

Bioinsumos y biotecnologías para el agro

Estudio panorámico

PROYECTO TEC.A - INNOVACIÓN PARA EL AGRO

'Modelo de gestión de conocimiento, innovación y transferencia de tecnología con aplicación en el sector agropecuario y agroindustrial en el departamento de Cundinamarca'

Diana Marcela Ortiz Páez
Directora del proyecto TEC.A

Luisa Fernanda Contreras Nieto
Coordinadora del proyecto TEC.A

Fabio Leonardo Quintero Vargas
Consultor de transferencia de tecnologías del proyecto TEC.A

Santiago Cajiao Raigosa
Consultor de mercados y transferencia de tecnologías del proyecto TEC.A

CONNECT BOGOTÁ REGIÓN

Diciembre de 2022

Descargo de responsabilidad

Este documento fue elaborado en el marco del Proyecto 'TEC.A – Innovación para el Agro', ejecutado por la Corporación Connect Bogotá Región, con el propósito de brindar insumos para el codiseño de los planes de transferencia de las doce (12) tecnologías beneficiarias del proyecto.

En especial, este estudio está dirigido a aquellas tecnologías beneficiarias que en la convocatoria del proyecto se categorizaron dentro del grupo de 'Biotecs (control biológico, bioinsumos, biorremediación y variedades vegetales)':

- *Dunkel AZ: Bioinsecticida a base de extracto de Neem, Sophora Y Piretrinas (GreenCrop SAS).*
- *UMNG-Bio: Producción masiva de ácaros depredadores como bioinsumo para el control de la arañita roja en cultivos bajo invernadero (Universidad Militar Nueva Granada).*
- *FitoQ: Modelo de desarrollo de cultivo de plantas medicinales como materia prima de alta calidad para la industria farmacéutica (Universidad Pontificia Javeriana).*
- *Entomopatógenos: Bioinsumos orgánicos a base de microorganismos (Biosoul SAS).*
- *Biobet: Bioinsumo fertilizante a base de Biochar, hongos formadores de micorrizas para cultivos agropecuarios (Fundación Universitaria del Área Andina).*
- *Bioinsumos nanotecnológicos (Ingeniería Servicios y Desarrollos SAS).*

El estudio fue elaborado a partir del análisis y síntesis de fuentes secundarias. Connect Bogotá Región no se hace responsable por el uso de la información y de las conclusiones contenidas en este informe.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN: DEFINICIÓN, USOS Y APLICACIONES	4
2	TENDENCIAS DEL MERCADO	6
2.1	BIOFERTILIZANTES	6
2.2	BIOCONTROLADORES.....	7
3	FACTORES DEL MERCADO	7
3.1	FACTORES POLÍTICOS	8
3.2	FACTORES ECONÓMICOS	8
3.3	FACTORES SOCIALES Y CULTURALES	9
3.4	FACTORES TECNOLÓGICOS	11
3.5	FACTORES AMBIENTALES	12
3.6	FACTORES LEGALES O REGULATORIOS	13
4	JUGADORES CLAVE.....	14
5	CONCLUSIONES.....	15
	REFERENCIAS	17

1 INTRODUCCIÓN: DEFINICIÓN, USOS Y APLICACIONES

Los bioinsumos son productos o insumos de origen biológico que se obtienen de procesar extractos vegetales, materia orgánica o multiplicar microorganismos beneficiosos como bacterias, hongos y virus, incorporando biotecnologías y conocimientos en biología sintética, edición genética, bioinformática y microbiología para su desarrollo y producción.¹

La utilización de bioinsumos se enmarca en la búsqueda de prácticas agropecuarias más sostenibles y alternativas a los productos químicos sintéticos que generan efectos nocivos en el medio ambiente y la salud. Los principales usos de este tipo de productos en la agricultura y ganadería son:

- *Promoción del crecimiento vegetal:* bioinsumos diseñados para mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas que pueden contener microorganismos beneficiosos que fomentan la absorción de nutrientes, aumentan la resistencia a enfermedades y estrés ambiental, y mejoran la salud general de las plantas.
- *Control de plagas y enfermedades:* algunos bioinsumos actúan como agentes de control biológico, ayudando a controlar poblaciones de insectos, patógenos y malezas que afectan negativamente a los cultivos. Estos pueden incluir bacterias, hongos, virus u organismos depredadores que atacan específicamente a las plagas.
- *Fertilización orgánica:* los bioinsumos también se utilizan para mejorar la fertilidad del suelo y proporcionar nutrientes a las plantas de manera orgánica. Esto puede incluir fertilizantes orgánicos, compost, extractos de algas marinas y otros productos naturales ricos en nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal.
- *Biorremediación:* En la agricultura sostenible, los bioinsumos se emplean a menudo en prácticas de biorremediación para descontaminar suelos contaminados por productos químicos o metales pesados. Los microorganismos y enzimas presentes en ciertos bioinsumos pueden ayudar a degradar contaminantes y restaurar la salud del suelo.
- *Mejora de la calidad del suelo:* al fomentar la actividad microbiana y aumentar la materia orgánica en el suelo, los bioinsumos contribuyen a mejorar su estructura, retención de agua y capacidad de retención de nutrientes. Esto promueve un entorno más favorable para el crecimiento de plantas y reduce la erosión del suelo.
- *Producción ganadera sostenible:* en la ganadería, los bioinsumos se utilizan para mejorar la salud y productividad de los animales de manera natural. Esto puede incluir aditivos alimentarios probióticos, prebióticos y enzimas digestivas que promueven la salud intestinal y el rendimiento animal sin el uso de antibióticos sintéticos o productos químicos.

En línea con estos usos y aplicaciones, los bioinsumos pueden ser clasificados según su origen (vegetales o microbianos) y su efecto sobre las plantas o animales (si buscan estimular el crecimiento o controlar plagas y enfermedades). Según la Resolución 068370

¹ Los bioinsumos se pueden categorizar como parte de las *agritech* o tecnologías para la agricultura, que se refieren al conjunto de nuevas tecnologías aplicadas a la agricultura, incluyendo tecnologías 4.0 como la robótica, Internet de las cosas - IoT, inteligencia artificial, big data y computación en la nube. En este documento no se utiliza el término ni se categoriza a los bioinsumos dentro de él, puesto que se aborda en un estudio panorámico aparte dedicado exclusivamente a las agrotecnologías que incorporan las tecnologías 4.0 recién mencionadas.

de 2020 emitida por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), en Colombia los bioinsumos se clasifican en dos tipos (ver Figura 1):

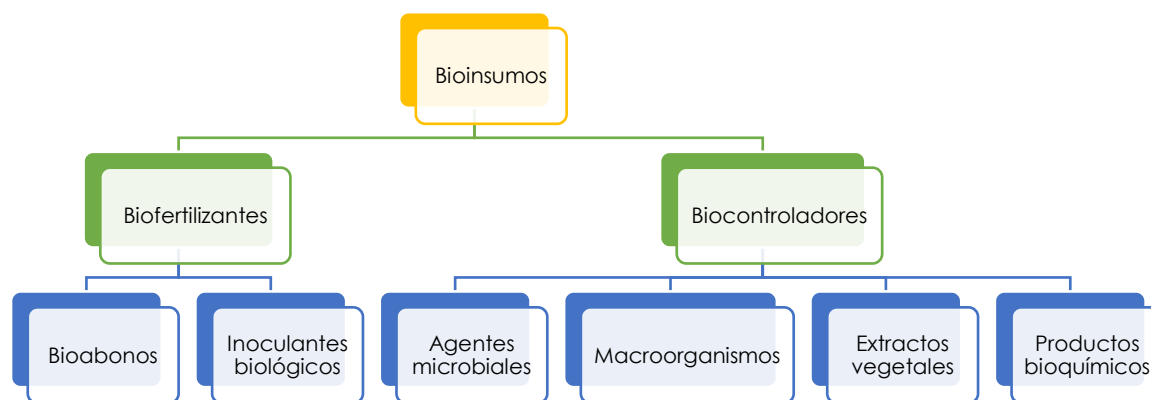
1. *Biofertilizantes:*

- *Bioabonos:* Producto elaborado a partir materiales orgánicos obtenidos a partir de procesos de compostaje, al cual se le han adicionado microorganismos benéficos viables que son garantizados en la composición del producto y que se usan para mejorar las características biológicas y/o fisicoquímicas del suelo, degradar materia orgánica o promover crecimiento vegetal y que pueden garantizar carbono orgánico.
- *Inoculantes biológicos:* Producto que contiene microorganismos viables capaces de actuar, directa o indirectamente, sobre el todo o parte de las plantas, elevando su productividad, sin tener en cuenta su valor hormonal o estimulante; estos productos podrán garantizar carbono orgánico. Sus mecanismos de acción pueden ser la fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo, absorción de nutrientes, degradación de materia orgánica o promoción de crecimiento vegetal.

2. *Biocontroladores:*

- *Agentes microbiales para el control de plagas:* productos formulados a partir de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos o virus viables capaces de actuar a través de mecanismos biológicos para el control de plagas.
- *Macroorganismos:* organismos que por su naturaleza buscan y atacan a las plagas. Se incluyen nemátodos, entomopatógenos, parasitoides o predadores.
- *Extractos vegetales:* productos de uno o más componentes encontrados en plantas y obtenidos por exposición de estas o sus partes a procesos como prensado, molienda, trituración, destilación o extracción y que actúan como controladores de plagas.
- *Productos bioquímicos:* semioquímicos y sustancias de ocurrencia natural, no sometidas a síntesis química, que actúan como controladoras de plagas, como sustancias sintetizadas químicamente que deben ser estructuralmente idénticas a una sustancia química natural y que permiten el control de plagas modificando los comportamientos de estas – por ejemplo, las feromonas, alomonas y kairomonas.

Figura 1. Clasificación de los tipos de bioinsumos en Colombia.
Fuente: elaboración propia con base en la Resolución ICA 068370 de 2020.



2 TENDENCIAS DEL MERCADO

El mercado global de insumos biológicos para la agricultura (abarcando biofertilizantes, bioestimulantes y biopesticidas) viene creciendo a un ritmo importante. Se estima que el tamaño de mercado en 2019 fue de casi USD \$6.900 millones y que para 2028 será de casi USD \$13.500 millones, creciendo a una tasa promedio anual de 14,6%. A nivel regional, los mercados más grandes son los Europa y Norteamérica. Suramérica representó en 2019 un 16% del mercado mundial, con un tamaño estimado de USD \$1.100 millones en 2019, y proyecciones de triplicarse a 2024 hasta llegar a USD \$3.600 millones – que equivaldría al 27% del mercado mundial (BCC Research, 2020).

En Colombia, el tamaño del mercado de bioinsumos, medido a través del volumen, ha aumentado significativamente en los últimos años pues aumentó a tasas anuales de dos dígitos entre 2014-2021 para un total de 365% (Tabla 1). La producción pasó de cerca de 393 toneladas en 2013 a más de 2.000 toneladas en 2020; sin embargo, apenas representa un 1,1% del total del mercado de fertilizantes y plaguicidas en el país. El comercio internacional también ha crecido significativamente, pues las exportaciones han crecido alrededor de un 470% y las importaciones un 247% entre 2012-2020.

Tabla 1. Tamaño del mercado de bioinsumos en Colombia (ton).
Fuente: tomado de Corficolombiana (2022; p.6).

Año	Producción	Importaciones	Exportaciones
2013	392,9	25,0	9,7
2014	656,4	18,3	10,9
2015	1.252,0	40,3	9,4
2016	1.509,8	61,0	1,5
2017	1.868,9	29,5	3,5
2018	2.173,3	29,9	51,8
2019	2.405,9	61,9	25,7
2020	2.042,3	26,7	10,1

A continuación, se presentan datos desagregados del mercado mundial segmentado según el tipo de bioinsumos.

2.1 BIOFERTILIZANTES

El mercado de productos microbianos para la agricultura tuvo un tamaño estimado de \$3.608 millones en 2019 y se espera que llegue a casi USD \$7.166 millones en 2028, lo que representaría un aumento de casi el doble entre 2019-2025 (Mordor Intelligence, 2020A).

Suramérica representó el 11% en 2019. El tamaño del mercado fue de USD \$410 millones en ese año, de los cuales Brasil representó el 57% y Argentina el 20%. Se proyecta que para 2025 habrá crecido más del doble hasta USD \$885 millones, con una tasa de crecimiento anual cercana al 14% (Mordor Intelligence, 2020A).

2.2 BIOCONTROLADORES

A nivel global, el mercado de control biológico tuvo un tamaño cercano a los USD \$3.900 millones en 2019 y se estima que en 2025 será de más de USD \$7.500 millones, registrando una tasa de crecimiento de 12,4% en el periodo (Mordor Intelligence, 2020B).

Según el tipo de controlador (microbiano, macrobiano o nemátodo entomopatógeno), la porción más grande del mercado en 2019 correspondía a los microbianos con un 65% seguido de los macrobianos con un 32%. A su vez, los microbianos se dividían en un 44% compuestos por bacterias, un 41% por hongos y el 15% restante por virus; los macrobianos en un 55% de tipo parasitoide y el otro 45% de tipo depredador (Mordor Intelligence, 2020B). Los tamaños y proyecciones de mercado para cada uno de estos segmentos de controladores biológicos se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Tamaño del mercado mundial de biocontroladores según el tipo (millones de USD).
Fuente: elaboración propia con base en Mordor Intelligence (2020B).

Tipo de biocontrolador	2016	2019	2025	TCAC 2020-2025
Microbianos	1.635,1	2.531,0	5.149,0	13,5 %
• Bacterias	719,1	1.120,7	2.274,8	13,4
• Virus	249,3	370,5	702,3	12,2
• Hongos	666,7	1.039,8	2171,8	14,1
Macrobianos	798,6	1.236,3	2.198,1	10,5 %
• Parasitoides	437,1	680,5	1.181,3	9,9
• Depredadores	361,5	555,8	1.016,8	11,2
Nemátodos entomopatógenos	93,5	126,6	180,7	6,8 %
Total	2.527,2	3.893,9	7.527,8	12,4

*TCAC: tasa de crecimiento anual compuesta.

Según el uso de los biocontroladores, en el mercado específico de bioinsecticidas se estima que en 2020 tuvo un tamaño de USD \$1.940 millones, lo que equivalía al 16% del mercado total de insecticidas - dominado por los insecticidas sintéticos con el 84%. Se proyecta que a 2026 el mercado de bioinsecticidas habrá crecido a un 10% anual hasta llegar a USD \$3.600 millones (mordor Intelligence, 2021).

En cuanto a la distribución geográfica del mercado mundial de biocontroladores, Suramérica representó el 10% en 2019 con un tamaño de mercado de USD \$382 millones, de los que Brasil representó el 55% y Argentina el 37%. Se espera que el mercado regional llegue a los USD \$741 millones en 2025, lo que significaría una tasa de crecimiento anual del 12,5% en ese periodo (Mordor Intelligence, 2020B).

3 FACTORES DEL MERCADO

El uso de bioinsumos representa un amplio campo de oportunidades a nivel nacional e internacional dado que el sector agroindustrial mundial enfrenta un panorama desafiante. A continuación, se identifican los principales factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales (PESTAL) que influyen la evolución y tendencias del mercado de bioinsumos a nivel mundial.

3.1 FACTORES POLÍTICOS

Las políticas agrícolas determinan los entornos en los cuales operan los mercados de bioinsumos, en especial las relacionadas con la seguridad alimentaria, prácticas sostenibles, subsidios a los productores, acuerdos comerciales y la producción y comercialización de insumos agrícolas. Las políticas que buscan incentivar la producción, venta y consumo de alimentos orgánicos, libres de trazas de productos químicos, favorecen el desarrollo y crecimiento de bioinsumos.

Algunos países han adoptado con éxito políticas de fomento al uso de bioinsumos, apalancadas por las sinergias creadas entre los actores privados y los consumidores, que han generado un aumento en la implementación de estos productos en la agricultura. Un caso de éxito es el de Brasil, en donde desde hace unas tres décadas, a través de la inversión en investigación, formación de capital humano altamente calificado en biotecnología, la realización de un gran número de ensayos y la capacitación de productores se llegó a una tasa del 80% de agricultores de soya que utilizan inoculantes para la fijación biológica de nitrógeno que significó un aumento promedio del 8% en el rendimiento de los cultivos (Corficolombiana, 2020).

Asimismo, varios países han adoptado políticas para apoyar la adquisición de insumos agrícolas por parte de pequeños productores, lo cual estimula el mercado de bioinsumos. Por ejemplo, en Colombia por medio de la Ley 2183 de 2022, se constituyó el Sistema Nacional de Insumos Agropecuarios y se creó el Fondo de Acceso a Insumos Agropecuarios (FAIA), que tiene como finalidad disminuir la volatilidad en los precios de los insumos agrícolas y beneficiar a más de 120 mil pequeños productores (MADR, 2022).

Las políticas comerciales de los países también inciden en el mercado de bioinsumos, bien sea directamente a través de medidas arancelarias y no arancelarias sobre los bioinsumos en sí mismos o a través de las medidas no arancelarias (sanitarias y fitosanitarias) sobre los alimentos y otros productos agrícolas. La aplicación de estándares y recomendaciones de tratados y acuerdos multilaterales como el Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias de la Organización Mundial del Comercio (OMC), el Códex Alimentarius de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), y el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre Diversidad Biológica, y las medidas sanitarias y fitosanitarias contempladas en tratados de libre comercio bilaterales y regionales, pueden incentivar la implementación de bioinsumos por cuanto restringen el comercio internacional de alimentos contaminados por el uso de agroquímicos sintéticos.

Los conflictos geopolíticos también tienen una incidencia sobre el mercado mundial de bioinsumos. La guerra entre Rusia y Ucrania ha tenido un efecto significativo sobre la disponibilidad y precios de los fertilizantes a nivel mundial, lo cual ha impactado los costos de producción de pequeños agricultores. Por ejemplo, la exportación de bioinsumos de Ucrania a países como Rusia y China disminuyó un 12.5 % desde el año 2022 (FIBL e IFOAM, 2023).

3.2 FACTORES ECONÓMICOS

Los precios internacionales de los fertilizantes y otros insumos agrícolas, junto con la depreciación de la moneda, son uno de los principales determinantes de las dinámicas de

los bioinsumos. Recientemente se ha experimentado un aumento abrupto de los precios de los fertilizantes y plaguicidas a nivel mundial originado por diversas causas, entre ellas el alto precio internacional del petróleo, gas, amoníaco y azufre - principales materias primas para la producción de fertilizantes primarios -, la invasión de Rusia a Ucrania, las restricciones a las exportaciones de fertilizantes por parte de China, Rusia y Egipto, las interrupciones de las cadenas de suministro y la escasez de mano de obra para la producción estadounidense de plaguicidas (Corficolombiana, 2022).

En adición a estos factores, en Colombia la baja disponibilidad y altos precios de insumos para el agro se ha visto afectada por los bloqueos nacionales de las vías que han profundizado la crisis dado que la mayoría de las materias primas utilizadas son de carácter importado (Sectorial, 2021). Según el índice de Autosuficiencia de fertilizantes primarios, Colombia solo tiene la capacidad de abastecer el 20% de la demanda con producción local, contrastado con el 378% de autosuficiencia de Rusia; el escenario de los plaguicidas es más preocupante, dado que las importaciones representan alrededor del 98% del consumo nacional (Corficolombiana, 2022).


Entonces, el crecimiento abrupto de los precios internacionales de fertilizantes y plaguicidas abre la oportunidad para el aumento de la participación de bioinsumos - especialmente de origen local, cuyos precios no se ven directamente afectados por la tasa de cambio.

3.3 FACTORES SOCIALES Y CULTURALES

El uso de bioinsumos ha aumentado a nivel mundial debido a cambios en los patrones de consumo en diferentes regiones del mundo, principalmente en EEUU y Europa. Durante los últimos años ha aumentado la demanda de productos agrícolas cultivados orgánicamente debido al aumento de los ingresos de la población y la mayor conciencia frente al impacto del consumo sobre el cambio climático y la salud humana (Barnes Reports, 2022).

En respuesta a esos cambios en los patrones de consumo, han surgido diferentes sellos, estándares y certificaciones voluntarias a nivel mundial que buscan garantizar a los consumidores que los alimentos que ingieren provienen de cultivos orgánicos, siguieron prácticas agropecuarias sostenibles o poseen atributos ambientales y sociales deseables. Estos sellos abren la posibilidad de subir el precio y aumentar los ingresos de los productores y distribuidores puesto que evidencian que los productos incorporan un mayor valor agregado que otros productos similares convencionales. Algunos son específicos para ciertos tipos de cultivos o productos mientras que los otros son transversales y se pueden aplicar a cualquier.

Entre los principales sellos y estándares voluntarios de sostenibilidad con mayor reconocimiento en el mundo se encuentran (ITC, FiBL e IISD, 2023):

<p>Fairtrade International</p>	<p>La red mundial Fairtrade International garantiza una participación equitativa en los beneficios del comercio para agricultores y trabajadores en 70 países a través de criterios y certificación, programas específicos y actividades de promoción. Los criterios abarcan requisitos sociales, económicos y</p>	 <p>FAIRTRADE INTERNATIONAL</p>
---------------------------------------	--	---

	<p>medioambientales para los pequeños agricultores, los comerciantes y las plantaciones que utilizan mano de obra contratada, y garantizan un precio mínimo y una prima en la mayoría de los productos para los productores.</p>	
<p>GlobalG.A.P.</p>	<p>Es una marca de soluciones inteligentes de garantía agrícola desarrollada por FoodPLUS GmbH en Colonia, Alemania, con la colaboración de productores, minoristas y otras partes interesadas del sector alimentario. Estas soluciones incluyen una serie de normas para unas prácticas agrícolas seguras, social y medioambientalmente responsables. La norma más utilizada es Integrated Farm Assurance, aplicable a frutas y hortalizas, acuicultura, floricultura, ganadería y otros sectores.</p>	
<p>UTZ</p>	<p>UTZ certificó más de 2,9 millones de hectáreas en todo el mundo en 2021, lo que representa el 0,06% de la superficie agrícola mundial. El cacao fue el producto con certificación UTZ más importante, con más de 2 millones de hectáreas, lo que representa el 17,5% de la superficie mundial de cacao y el 70% de la superficie total con certificación UTZ.</p>	
<p>Rainforest Alliance</p>	<p>Rainforest Alliance y UTZ se fusionaron en 2018 para formar una nueva organización Rainforest Alliance. La organización internacional sin ánimo de lucro trabaja para crear un futuro mejor para las personas y el medio ambiente y se centra en cuatro sectores de cultivos prioritarios: café, té, cacao y plátanos. Rainforest Alliance certificó más de más de 5,2 millones de hectáreas de una amplia variedad de productos básicos.</p>	
<p>IFOAM - Organics International</p>	<p>Organización mundial que representa el movimiento orgánico en todo el sistema alimentario, presente en más de 127 países, en el 2022 cumplió 50 años. En 2021 más de 76 millones de hectáreas fueron certificadas orgánicas en todo el mundo, lo que representa el 1,6% de toda la agricultura. Además, casi 3,7</p>	

	millones de productores en 191 países practicaban la agricultura orgánica; la mayoría estaban certificados a través de la certificación grupal.	
4C	4C - Código Común para la Comunidad Cafetera, creada en el 2003 con el fin de promover el café global sostenible por medio de una producción respetuosa con el personal y el medio ambiente. Protegiendo paisajes con altos valores de biodiversidad y carbono, para así salvaguardar los recursos naturales y promover buenas condiciones laborales a lo largo de la cadena de suministro.	

Usualmente, el recibimiento de dichos sellos por parte de los productos o los productores que se quieren certificar como orgánicos, 'verdes' o sostenibles implica haber evitado o reducido significativamente el uso de productos químicos sintéticos, lo cual abre un espacio para la adopción de bioinsumos que no generan trazas ni afectaciones sobre el medio ambiente.

En efecto, en el mundo el porcentaje de área cultivada certificada como orgánica viene en aumento. Las regiones y cultivos de mayor crecimiento son Oceanía (36,0 millones de hectáreas, casi la mitad de la superficie agrícola ecológica mundial - 47%) y Europa (17,8 millones de hectáreas, 23%). Seguido se encuentra América Latina con 9,9 millones hectáreas (13%), seguida de Asia (6,5 millones de hectáreas, 8,5%), y América del Norte (3,5 millones de hectáreas, 3,5 millones de hectáreas) (FiBL e IFOAM, 2023).

3.4 FACTORES TECNOLÓGICOS

Los nuevos descubrimientos científicos en ciencias de la vida y el avance de diferentes tipos de biotecnologías han ampliado el abanico de posibilidades para el desarrollo de nuevos productos biológicos, ha incrementado la eficiencia en su producción y ha mejorado la calidad de los productos de manera que puedan generar un mayor beneficio por su uso.

Por ejemplo, el reciente desarrollo de la tecnología CRISPR (acrónimo en inglés de *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*, o Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Espaciadas) permite la edición directa de genes de organismos de interés sin agregar un nuevo ADN externo a este. Recientemente se ha venido usando esta tecnología para resolver problemas en la agricultura por medio de la modificación de cultivos y obtención de rasgos de interés, como por ejemplo: incremento de la resistencia a sequías, mejoramiento de crecimiento vegetal bajo condiciones de estrés (salino, hídrico, osmótico o lumínico, entre otros), mayor resistencia a plagas y enfermedades y mejoramiento en las propiedades comerciales como un mejor fenotipo e incremento en las propiedades nutricionales (IGI, 2024).

También han surgido importantes mejoras técnicas en los procesos de fermentación, bioprocesamiento y nanoencapsulamiento de productos biológicos, lo cual ha permitido

umentar la eficiencia en la manufactura y la reducción de costos. Así, la nanotecnología está introduciendo una nueva gama de plaguicidas, reguladores del crecimiento vegetal y fertilizantes químicos potencialmente más eficientes que los usados actualmente. Es probable que la nanotecnología, al brindar nuevas herramientas de manipulación genética se extienda a la ingeniería genética de cultivos. Por ejemplo, Syngenta comercializa desde hace varios años un regulador de crecimiento vegetal nano formulado que se comercializa como un concentrado de "micro emulsión", y hay otras varias organizaciones tendientes a desarrollar nanotecnología para aplicaciones en agroquímicos (Medina et al., 2010).

Otro factor importante es el aumento en la resistencia de plagas a los pesticidas sintéticos convencionales. El aumento en la aplicación de pesticidas ha generado que los organismos que sobreviven a estos pasen a las nuevas generaciones información genética para la resistencia. A nivel mundial, se han documentado 500 casos de resistencia a pesticidas y 200 casos de resistencia a insecticidas (Mordor Intelligence, 2021). Dicha resistencia ha llamado la atención de autoridades sanitarias y ha impulsado la demanda por alternativas de control biológico de plagas.

Desde la década de los 80, el número de patentes solicitadas relacionadas con biotecnología vegetal ha crecido exponencialmente y en 2015 superó las 20.000 solicitudes. Los países que han liderado este aumento son Alemania, China, Estados Unidos, Japón y Corea, quienes invierten significativamente en actividades científicas de biotecnología agrícola, generando más del 55% de los artículos y más del 80% de las patentes. Sin embargo, comparando con otras áreas tecnológicas, la innovación en biotecnología para la agricultura está dispersa en varias regiones del mundo e incluye clústeres de investigación e innovación localizados en Latinoamérica, África y Asia. Países como India y Brasil han aumentado en cerca de 3 y 2 veces, respectivamente, su inversión en I+D para la agricultura desde 1990 (OMPI, 2019).

3.5 FACTORES AMBIENTALES

Estudios han arrojado que la aplicación de agroquímicos descompone la calidad del suelo y del agua subterránea, lo que genera un impacto negativo sobre la salud pública y la contaminación atmosférica y del agua. Incluso se estima que, a largo plazo, el uso de fertilizantes y plaguicidas químicos afectará a la fertilidad misma del suelo y con ello la producción agrícola (Corficolombiana, 2022). Por ejemplo, se estima que el 80 % del nitrógeno del suelo y casi el 50 % del fósforo han disminuido a causa del uso de fertilizantes y pesticidas químicos (FAO, 2021).

Por lo tanto, el uso de bioinsumos se vislumbra como una alternativa dado que disminuye el impacto ambiental y a mediano y largo plazo mantiene las características benéficas del suelo, requiriendo gradualmente menores cantidades de agroquímicos. La evidencia apunta a que los bioinsumos sirven como complemento a los fertilizantes y plaguicidas sintéticos más no como un sustituto en su totalidad, por lo que la transición de insumos sintéticos a bioinsumos se debería hacer de manera gradual (Corficolombiana, 2022).

Por lo anterior, es importante resaltar que la agricultura es uno de los principales factores coadyuvantes del cambio climático ya que las actividades agrícolas representan aproximadamente el 30 % del total de las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente debido al uso de fertilizantes químicos, plaguicidas y desechos animales. En

este contexto, resulta imperativo proponer prácticas para la mitigación de estos efectos negativos de los GEI en la agricultura, como la utilización de técnicas de fertilización más eficientes, la gestión adecuada de residuos, la implementación de sistemas de riego más eficientes y el reemplazo de productos químicos por el uso de productos orgánicos bioinsumos a base de organismos vivos más eficientes (FAO, 2021).

3.6 FACTORES LEGALES O REGULATORIOS

Las regulaciones en el mercado de bioinsumos pueden generar un impacto positivo en el uso de estos si se ejecutan de manera correcta.

En primer lugar, los países establecen regulaciones para la expedición de permisos de producción y comercialización de bioinsumos con el fin de evitar riesgos sobre el medio ambiente y la salud de animales y humanos. En esencia, estos reglamentos establecen requisitos y procedimientos para evaluar la toxicidad de los ingredientes activos, demostrar la calidad y pureza de los ingredientes activos, demostrar la eficacia de los productos en condiciones reales en campo, el etiquetado y empaque de los productos, y los mecanismos de monitoreo y verificación del cumplimiento de la normativa.

Por ejemplo, en Colombia los bioinsumos deben llevar a cabo un registro y control para uso agrícola, tal como lo dictamina la Resolución No. 068370 de 2020 del ICA. Esta supone una herramienta de control técnico a la producción y comercialización de bioinsumos para garantizar altos estándares de calidad y favorecer la protección de la sanidad agrícola y la inocuidad de los alimentos en la producción primaria. Así mismo, el ICA expidió la Resolución 698 de 2011, por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de departamentos técnicos de ensayos de eficacia, productores e importadores de bioinsumos para uso agrícola.

Así, un fabricante o comercializador de bioinsumos debe cumplir con estas regulaciones en cada jurisdicción sobre la que quiera ampliar su mercado, pues las regulaciones difieren entre países. Estos requisitos pueden imponer demoras para el desarrollo de nuevos bioinsumos y para su entrada al mercado.

En segundo lugar, se tienen las regulaciones sanitarias y fitosanitarias para el comercio de alimentos y productos agropecuarios. Como se mencionó anteriormente, la adhesión a convenios y tratados internacionales (Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias, Código Alimentarius y Protocolo de Cartagena, entre otros) direcciona el tipo de regulaciones sanitarias y fitosanitarias que los países establecen para la producción y comercialización de alimentos y organismos vivos.

Por último, recientemente varios países han expedido normativas para el etiquetado de sellos y certificaciones verdes, orgánicas o similares en productos alimenticios, en parte buscando incentivar la producción y comercialización de alimentos orgánicos y también como medidas contra el *green washing*.²

² El término 'green washing' o 'lavado verde' se refiere al conjunto de prácticas engañosas mediante las cuales una entidad busca mostrarse como más sostenible, ecológica u orgánica que lo que en realidad es con el fin de mejorar su posicionamiento o cobrar mayores precios por sus productos.

Al respecto, cabe destacar las regulaciones con respecto al etiquetado de productos orgánicos en EEUU y Europa. El primero cuenta con una Norma Orgánica del Departamento de Agricultura que establece las reglas para etiquetar y certificar productos orgánicos, y estableció el Programa Nacional Orgánico (NOP en inglés) para apoyar la implementación de la norma y acreditar a terceros para certificar a productores y empresas que cumplan con ella. Además, se tiene la Guía Verde de la Comisión Federal de Comercio, la cual proporciona orientaciones acerca del etiquetado de productos sostenibles. Por su parte, la Comisión Europea expidió el Reglamento N° 834/2007 que establece las normas de producción y etiquetado de productos ecológicos en la Unión Europea, junto con un sistema de certificación del cumplimiento de la norma.

En Colombia se tienen la Resolución 187 y 199 de 2006 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la cual que establece el reglamento para la producción, certificación y etiquetado de productos agropecuarios ecológicos, y la Resolución 148 de 2004 de la misma cartera, que creó el Sello de Alimento Ecológico y reglamentó su otorgamiento y uso. Y en agosto de 2023 se radicó en el Congreso el Proyecto de Ley No. 101 de 2023 “mediante el cual se regula y sanciona el lavado verde de imagen o greenwashing y se agregan nuevas disposiciones a la Ley 1480 de 2011” (el Estatuto del Consumidor).

4 JUGADORES CLAVE

En el ámbito de la I+D, según la OMPI (2019) hay cuatro empresas privadas que ejecutan gran parte de la inversión en I+D en biotecnología vegetal en el mundo: Bayer Cropscience (quien adquirió a Monsanto), BASF, ChemChina y Corteva Agriscience (quien adquirió a DuPont Dow). En países en desarrollo, los Centros Internacionales de Investigación en Agricultura juegan papeles preponderantes en la investigación científica en biotecnología para la agricultura. Algunos de los principales centros de este tipo son:

- El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en México.
- La Empresa Brasileira de Investigações Agropecuárias (EMBRAPA por sus siglas en portugués) en Brasil.
- El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el cual tiene sedes en varios países incluyendo a Colombia, en donde se ubica la sede principal en Palmira, Valle.
- El Instituto Internacional de Investigación del Arroz (IRRI) en Filipinas.
- El Centro Internacional de Agricultura y Sistemas de Desarrollo (ICARDA) en El Líbano.
- El Centro Internacional de Investigación Agrícola en Zonas Secas (ICARDA) en Jordania.

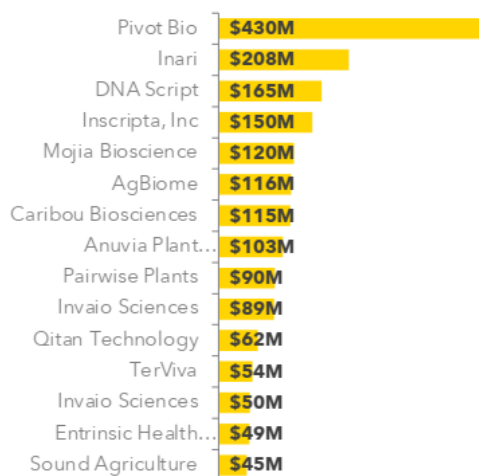
Otras grandes empresas relevantes en el mercado de bioinsumos a nivel global, aparte de las ya mencionadas atrás, son Syngenta, Novozymes, Marrone Bio Innovations, Certis, Valent BioSciences y Koppert Biological Systems. En Colombia, de acuerdo con los datos del ICA, existen 142 registros de empresas de bioinsumos (Corficolombiana, 2022).

Por otro lado, existe un creciente número de startups de biotecnología para la agricultura que han logrado recaudar importantes sumas de inversión de capital de riesgo (Figura 2) y

se vislumbran como nuevos jugadores relevantes en el mercado internacional de bioinsumos.

Figura 2. Inversión levantada (en USD) por las startups de biotecnología para el agro más prominentes en el mundo.

Fuente: tomado de AgFunder (2022).



5 CONCLUSIONES

Los bioinsumos son productos de origen biológico que se obtienen de procesar extractos vegetales, materia orgánica o multiplicar microorganismos beneficiosos, cuyo desarrollo y producción emplea tecnologías de biología sintética, edición genética, bioinformática y microbiología. Sus principales usos están dirigidos hacia la promoción del crecimiento vegetal y animal hacia el control de plagas y enfermedades. Estos productos se vislumbran como un complemento o alternativa frente al uso de los agroquímicos y una estrategia para mitigar daños ambientales, aumentar la sostenibilidad de los cultivos y disminuir los costos de producción.

El mercado mundial de este tipo de productos ha venido creciendo de manera importante, con estimaciones de que 2019 tuvo un tamaño de USD \$6.900 millones y que para 2028 será de casi USD \$13.500 millones, creciendo a una dinámica tasa promedio anual de 14,6% (BCC Research, 2020). Los principales factores que inciden en la evolución y tendencias de los mercados mundiales de bioinsumos se resumen en la Figura 3.

Figura 3. Resumen de los factores PESTAL del mercado mundial de bioinsumos.
Fuente: elaboración propia.

Políticos	<ul style="list-style-type: none"> • Políticas agrícolas (seguridad alimentaria, subsidios a los insumos agrícolas y acuerdos comerciales) • Políticas comerciales (medidas no arancelarias, sanitarias y fitosanitarias, para el comercio de alimentos) • Conflictos geopolíticos
Económicos	<ul style="list-style-type: none"> • Precios internacionales de fertilizantes y materias primas • Depreciación y volatilidad de la tasa de cambio
Sociales	<ul style="list-style-type: none"> • Preferencias de consumo de alimentos orgánicos amigables con la salud y el medio ambiente • Surgimiento de sellos y estándares voluntarios para certificar productos orgánicos y sostenibles
Tecnológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento del uso de técnicas de producción orgánica • Avances en edición genética, biología sintética, microbiología, bioinformática y nanotecnología • Aumento de la inversión en I+D en agricultura • Resistencia de plagas a pesticidas sintéticos
Ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del suelo y fuentes hídricas por el uso de productos químicos sintéticos • Mitigación y adaptación al cambio climático
Legales	<ul style="list-style-type: none"> • Regulaciones sobre la producción y comercialización de bioinsumos • Regulaciones sanitarias y fitosanitarias al comercio de productos agrícolas • Regulaciones al etiquetado de productos orgánicos

En cuanto a los principales actores a nivel mundial, la I+D en biotecnología para la agricultura se concentra principalmente en cuatro grandes empresas multinacionales (Bayer Cropscience, BASF, ChemChina y Corteva Agriscience). No obstante, existen importantes centros internacionales de investigación como el CIAT, CIMMYT y EMBRAPA que generan conocimiento e innovaciones en países en desarrollo.

REFERENCIAS

- Barnes Reports. (2022). *2022 Global High Tech & Emerging Markets* [Product/Service Type: Biofertilizers].
- BCC Research. (2020). *Agricultural Biotechnology: Emerging Technologies and Global Markets*.
- Corficolombiana. (2022). *Perspectiva sectorial: agroindustria. Bioinsumos: Panorama y oportunidades para el agro colombiano*.
- FAO. (2021). *Gestión de los plaguicidas para la agricultura y la salud pública: Compendio de directrices y otros recursos de la FAO y la OMS*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FiBL e IFOAM. (2023). *The World of Organic Agriculture Statistics and Emerging Trends 2023*. Research Institute of Organic Agriculture FiBL and IFOAM – Organics International.
- IGI. (2024). *CRISPRpedia. CRISPR in Agriculture*. Innovative Genomic Institute.
- ITC, FiBL e IISD. (2023). *The State of Sustainable Markets 2023. Statistics and Emerging Trends*. International Trade Centre, International Institute for Sustainable Development, and Research Institute of Organic Agriculture.
- MADR. (2022). *Ministerio de Agricultura activó el Fondo de Acceso a Insumos agropecuarios, que beneficiará a más de 120 mil pequeños productores*. (2022, octubre 18). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. <https://petro.presidencia.gov.co/prensa/Paginas/Ministerio-de-Agricultura-activo-el-Fondo-de-Acceso-a-Insumos-agropecuarios-221018.aspx>
- Medina, E.; García Gutiérrez, C. y Ruelas-Ayala, R.D. (2010). *Nanotecnología y Nanoencapsulación de Plaguicidas. Ra Ximhai*. Universidad Autónoma Indígena de México. México.
- Mordor Intelligence. (2020A). *Global Agricultural Microbial Market (2020-2025)*.
- Mordor Intelligence. (2020B). *Global Biological Control Market (2020-2025)*.
- Mordor Intelligence. (2021). *Global Insecticides Market (2021-2026)*.
- Mordor Intelligence. (2022). *Global Biofertilizers Market (2022-2027)*.
- OMPI. (2019). *World Intellectual Property Report 2019. The Geography of Innovation: Local Hotspots, Global Networks*. Ginebra: Organización Mundial de la Propiedad Intelectual.
- Perry Hope Partners. (2022). *2022 Global Innovative Markets Forecast* [Market - Commodity Chemicals].

Sectorial. (2021). *Informe Sector Agroquímico.*