Sin embargo, esto puede ser coherente con el histórico del PIB del Sector Agrícola y Pecuario (Ver Figura 1).
- No hay incentivos tributarios que estimulen a las organizaciones de carácter privado, a financiar los desarrollos biotecnológicos y por ende, la apropiación de los mismos.
- No existe un portafolio de productos biotecnológicos derivado de los centros de investigación, universidades y empresas generadoras de conocimiento y servicios o productos derivados del uso sostenible de la biodiversidad, que incentive la financiación pública o privada hacia la apropiación de los mismos.

3.6. Dimensión de Ambiental

La dimensión ambiental pretende interiorizar los impactos ambientales positivos y negativos al análisis sectorial de la bioeconomía nacional. En este aparte se presentan las principales barreras o limitaciones en esta dimensión, que impiden el desarrollo bioeconómico del sector agrícola y pecuario.

- Acceso a la biodiversidad, a las especies nativas y silvestres presentes en los ecosistemas colombianos, por parte de la comunidad científica del país.
- Desde el sentido anterior, hay una carencia de información detallada del potencial genético de la biodiversidad colombiana, lo cual es base fundamental para el desarrollo biotecnológico del país.
- La industria en general no realiza un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Hay alta demanda de prácticas inadecuadas que conllevan a la contaminación de los ecosistemas y por ende, al agotamiento de los recursos naturales.
- Disminución gradual de la disponibilidad y calidad de recursos, tales como agua y suelos, que permitan el desarrollo de proyectos productivos.
- No se ha valorado los servicios ecosistémicos y su contribución a la generación de una bioeconomía en Colombia, y mucho menos a nivel regional. En particular, se conoce muy poco sobre la valoración económica de las especies (recursos naturales), bajo el marco de su utilización sostenible (valoración económica de biorecursos).





3.7. Dimensión de Infraestructura

En esta sección se incluye el análisis del sector desde la dimensión de infraestructura asociada a la bioeconomía, destacando las principales barreras relacionadas con plataformas institucionales, infraestructura tecnológica, acceso a tecnología avanzada, entre otras. A continuación, se presentan las principales barreras o limitaciones en esta dimensión, que impiden el desarrollo bioeconómico del sector agrícola y pecuario.

- A pesar de los esfuerzos gubernamentales en los últimos años dirigidos a mejorar y ampliar la cobertura de la infraestructura económica, principalmente vías de comunicación, Colombia presenta grandes limitaciones para garantizar el acceso de sus productos agropecuarios y agroindustriales a los mercados nacionales e internacionales en condiciones adecuadas de oportunidad y costo.
- Uno de los principales problemas respecto a la infraestructura del sector agropecuario, es la escasa adopción de la innovación por parte de los productores. Este fenómeno sucede por el desfavorable entorno estructural y de políticas, y la insuficiente capacidad para absorber innovaciones que puede que no estén adaptadas para los contextos regionales y agrícolas a pequeña escala.
- No hay apoyo a la inversión que facilite la adopción de las innovaciones, y cuando se realiza, se dirige a programas enfocados específicamente a unidades productivas de pequeñas dimensiones.
- Hay carencia de infraestructura y centros de secuenciación de genomas, transcriptomas y proteomas, que usen tecnologías de última generación y así facilitar el conocimiento y acceso a los recursos biológicos y genéticos de la biodiversidad en Colombia. En la actualidad, se debe acceder a plataformas (facilities) de secuenciación internacionales, lo cual, asociado a la normativa colombiana vigente, cada vez es más complicado. Y aun si se pudiera, realmente fomenta la pérdida de los biorecursos del país.
- Escasa capacidad de supercómputo en las instituciones del país.
- La banda ancha usada en las universidades, centros de investigación e instituciones públicas y privadas del país, limitan la capacidad de conexión con las pocas supercomputadoras existentes, y aun su lo hicieran, la banda ancha limita la capacidad de análisis de grandes cantidades de datos que provengan de la biodiversidad de Colombia.
- La infraestructura biotecnológica para el escalado de bioinsumos y en general, para el desarrollo de prototipos generados por procesos de investigación, es baja. Esto limita la puesta a punto de productos comercializables.
- Implementar la política de desarrollo bioeconómico para Colombia, y en particular que impacte y promueva el crecimiento del sector agrícola y pecuario, requiere de instituciones que tengan capacidad generar conocimiento, productos y servicios, pero sobre todo con capacidad de liderar un ecosistema científico y social bioeconómico del sector. Aún es débil la presencia estatal y privada en las regiones rurales y en mayor medida, la infraestructura institucional que lidere la bioeconomía.

4. RESUMEN DE DIAGNOSTICO DEL SECTOR AGRÍCOLA Y PECUARIO

La seguridad alimentaria, la nutrición, el cambio climático, la presión por la pérdida de la biodiversidad, la disminución de área sembrada per cápita, el crecimiento de la población, el incremento de la esperanza de vida, entre otros, son algunos factores que han





influenciado fuertemente a que el sector agrícola y pecuario busque alternativas y soluciones que contribuyan a un mundo más sostenible. En Colombia, el sector agropecuario no es ajeno a estos condicionamientos, motivo por el cual se hace necesario repensar el modelo productivo e innovar a tal punto que el desarrollo del sector no avance en contravía de la sostenibilidad social, económica y ambiental.

Se ha considerado que la biotecnología posibilitará mejorar la productividad agrícola y pecuaria de una manera más sostenible, y cumplir así con la demanda de alimentos que requiere la población; por otra parte, abre escenarios propicios para la generación de nuevos negocios, y esta vez de alto valor agregado, basados en conocimiento e inclusión tecnológica que involucren los recursos biológicos y la biomasa residual generada por este sector.

Un informe publicado por PG Economics, reporta que en los últimos 20 años la biotecnología agrícola ha reducido significativamente el impacto ambiental de la agricultura y ha estimulado el crecimiento económico en los 26 países donde se utiliza esta tecnología. A partir de esos datos y enfocando en el modelo del país, en este informe se presentan los impactos sociales, económicos, ambientales, agronómicos y de contribución a la seguridad alimentaria que ha causado el uso de una bioeconomía basada en tecnología por países del primer mundo, así como por países en desarrollo. De igual forma, propone y detalla oportunidades de desarrollo para el sector, que permitirán hacia el 2030, potencializar a gran escala, el crecimiento y aporte en el PIB de Colombia. El análisis culmina con la presentación de algunas barreras limitantes, las cuales deberán ser enfrentadas buscando eliminar los obstáculos que inhiben las metas propuestas.





BIBLIOGRAFIA

- ASOCAÑA. (2018). Sector Agroindustrial de la Caña. Retrieved March 8, 2018, from <http://www.asocana.org/Default.aspx>
- Beck, J., Mahoney, N., Higbee, B., Gee, W., Baig, N., & Griffith, C. (2014). Semiochemicals to monitor insect pests - future opportunities for an effective host plant volatile blend to attract navel orangeworm in pistachio orchards. In ACS Symposium Series (Ed.), *Biopesticides: State of the Art and Future Opportunities* (pp. 191–20). Washington, DC: U.S.: American Chemical Society.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, *15*(4), 365–377. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>
- Brookes, G., & Barfoot, P. (2017). Environmental impacts of genetically modified (GM) crop use 1996–2015: Impacts on pesticide use and carbon emissions. *GM Crops & Food*, *8*(2), 117–147. <https://doi.org/10.1080/21645698.2017.1309490>
- Bruinsma, J. (2003). *World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective*. London: Earthscan Publications Ltd.
- Capper, J. L., Cady, R. A., & Bauman, D. E. (2009). The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *Journal of Animal Science*, *87*(6), 2160–2167. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1781>
- Carlsson, A. S. (2009). Plant oils as feedstock alternatives to petroleum – A short survey of potential oil crop platforms. *Biochimie*, *91*, 665–670. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2009.03.021>
- Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, *6*(2), 48–60. <https://doi.org/10.1002/fes3.108>
- Clive James. (2016). ISAAA Brief 51-2015. *International Service for the Acquisition of Agriculture*, *51*.
- Colciencias. (2018). Grupos de investigación e investigadores reconocidos por COLCIENCIAS. Retrieved March 13, 2018, from <http://www.colciencias.gov.co/investigadores/capacidades-nacionales-ctei/grupos-de-investigacion>
- Colorganics. (2018). Colorganics - health care colors. Retrieved March 6, 2018, from <http://colorganics.co/es-co/>
- DANE. (2014). *Censo nacional agropecuario Colombia*. Bogotá D.C.
- DANE. (2018a). Comercio Internacional en Colombia: Exportaciones. Retrieved March 9, 2018, from <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/exportaciones>
- DANE. (2018b). Comercio Internacional en Colombia: Importaciones. Retrieved March 9, 2018, from <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/importaciones>





- DANE. (2018c). Departamento Administrativo Nacional de Estadística - Información estratégica. Retrieved March 4, 2018, from <http://www.dane.gov.co/index.php/component/search/?searchword=producto interno bruto colombia&searchphrase=all&Itemid=109>
- Dayan, F. E., Owens, D. K., & Duke, S. O. (2012). Rationale for a natural products approach to herbicide discovery. *Pest Management Science*, 68(4), 519–528. <https://doi.org/10.1002/ps.2332>
- Delgado, J. E., Salgado, J. J., Perez, R., & Eduardo, J. (2015). Perspectivas de los biocombustibles en Colombia. *Revista Ingenierías*, 14294(27). Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v14n27/v14n27a02.pdf>
- DNP. (2018). informe Bioeconomía Fase I - Diagnóstico y definición de sectores estratégicos para Colombia. Retrieved March 2, 2018, from <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/Forms/AllItems.aspx?RootFolder=%2FCrecimiento-Verde%2FDocuments%2Fejes-tematicos%2FBioeconomia%2Finforme1&FolderCTID=0x012000323D550D8AE5BC4E8A7A62DD3ABEF3C8>
- Ecoflora Agro. (2018). Ecoflora Agro - extractos vegetales para la protección de cultivos. Retrieved March 13, 2018, from <http://www.ecofloragro.com/es/>
- EPA. (2018). Biopesticidas. Retrieved March 3, 2018, from <https://www.epa.gov/pesticides/biopesticides>
- FAO. (1996). Declaración de Roma sobre la Seguridad Alimentaria. Retrieved February 20, 2018, from <http://www.fao.org/docrep/003/w3613s/w3613s00.htm>
- FAO. (2009). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Como Alimentar Al Mundo En 2050*. Rome.
- FAO. (2011a). *Biotechnologies for agricultural development. Agricultural Biotechnologies in Developing Countries (ABDC-10)*. Rome: FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/014/i2300e/i2300e00.htm>
- FAO. (2011b). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. Rome.
- FAO. (2016). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - (FAO)*. Rome: Departamento de Comunicación FAO.
- FAO. (2018). Colombia en una mirada. Retrieved February 24, 2018, from <http://www.fao.org/colombia/fao-en-colombia/colombia-en-una-mirada/es/>
- FAO, IFAD, & WFP. (2015). *The State of Food Insecurity in the World*. Rome.
- FedeBiocombustibles. (2018). Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia. Retrieved March 13, 2018, from <http://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-271.htm>
- FINAGRO. (2014). *Perspectiva del sector agropecuario Colombiano*. Bogotá D.C.





- Garcia-Perez, M., & Garcia-Nunez, J. A. (2013). Nuevos conceptos para biorrefinerías de aceite de palma (New Concepts of Palm Oil Mill Biorefineries). *Palmas*, 34(Especial, Tomo II), 66–84.
- Gill, M., Smith, P., & Wilkinson, J. M. (2010). Mitigating climate change: the role of domestic livestock. *Animal*, 4(3), 323–333.
<https://doi.org/10.1017/S1751731109004662>
- Glare, T., Caradus, J., Gelernter, W., Jackson, T., Keyhani, N., Köhl, J., ... Stewart, A. (2012). Have biopesticides come of age? *Trends in Biotechnology*, 30(5), 250–258.
<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.01.003>
- Goedde, L., Horil, M., & Sanghvi, S. (2015, July). Pursuing the global opportunity in food and agribusiness. *McKinsey on Investing*. Retrieved from
[https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Private Equity and Principal Investors/Our Insights/Global agricultures many opportunities/Global agricultures many opportunities.ashx](https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Private%20Equity%20and%20Principal%20Investors/Our%20Insights/Global%20agriculture%20many%20opportunities/Global%20agriculture%20many%20opportunities.ashx)
- Hussain, S., Siddique, T., Arshad, M., & Saleem, M. (2009). Bioremediation and phytoremediation of pesticides: recent advances. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39(10), 843–907.
<https://doi.org/10.1080/10643380801910090>
- ISAAA. (2016). *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2016*. (ISAAA, Ed.), ISAAA Brief (Vol. 52). Ithaca, NY. Retrieved from
<http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/52/download/isaaa-brief-52-2016.pdf>
- Joner, E. J., & Leyval, C. (2003). Phytoremediation of organic pollutants using mycorrhizal plants: a new aspect of rhizosphere interactions. *Agronomie*, 23(5–6), 495–502.
<https://doi.org/10.1051/agro:2003021>
- Kinney, A. J. (1997). Genetic Engineering of Oilseeds for Desired Traits. In *Genetic Engineering* (pp. 149–166). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5925-2_8
- Kovach, J., Petzoldt, C., Degnil, J., & Tette, J. (1992). *A Method to Measure the Environmental Impact of Pesticides*. *New York's Food and Life Sciences Bulletin*. (Vol. 139). Geneva, NY. Retrieved from
<https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/5203/FLS-139.pdf;jsessionid=FA633C0A52BC6EC3D972A014F86D5C9E?sequence=1>
- Kudo, M., Kidokoro, S., Yoshida, T., Mizoi, J., Todaka, D., Fernie, A. R., ... Yamaguchi-Shinozaki, K. (2017). Double overexpression of DREB and PIF transcription factors improves drought stress tolerance and cell elongation in transgenic plants. *Plant Biotechnology Journal*, 15(4), 458–471. <https://doi.org/10.1111/pbi.12644>
- Kurukulasuriya, P., & Rosenthal, S. (2013). *Climate change and agriculture: a review of impacts and adaptations*. (Climate Change Series, Ed.), *Environment Department Paper* (Vol. 91). Washington DC: World Bank. Retrieved from
<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/16616/787390WPOClima0ure0377348B00PUBLIC0.pdf?sequence=1>





- Lee, Y.-S., Jeong, H., Taye, M., Kim, H. J., Ka, S., Ryu, Y.-C., & Cho, S. (2015). Genome-wide Association Study (GWAS) and Its Application for Improving the Genomic Estimated Breeding Values (GEBV) of the Berkshire Pork Quality Traits. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(11), 1551–7. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0287>
- Liu, Z., Liao, W., & Liu, Y. (2016). A sustainable biorefinery to convert agricultural residues into value-added chemicals. *Biotechnology for Biofuels*, 9. <https://doi.org/10.1186/s13068-016-0609-8>
- Méndez, K. Á., Chaparro Giraldo, A., Moreno, G. R., & Castro, C. S. (2011). Production cost analysis and use of pesticides in the transgenic and conventional corn crop [*Zea mays* (L.)] in the valley of San Juan, Tolima. *GM Crops*, 2(3), 163–168. <https://doi.org/10.4161/gmcr.2.3.17591>
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia*. Bogotá D.C.
- MinSalud. (2015). *Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia 2015 - ENSIN*. Bogotá D.C.
- Ni, M., Ma, W., Wang, X., Gao, M., Dai, Y., Wei, X., ... Zhu, Z. (2017). Next-generation transgenic cotton: pyramiding RNAi and Bt counters insect resistance. *Plant Biotechnology Journal*, 15(9), 1204–1213. <https://doi.org/10.1111/pbi.12709>
- OCDE. (2015). *Revisión de la OCDE de las Políticas Agrícolas: Colombia 2015. Evaluación y Recomendaciones de Política*.
- Ozone Secretariat. (2018). The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. Retrieved March 3, 2018, from <http://ozone.unep.org/en/treaties-and-decisions/montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer>
- Pereira, A. (2016). Plant Abiotic Stress Challenges from the Changing Environment. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1123. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01123>
- Ramirez, N., Arevalo, A., & Garcia-Nuñez, J. A. (2015). Inventario de la biomasa disponible en plantas de beneficio para su aprovechamiento y caracterización fisicoquímica de la tusa en Colombia. *Revista Palmas*, 36(4), 41–54. Retrieved from <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11644/11636>
- Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T., & Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 16, 145–163. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>
- Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., ... Jones, J. W. (2014). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3268–3273. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110>
- Seiber, J. N., Coats, J., Duke, S. O., & Gross, A. D. (2014). Biopesticides: State of the Art and Future Opportunities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(48), 11613–





11619. <https://doi.org/10.1021/jf504252n>

- Shi, J., Lang, C., Wu, X., Liu, R., Zheng, T., Zhang, D., ... Wu, G. (2015). RNAi knockdown of fatty acid elongase1 alters fatty acid composition in *Brassica napus*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 466(3), 518–522. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2015.09.062>
- SIB. (2018). Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia. Retrieved February 25, 2018, from <https://www.sibcolombia.net/>
- Uncu, A. O., Doganlar, S., & Frary, A. (2013). Biotechnology for Enhanced Nutritional Quality in Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32(5), 321–343. <https://doi.org/10.1080/07352689.2013.781453>
- United Nations. (2017). UN Comtrade Analytics - Trade dashboard. Retrieved March 11, 2018, from <https://comtrade.un.org/labs/data-explorer/>
- Universidad EAFIT. (2017). EAFIT y Augura patentaron en Estados Unidos una invención que aumenta la productividad en los cultivos de banano. Retrieved March 8, 2018, from <http://www.eafit.edu.co/sitionoticias/2017/eafit-y-augura-patentaron-en-estados-unidos-una-invencion-que-reduce-en-dos-meses-la-produccion-de-banano>
- Van Eenennaam, A. L. (2017). Genetic modification of food animals. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.10.007>
- Villanueva-Mejia, D., & Alvarez, J. C. (2017). Genetic Improvement of Oilseed Crops Using Modern Biotechnology. In *Advances in Seed Biology* (pp. 295–317). InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70743>
- Wang, L., Ji, B., Hu, Y., Liu, R., & Sun, W. (2017). A review on in situ phytoremediation of mine tailings. *Chemosphere*, 184, 594–600. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.025>
- Yang, Y., Tang, R.-J., Jiang, C.-M., Li, B., Kang, T., Liu, H., ... Zhang, H.-X. (2015). Overexpression of the PtSOS2 gene improves tolerance to salt stress in transgenic poplar plants. *Plant Biotechnology Journal*, 13(7), 962–973. <https://doi.org/10.1111/pbi.12335>

