

# CRECIMIENTO SOSTENIBLE

AVANCES Y OPORTUNIDADES DE LA BIOTECNOLOGÍA EN LA  
AGROINDUSTRIA COLOMBIANA

“SUSTAINABLE GROWTH: ADVANCES AND OPPORTUNITIES OF BIOTECH-  
NOLOGY IN THE COLOMBIAN AGROINDUSTRY “

MARIA ALEXANDRA CASTRO RICO  
JOHN HERNANDO ESCOBAR RODRÍGUEZ  
FRANCISCO CABALLERO OTALORA



# Contenido

## RESUMEN

## ABSTRACT

## INTRODUCCIÓN

## MARCO TEÓRICO

## METODOLOGÍA

## DISCUSIONES

## CONCLUSIONES

## REFERENCIAS

3

3

4

5

10

18

18

19

## Resumen

La biotecnología agrícola ha transformado la agricultura en Colombia desde los años 90, ofreciendo oportunidades para aumentar la productividad, mejorar la calidad de los cultivos y reducir el impacto ambiental. La introducción de cultivos genéticamente modificados resistentes a plagas y adaptados a las condiciones locales ha demostrado incrementar significativamente los rendimientos y disminuir la dependencia de agroquímicos. La adopción de prácticas biotecnológicas por empresas se alinea con el desarrollo sostenible, integrando aspectos económicos, sociales y ambientales. La tecnología CRISPR se destaca como una herramienta revolucionaria para mejorar cultivos de manera segura y efectiva, ofreciendo un potencial sin precedentes para aumentar la productividad, resistencia y calidad nutricional de los cultivos. Colombia, con su diversidad de recursos genéticos y ecosistemas únicos, puede aprovechar la biotecnología para impulsar el crecimiento económico y social en el sector agrícola. La implementación de cultivos transgénicos ha contribuido a reducir el impacto ambiental de la agricultura al disminuir la aplicación de pesticidas químicos y mejorar la eficiencia de los sistemas agrícolas.

**Palabras clave:** Biotecnología agrícola, Productividad, Sostenibilidad, Cultivos genéticamente modificados, Desarrollo sostenible

## Abstract

Agricultural biotechnology has transformed agriculture in Colombia since the 1990s, offering opportunities to increase productivity, improve crop quality and reduce environmental impact. The introduction of genetically modified crops that are resistant to pests and adapted to local conditions has been shown to significantly increase yields and reduce dependence on agrochemicals. The adoption of biotechnology practices by companies is aligned with sustainable development, integrating economic, social and environmental aspects. CRISPR technology stands out as a revolutionary tool to improve crops in a safe and effective way, offering unprecedented potential to increase productivity, resistance and nutritional quality of crops. Colombia, with its diversity of genetic resources and unique ecosystems, can leverage biotechnology to drive economic and social growth in the agricultural sector. The implementation of transgenic crops has contributed to reducing the environmental impact of agriculture by reducing the application of chemical pesticides and improving the efficiency of agricultural systems.

**Keywords:** Agricultural biotechnology, Productivity, Sustainability, Genetically modified crops, Sustainable development

# INTRODUCCIÓN

La biotecnología agrícola ha emergido como un componente esencial en el desarrollo y la evolución de la agroindustria colombiana, desempeñando un papel fundamental en la transformación y mejora de los cultivos en el país. A través de la implementación de tecnologías innovadoras como CRISPR, se ha logrado potenciar la productividad, resistencia y calidad de los cultivos de manera eficaz y segura, marcando un hito significativo en el sector agrícola. La riqueza de recursos genéticos y la diversidad de ecosistemas presentes en Colombia han permitido aprovechar al

máximo el potencial de la biotecnología, impulsando el crecimiento económico y social en la agricultura. La introducción de cultivos transgénicos ha sido un factor determinante en la reducción del impacto ambiental de la agricultura, al disminuir la dependencia de pesticidas químicos y mejorar la eficiencia de los sistemas agrícolas., más sin embargo y a pesar de los avances logrados, la adopción de la biotecnología en la agroindustria colombiana plantea desafíos éticos y consideraciones cruciales en torno a la seguridad alimentaria, la preservación de la biodiversidad, los derechos de pro-

iedad intelectual y el acceso equitativo a la tecnología. Estos aspectos deben ser abordados de manera integral para garantizar que la implementación de la biotecnología sea beneficiosa y sostenible a largo plazo en el país.

En este contexto, la teoría de la innovación disruptiva emerge como un enfoque clave, al ofrecer soluciones más simples, convenientes y accesibles para

un mercado específico. Esta teoría, propuesta por Clayton Christensen, redefine el panorama competitivo al satisfacer las necesidades de mercados que han sido pasados por alto por los actores establecidos. Así, la innovación disruptiva no solo impulsa la eficiencia y la sostenibilidad en el sector agrícola, sino que también promueve un crecimiento equitativo y sostenible en la agroindustria colombiana.

## MARCO TEÓRICO

En el contexto actual, la investigación agrícola desempeña un papel fundamental en la generación de nuevas tecnologías que inciden directamente en la productividad del sector agropecuario, en las etapas iniciales de estos procesos se prioriza la optimización de factores clave como la productividad por unidad de trabajo o por unidad de tierra, además referentes teóricos reafirman este pensamiento, a través de la teoría de “crecimiento económico” Modelos como el de Solow-Swan<sup>1</sup> y los modelos de crecimiento endógeno se centran en cómo los factores como el capital humano (educación y experiencia de la fuerza laboral) y las “tecnologías influyen en la productividad” (Moreltini, 2009, pág. 12) , esto debido a desequilibrios significativos en la disponibilidad de recursos, especialmente en situaciones de colonización de nuevas zonas, la eficiencia en el uso de la mano de obra disponible se convierte así en un factor determinante para el éxito de la producción agrícola. Que si bien las estrategias

<sup>1</sup> Solow - Swan, 1956. Análisis de los factores fundamentales que influyen en este crecimiento a largo plazo, incluyendo la acumulación de capital físico y humano, así como el progreso tecnológico.

de investigación para mejorar las plantas ha evolucionado con el tiempo, centrándose en la expansión de la diversidad genética de la población vegetal, además que este proceso se ha logrado mediante la ampliación de las colecciones de germoplasma disponibles a través de esfuerzos de exploración y el desarrollo de técnicas de ingeniería genética que aumentan la variabilidad genética, siendo estos avances científicos que han permitido no solo expandir la distribución de las plantas, sino también aumentar la productividad de la investigación orientada a la generación de nuevas tecnologías. Es relevante destacar según (Palacios, sf) que a medida que la productividad en un cultivo determinado aumenta, el presupuesto asignado a la investigación también se ve influenciado. Por ejemplo, en el caso del arroz, la investigación enfocada en mantener altos niveles de productividad representa una proporción significativa del presupuesto total asignado a este cultivo cuando se alcanzan niveles más altos de productividad, ya que esta dinámica subraya la importancia de destinar recursos para mantener y mejorar los niveles de productivi-



dad logrados en la agricultura, teniendo en cuenta el enfoque en la eficiencia y sostenibilidad en la producción agrícola es esencial para desarrollar estrategias que impulsen el crecimiento económico y social en el sector. (págs. 2,4 & 6). Por otra parte, Según Sternberg (2018), en el ámbito agrícola la adopción de Biotecnologías CRISPR se presenta como una herramienta revolucionaria para mejorar cultivos de manera segura y efectiva. En su teoría de la “revolución biológica de la edición genética”, las capacidades de esta tecnología para realizar modificaciones genéticas precisas y específicas en plantas cultivadas ofrecen un potencial sin precedentes para aumentar la productividad, la resistencia a enfermedades y plagas, así como la calidad nutricional de los cultivos. Además, adentrándonos en el caso de Colombia otro autor afirma lo siguiente:

*“Según Hernández (2015), Colombia cuenta con 153 firmas de base biotecnológica distribuidas en diferentes sectores, siendo el sector agrícola el que representa el 38% de estas empresas. Además, se destaca que el 54% de los grupos y centros de investigación colombianos enfocados en biotecnología trabajan en el ámbito agropecuario., pág. 4)*

Sin embargo, a pesar del inmenso potencial de los cultivos editados genéticamente con tecnologías verdes, persisten interrogantes sobre su aceptación pública. Según Jensen (2002), la introducción de organismos genéticamente modificados en la cadena alimentaria ha generado debates éticos, sociales y regulatorios, polarizando opiniones y creando incertidumbre en la sociedad. Las percepciones públicas de estos cultivos están influenciadas por factores como la

confianza en la seguridad alimentaria, la transparencia en la comunicación sobre los procesos de modificación genética y las implicaciones éticas y medioambientales de la manipulación genética de los alimentos, así mismo retomando a Sternberg, la constante evolución de nuestra comprensión de los sistemas CRISPR-Cas9 revela un amplio campo de exploración biotecnológica, especialmente en la mejora de cultivos, como se evidencia en los descubrimientos en la inmunidad bacteriana adaptativa<sup>2</sup>. En este contexto, la agricultura se encuentra en un punto de inflexión donde la tecnología CRISPR promete transformar la forma en que se cultivan y mejoran los alimentos (Sternberg et al, 2018). La biotecnología agrícola implica la aplicación de técnicas biológicas y químicas para mejorar plantas, animales y microorganismos utilizados en la agricultura. Desde la década de 1990, los avances en biotecnología han revolucionado la agricultura, ofreciendo oportunidades para aumentar la productividad, mejorar la calidad de los cultivos y reducir el impacto ambiental (James, 2018), en la misma línea Colombia cuenta con una diversidad de recursos genéticos y ecosistemas únicos que pueden ser aprovechados mediante la biotecnología para mejorar la productividad agrícola. La introducción de cultivos genéticamente modificados resistentes a plagas y enfermedades, así como adaptados a las condiciones climáticas locales, podría aumentar significativamente los rendimientos y reducir la dependencia de los agroquímicos (Sánchez et al., 2020).

<sup>2</sup> Marc Van Montagu mediante su obra “Ti plasmid vector systems for plant genetic engineering” (1983). condujeron al desarrollo de técnicas para la introducción de genes extraños en plantas, sentando así las bases para la creación de plantas transgénicas con resistencia a enfermedades bacterianas.

Tabla 1.  
Enfoque de Productividad de los Transgénicos en Colombia

Factores de Productividad	Impactos Socioeconómicos	Sostenibilidad	Percepción Pública
- Resistencia a Plagas y Enfermedades	Acceso desigual a tecnología agrícola avanzada entre grandes y pequeños productores, Impacto en la reducción de costos de producción para algunos agricultores.	Impacto ambiental debido al uso extensivo de agroquímicos. Dependencia de semillas y tecnología patentada.	Confianza en la tecnología para mejorar la productividad agrícola. Preocupaciones sobre la seguridad alimentaria y la salud humana.
- Tolerancia a Herbicidas	Dependencia de herbicidas específicos para el control de malezas. Debate sobre la resistencia de las malezas a los herbicidas.	Seguridad alimentaria en términos de disponibilidad de alimentos transgénicos. Impacto en la diversificación de cultivos tradicionales.	Debate sobre la transparencia en la información sobre la presencia de transgénicos en productos alimenticios. Preocupaciones sobre posibles efectos a largo plazo en la salud humana y el medio ambiente.
- Mejora en Rendimiento	Mejora en la productividad y rentabilidad para algunos agricultores. Distribución desigual de beneficios entre grandes y pequeños productores.	Soberanía alimentaria en términos de autonomía en la producción de alimentos. Impacto en la diversificación de cultivos locales.	Confianza en la tecnología para aumentar la competitividad en los mercados agrícolas. Participación pública en decisiones sobre el uso de transgénicos en la agricultura.

Nota: Elaboración Propia con conceptos de Informe País (2018) “Cultivos transgénicos en Colombia”

A pesar de las promesas de la biotecnología en la agroindustria, existen desafíos y consideraciones éticas, estos incluyen la seguridad alimentaria, la preservación de la biodiversidad, los derechos de propiedad intelectual y el acceso equitativo a la tecnología (Gupta & Malik, 2019). Es fundamental abordar estos aspectos para garantizar que la adopción de la biotecnología en la agroindustria colombiana sea beneficiosa y sostenible a largo plazo, la teoría de la innovación disruptiva, propuesta por Clayton Christensen<sup>3</sup>, describe cómo las nuevas tecnologías pueden desplazar a las existentes al ofrecer soluciones más simples, convenientes y asequibles para un mercado específico. La innovación disruptiva suele comenzar

<sup>3</sup> La teoría de la innovación disruptiva, desarrollada por Clayton Christensen en su libro ‘The Innovator’s Dilemma’ (1997), redefinen por completo el panorama competitivo al satisfacer las necesidades de un mercado que los líderes establecidos ignoran o subestiman.

en nichos de mercado ignorados por los incumbentes, pero con el tiempo puede crecer y desafiar a las empresas establecidas. Christensen argumenta que las empresas deben estar atentas a estas innovaciones disruptivas para evitar quedar obsoletas.

La innovación disruptiva en biotecnología se refiere a cambios radicales en la forma en que se abordan los problemas de salud, alimentación y medio ambiente utilizando tecnologías biológicas. Por ejemplo, el desarrollo de terapias génicas, cultivos genéticamente modificados y bioprocesos industriales más eficientes son ejemplos de cómo la biotecnología puede transformar industrias enteras y generar impactos significativos en la sociedad. Para abordar estos desafíos de manera efectiva, es fundamental brindar un respaldo integral a la

investigación e innovación. La biotecnología no sólo debe entenderse como una herramienta hacia la modernización y el desarrollo de productos de valor agregado sino también como un gran negocio que las empresas deben promover para obtener un interés económico en particular. Seguidamente la idea presentada por Porter (1980) en su libro "Estrategia Competitiva" comprende cómo la biotecnología puede contribuir a mejorar la competitividad de una empresa. Según Porter<sup>4</sup>, es crucial que las empresas formulen estrategias competitivas en el entorno de mercado en el que operan, porque, desde su perspectiva estructuralista, las opciones estratégicas de una empresa están limitadas por su entorno, lo que implica que la estructura del mercado moldea la estrategia empresarial. En sus obras "Estrategia Competitiva" y "Ventaja Competitiva", Porter examina cómo se comporta el mercado y el im-

pacto de este en las empresas, con el fin de identificar estrategias que las organizaciones pueden implementar y la forma en que sus estructuras deben operar para ser competitivas. Porter señala que el objetivo principal de una estrategia competitiva es asegurar una posición favorable en la industria, permitiendo a la empresa defenderse de las fuerzas del mercado o influir en ellas positivamente. Su análisis inicial se centra en las cinco fuerzas que determinan la competencia en un sector,

- La rivalidad entre las empresas actuales
- La posibilidad de entrada de nuevos competidores
- La amenaza de productos sustitutos
- El poder de negociación de los compradores
- El poder de negociación de los proveedores

Estas fuerzas fueron representadas gráficamente en el modelo conocido como el Diamante de Porter.

<sup>4</sup> El Diamante de Porter, una teoría presentada por Michael Porter en su libro 'The Competitive Advantage of Nations' (1990). Desde su introducción, el Diamante de Porter ha sido ampliamente utilizado para evaluar y mejorar la competitividad nacional, así como para informar estrategias de desarrollo económico y empresarial en todo el mundo.

#### El diamante de Porter

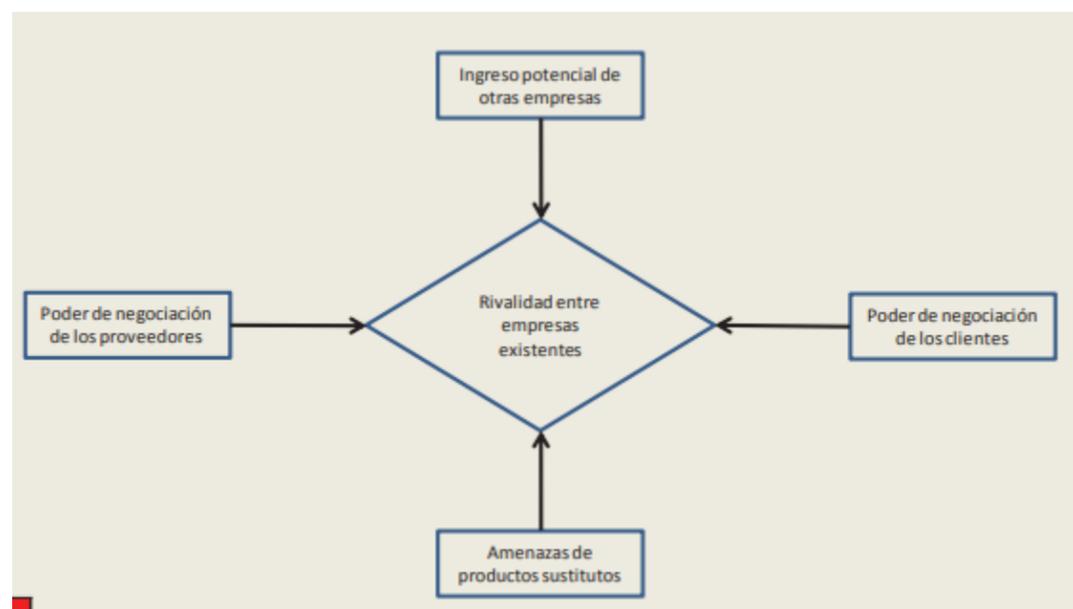


Figura 1: El diamante de Porter

Nota. La figura muestra las 4 estrategias que Michael Porter que incluyo en su explicación a lo que define la rivalidad entre las empresas existentes. Tomado de Evolución del concepto de competitividad (P, 3), por Benítez, 2014



Si bien en Colombia, esta idea ofrece a las empresas la posibilidad de innovar, diferenciarse y adaptarse a las fuerzas competitivas, pueden aplicar tecnologías y biotecnológicas para desarrollar productos nuevos y mejorados, al optimizar procesos y promover prácticas sostenibles, las empresas pueden encontrar una posición estratégica dentro de su sector de actividad que les permita defenderse de la competencia o influenciarla a su favor. Siendo en este caso específico la agricultura y su adopción de biotecnologías avanzadas que puedan ayudar a las empresas a mejorar la calidad y el rendimiento de sus cultivos, reduciendo al mínimo el empleo de prácticas agrícolas tradicionales que consumen energía y contaminan el medio ambiente, esto, a su vez puede traducirse en una ventaja competitiva en el mercado.

Por otro lado, el modelo de Cham Kim y Mauborgne (2005) proporciona una valiosa perspectiva sobre cómo promover

el uso de la biotecnología para obtener beneficios económicos a nivel empresarial. Según Cham Kim y Mauborgne<sup>5</sup> para que las empresas puedan conseguir una competitividad definitiva en el largo plazo, deben dejar de lado la competencia destructiva, ampliando los horizontes del mercado y haciendo de la innovación la principal fuente generadora de valor, el enfoque se alinea con la naturaleza disruptiva y transformadora de la biotecnología. Estos autores plantean que en vez de dejar que el entorno defina su estrategia, las empresas deben de elaborar su propia estrategia para definir su entorno, propuesta que se sostiene en las bases de la corriente del crecimiento endógeno. Además, esta propuesta se basa en 4 principios fundamentales: generar áreas de consumo innovadoras, enfocarse en la concepción integral (en

<sup>5</sup> El modelo de Cham Kim y Mauborgne, presentado en su libro 'Blue Ocean Strategy' (2005), ofrece un enfoque innovador para la estrategia empresarial al proponer la creación de mercados no disputados, denominados 'océanos azules', en contraposición a la competencia en 'océanos rojos' saturados.



lugar de solo en cifras), explorar más allá de la demanda actual y garantizar la sustentabilidad económica. En el contexto de la biotecnología estos principios se relacionan, al crear espacios de consumo identificando oportunidades en diversos sectores, como la salud, la agricultura, la energía y la alimentación, entre otras, comprendiendo la idea global de introducir soluciones innovadoras que satisfagan necesidades no cubiertas o mejoren productos y procesos ya existentes, anticipándose a las necesidades futuras del mercado y desarrollando no solo productos y servicios técnicamente sólidos, sino también garantizando que sean económicamente viables y rentables a largo plazo.

Además, la adopción de prácticas biotecnológicas por parte de las empresas, enmarcadas como estrategias de aumento de productividad, está intrínsecamente vinculada al concepto de desarrollo sostenible, Según Bermejo (2015) en el Informe Brundtland donde define como un modelo de desarrollo que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras

para satisfacer las suyas, esta noción tridimensional combina aspectos económicos, sociales y ambientales, buscando armonizar el crecimiento económico con la equidad social y la preservación del medio ambiente, en la misma línea, Correa (2003) indica que la gestión de recursos naturales desde la perspectiva neoclásica busca maximizar el bienestar Inter temporal, considerando restricciones tecnológicas y ambientales, por lo cual tiene enfoques como la regla de Hotelling, los impuestos pigouvianos, el teorema de Coase y la bioeconomía.

Retomando a Bermejo (2015), la bioeconomía analiza la asignación de recursos naturales renovables desde la ecología de poblaciones y la ecología de sistemas, si bien en el paradigma de la sostenibilidad, se cuestiona qué capital natural debe legarse a las generaciones futuras y se discute la gestión de recursos no renovables. La Economía Ecológica aboga por imponer límites cuantitativos al uso de recursos naturales y al crecimiento poblacional para abordar los problemas ambientales.

## METODOLOGÍA

La investigación se llevará a cabo siguiendo una metodología descriptiva, enfocada en explorar los avances y desafíos de la biotecnología aplicada al sector agrícola en Colombia, con el propósito de analizar el impacto de esta tecnología en la productividad agrícola y la conservación del medio ambiente en el país. Los beneficiarios directos de este análisis serán los actores clave del sector agrícola en Colombia, incluyendo productores, investigadores y tomadores de decisiones en políticas agrí-

colas y ambientales. Además, el objetivo principal es comprender cómo la biotecnología puede contribuir al desarrollo sostenible, la seguridad alimentaria y la conservación de los recursos naturales en el contexto específico de Colombia, a continuación, se detallan las etapas que conforman la investigación:

Fase I: Se llevará a cabo un análisis detallado de los avances científicos en biotecnología agrícola en Colombia, centrándose en la diversidad genética de

las especies vegetales, el desarrollo de cultivos genéticamente modificados y las tecnologías de ingeniería genética aplicadas en el país. Se examinará cómo estos avances han impactado la productividad agrícola, la resistencia de los cultivos y la sostenibilidad ambiental en Colombia.

Fase II: Se explorará el potencial de la biotecnología para mejorar la productividad y la sostenibilidad en la agricultura colombiana, enfocándose en la introducción de cultivos genéticamente modificados adaptados a las condiciones locales y resistentes a enfermedades y plagas. Se analizará cómo estas tecnologías pueden contribuir a aumentar los rendimientos, reducir la dependencia de agroquímicos y promover prácticas agrícolas más sostenibles en el país.

Fase III: Se evaluará el impacto económico, social y ambiental de la adopción de prácticas biotecnológicas en el sector agrícola de Colombia, considerando la viabilidad a largo plazo de estas tecnologías en el contexto nacional. Se analizará cómo la biotecnología agrícola puede contribuir al desarrollo sostenible del país, armonizando el crecimiento económico con la equidad social y la conservación del medio ambiente.

## Resultado Parciales

La aprobación de la Ley número 740 de 2002, que respalda el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica, representa un avance significativo en la regulación de los movimientos transfronterizos de organismos vivos modificados, respaldando así la protección de la diversidad biológica. Este protocolo, suscrito en Montreal el veintinueve de enero de dos mil, establece criterios detallados en las notificaciones conforme a los artículos 8°, 10 y 13, incluyendo la identificación del exportador e importador, características del organismo vivo modificado, evaluación del riesgo y métodos de manipulación segura, entre otros aspectos relevantes para la seguridad biotecnológica (Ley\_740\_de\_2002.).”

La investigación en biotecnología agrícola en Colombia ha experimentado un notable avance en los últimos años, destacándose el trabajo pionero realizado por el Centro de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia. Este centro ha liderado investigaciones de vanguardia en el desarrollo de cultivos transgénicos, enfocándose en especies clave para la seguridad alimentaria del país, como arroz, papa, café y caña de azúcar.

Tabla2. Proporción Actores Involucrados y cultivos Investigados en Colombia.<sup>6</sup>

Tipo de Institucion	% Grupos de Participacion e investigacion	Cultivos Transgénicos Investigados en Colombia
Universidades	35%	Arroz, Papa, Tabaco, Frijol, Tomate, Maracuyá, Café, Caña de Azúcar, Arveja, Crisantemo, Heliconias
Sector Productivo	33%	
Centros de Investigación Privados	27%	
No Formales	5%	

Nota: Castellanos en Excel (2024)

<sup>6</sup> Nota: Más del 50% de las investigaciones se han enfocado en la parte agrícola y vegetal.



Estudios recientes han demostrado que las variedades transgénicas de arroz desarrolladas en este centro han logrado incrementar significativamente la resistencia a enfermedades y mejorar el rendimiento en condiciones adversas, lo que representa un avance significativo en la producción agrícola colombiana (Ciencia, 2018, p. 45). En el contexto de la adopción de cultivos genéticamente modificados en Colombia, según informes de la Asociación de Biotecnología Vegetal Agrícola (AGROBIO, 2020) se observa un crecimiento sostenido en la implementación de estas tecnologías. Datos actualizados revelan que en el año 2019 se sembraron aproximadamente 25,000 hectáreas de algodón y 20,000 hectáreas de maíz transgénico en el país. Estos cultivos han demostrado beneficios tangibles, como la reducción de pérdidas por plagas y enfermedades, así como la disminución del uso de agroquímicos. pg. 72. Además, la

aplicación de tecnologías de ingeniería genética en Colombia ha permitido la creación de variedades mejoradas de cultivos como el tomate y el frijol, que presentan características de resistencia y calidad superiores a las variedades convencionales. Por ejemplo, la introducción de genes de resistencia a enfermedades en el tomate ha contribuido a prolongar la durabilidad de los frutos y reducir las pérdidas postcosecha, como lo evidencia un estudio reciente publicado en la Revista de Biotecnología (2017, p. 112).

En términos de sostenibilidad ambiental, la biotecnología agrícola ha desempeñado un papel crucial en la reducción del impacto ambiental de la agricultura en Colombia. La implementación de cultivos transgénicos resistentes a plagas ha permitido disminuir la aplicación de pesticidas químicos, lo que ha contribuido a la conservación de la biodiversidad

y la calidad del suelo. Investigaciones recientes realizadas por Campos y Seguel (2019) han confirmado que estas tecnologías representan una herramienta fundamental para mejorar la eficiencia de los sistemas agrícolas y reducir su huella ambiental.

## Desarrollo Fase 2

Dentro del uso de la biotecnología en prácticas productivas, es fundamental abordar no solo las empresas que forman parte de esta alternativa al modelo productivo tradicional, sino también las conexiones entre productores y la relación con sus consumidores, en este contexto, en 2008 se crea Biotropic, cuando diez entidades de Colombia firman una alianza para apoyar el desarrollo de proyectos y negocios de biotecnología y biodiversidad en el país, este esquema de trabajo en red evolucionó con el tiempo y en 2014 se decidió constituir Biointropic como una corporación privada para llevar a cabo este objetivo, contando con socios como la Universidad EAFIT, la Universidad Nacional (sede Medellín), la Universidad de Medellín, la Universidad EIA, la Universidad CES, Ecoflora Agro, Ecoflora Cares y Superbac de Brasil. Hoy en día, esta entidad se ha consolidado como el primer Centro de Negocios Biotecnológicos en Colombia (CDNBio) y el primer Centro de Innovación en el área de la biotecnología, certificado por Colciencias (hoy Minciencias). Biointropic se destaca como una entidad de referencia en el sector, estableciendo importantes conexiones con actores clave del ámbito biotecnológico en Colombia y actuando como mediador de negocios biotecnológicos, conectando intereses entre empresas que generan productos con un enfoque bioeconómico y los consumidores.

Según sus proyecciones, en el año 2050 la población mundial alcanzará los 9 mil millones de personas, con una mayoría envejecida, el 70% de la población viviendo en ciudades y el campo abandonado, lo que implicará un aumento del 50% en la demanda de alimentos. Esta situación resalta la necesidad de actuar de inmediato, y es aquí donde entran en juego sus iniciativas relacionadas con biocomercio y la aplicación de la biotecnología. Por otro lado, Cenipalma, una entidad científica y técnica sin ánimo de lucro, surgió en el XVIII Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite en 1990, acumulando 30 años de experiencia en la promoción de la investigación, desarrollo y transferencia de tecnología en el ámbito del cultivo, procesamiento y utilización de la palma de aceite es también un claro exponente del potencial de la biotecnología en la industria. Su objetivo primordial es fomentar el desarrollo sostenible de la agroindustria y mejorar las condiciones de vida de los productores de palma en Colombia, mediante el empleo de la ciencia, la tecnología y la innovación. De esta manera, la incorporación de la biotecnología es tomada como una herramienta fundamental para apoyar los procesos de selección de materiales en los programas de mejoramiento genético de muchas especies, con ello se pretende abordar las deficiencias que engloben las interacciones biológicas, genéticas y moleculares responsables de la respuesta de la palma ante condiciones desfavorables, para ofrecer soluciones a largo plazo a los desafíos fitosanitarios que enfrenta la industria palmicultora colombiana y, de igual forma, a los problemas asociados a condiciones de tipo abiótico, en consonancia con este propósito, el programa de Biología y Mejoramiento Genético de la palma de aceite se dedica de manera constante a la profundización en los procesos biológicos, con el objetivo de ofrecer so-



luciones destinadas a mejorar el estado de salud de las plantas y a incrementar la eficiencia productiva del cultivo. Este programa se estructura en cinco áreas de investigación distintas: Mejoramiento genético, que engloba la gestión de colecciones biológicas y la producción de variedades; fisiología de la palma; biología molecular; y cultivo de tejidos in vitro.

En particular, el área de biología molecular se enfoca en el análisis de las interacciones entre la planta y los agentes patógenos desde una perspectiva genética, en relación con el agente causal de las enfermedades, se dedica especial atención a la identificación, detección temprana y comprensión detallada de los aspectos cruciales asociados con la patogenicidad y el proceso de infección. Del mismo modo, se investiga la genética de la palma con el propósito de comprender los fundamentos moleculares de sus mecanismos de defensa, si bien este tipo de conocimiento se considera un componente esencial en el proceso de mejoramiento vegetal, las enfermedades que reciben mayor énfasis en la investigación son la Pudrición del cogollo, la pudrición basal del estípote y la Marchitez letal.

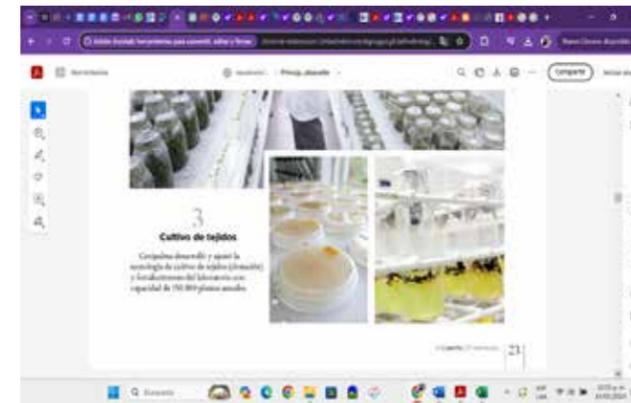
Por ejemplo, la Pudrición del cogollo (PC) representa una de las enfermedades de mayor relevancia que incide en la palma de aceite, particularmente en los cultivares de *E. guineensis*, esta enfermedad ha resultado en la erradicación y pérdida de productividad de numerosas hectáreas plantadas con este tipo de especie, ocasionando no solo un impacto adverso tanto en el ámbito económico sino también en lo social. Por consiguiente, como alternativa para mejorar la difícil situación del sector, Cenipalma ha trabajado en el desarrollo de híbridos con características superiores y con mayor rendimiento mediante técnicas de biotecnología como el OxG (cruce

entre *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*), con resistencia (parcial) a esta enfermedad, lo que ha ayudado a incrementar de forma sistemática la productividad de estos cultivares alcanzando niveles superiores a las 10 toneladas de aceite de palma crudo por hectárea al año. La gestión de la relación de nutrientes posibilita una disminución del 30 % en la velocidad de propagación de la PC, mientras que un adecuado manejo del drenaje y las condiciones físicas del suelo pueden reducir hasta en un 35 % la tasa de desarrollo de la enfermedad.



Morfología de los frutos *E. guineensis* (izquierda) e híbridos OxG (derecha). Foto: Kennyher Caballero B.

Por otra parte, el área de cultivos de tejidos in vitro tiene como principal objetivo la realización exitosa de la clonación de materiales de interés para la industria de la palma de aceite a nivel nacional, así como la posterior evaluación del comportamiento agronómico de dichos materiales, esta área contribuye directamente al aumento de la productividad al proporcionar la capacidad de clonar y, en consecuencia, preservar materiales genéticos de alto rendimiento o con resistencia a enfermedades. Además, se genera material base para la implementación de ensayos agronómicos o de laboratorio que requieren uniformidad genética para un análisis más preciso de los tratamientos en estudio.



Tomado de: Cenipalma, Tres décadas de investigación y extensión al servicio de los palmicultores

Hasta el momento, las palmas clonadas comparten la característica de haber sobrevivido a epidemias de Pudrición del Cogollo en las regiones oriental y central. En la actualidad, se están llevando a cabo las primeras evaluaciones agronómicas de estas palmas clonadas en condiciones de campo. En perspectiva, la implantación a gran escala de estos materiales representa una oportunidad para reducir costos en el sector palmicultor al ofrecer materiales con uniformidad en su manejo agronómico y con una

garantía genética de alta productividad y resistencia a enfermedades.

Por otro lado, Natural control (2024), es una empresa ubicada en el kilómetro 3 Vereda, San Nicolás-La Ceja – Antioquia, desde 1998 produce productos biológicos y servicios de laboratorio para la producción agropecuaria sostenible y sustentable, además como propósito tienen que para el 2025 sean una empresa que trasciendan la forma de producir alimentos agrícolas convencionales a una producción inicialmente para la población, medio ambiente y recursos naturales. Por lo cual, su fomento es producir y comercializar productos biológicos y servicios de laboratorio de sanidad vegetal y físico – químico de suelos a través de biotecnología que tengan un valor agregado y generen aumento en la rentabilidad del agro, por lo tanto, Natural control asegura el cuidado de los recursos naturales, manejando una fusión entre física química y biología a través de materia orgánica, texturas, radiografías microbiológicas namatologicas, pH, bases del suelo y la disponibilidad de los nutrientes.

Figura Productos de natural control 2024



Fuente: Tomado de Natural control (2024)



Figura: Cultivos focalizados y plagas

**DOSIS**

CULTIVO	PLAGAS	DOSIS
ARROZ	<i>Pyricularia Oryzae</i>	4 – 5 c.c. /Litro de agua
FLORES	<i>Rhizoctonia</i>	
PALMA	<i>Sphaerotheca pannosa,</i>	
CÍTRICOS	<i>Botrytis sp.</i>	
FRUTALES	<i>Phytophthora palmivora,</i>	
AROMÁTICAS	<i>Capnodium citri</i>	

Fuente: Tomado de Natural control (2024)

En consecuencia, el propósito de la empresa es el manejo de una alta variedad de productos como el ANISAGRO WP, que es un producto biológico, a base de tazas (Cepas) del hongo *Metarhizium anisopliae* y esporas de la bacteria *Bacillus popilliae* provenientes de la colección propiedad de (NATURAL CONTROL S.A), especializadas en el control de insectos y larvas de algunos coleópteros y es catalogada como un bioinsecticida. Por otro lado, está el BÁLIENTE es un bioinsumo Orgánico-Natural, único con base en bacillustatinas y carbono orgánico oxidable de rápida asimilación, lo que la hace útil de manera preventiva impidiendo la germinación de bacterias. En el área de laboratorio se encuentra la trampa solar que sirve para cultivos de mucha extensión en donde no hay luz eléctrica, la lámpara solar es inalámbrica lo que le permite una verdadera solución para capturar y proteger los cultivos de tan nocivos y letales insectos, Natural control (2024).

nal de Ciencias de Estados Unidos (NAS, 2017), los avances en este campo han engendrado innovaciones relevantes en diversos campos, tales como la medicina, la agricultura, alterando esencialmente nuestra interacción con el entorno.

En el ámbito médico, la biotecnología ha propiciado avances significativos, como el desarrollo de terapias génicas, cuyo



potencial terapéutico se ha evidenciado en el tratamiento de afecciones como la fibrosis quística, la distrofia muscular y ciertas manifestaciones cancerígenas. Asimismo, la introducción de fármacos biotecnológicos, tales como proteínas terapéuticas, anticuerpos monoclonales y vacunas recombinantes, ha revolucionado el manejo de enfermedades complejas como el cáncer, la diabetes y los trastornos autoinmunes. Estos adelantos han permitido terapias más precisas y eficaces, lo que ha resultado en una mejora sustancial en la calidad de vida de los pacientes y ha optimizado la atención de patologías previamente consideradas intratables.

Por su parte, en el sector agrícola, las técnicas biotecnológicas han propiciado la creación de cultivos más resilientes a enfermedades y plagas, incrementando así la productividad y la seguridad alimentaria (Food and Agriculture Organization, 2018).

Las innovaciones derivadas de la biotecnología han generado una amplia gama de beneficios, pero también han planteado desafíos éticos y sociales significativos que requieren un análisis detallado. Entre estos desafíos, surge el debate sobre la manipulación genética en la producción de alimentos, que incluye la creación de cultivos biofortificados con niveles mejorados de vitaminas y minerales. Estos avances tienen un impacto positivo en la lucha contra la malnutrición en comunidades vulnerables. Sin embargo, también generan preocupaciones sobre la seguridad y la aceptación pública de los alimentos modificados genéticamente. Es esencial abordar estos desafíos de manera responsable y ética, garantizando que la implementación de la biotecnología priorice tanto el bienestar humano como la integridad del entorno ambiental.

Para finalizar, según Modern Biotechnology for Agricultural Development in Colombia, la biotecnología para los cultivos da como resultado una mejora en la absorción de nutrientes, de agua, protección física contra patógenos, generando resistencia y aporte de minerales para que finalmente y lo más importante para los agricultores es que aumenta la producción de sus cosechas, mejora su rentabilidad y optimiza la abonada química ya que hay un mayor recicle de los nutrientes aplicados. La implementación de la biotecnología en el sector agrícola ha generado un impacto ambiental significativo en Colombia entre 1970 y 2014, Villanueva-Mejía(2018).La introducción de innovaciones tecnológicas en la agricultura ha transformado la forma en que se produce alimentos, pasando de una producción tradicional a una más industrializada y tecnificada. Sin embargo, este proceso ha llevado a una serie de consecuencias negativas para el medio ambiente, como la degradación am-



### Desarrollo Fase 3

La biotecnología, de igual modo, ejerce una influencia notable en la sociedad. Conforme al informe emitido por la Academia Nacio-

biental y la pérdida de biodiversidad, la agricultura colombiana ha sido responsable de una serie de impactos ambientales negativos, incluyendo la deforestación, la contaminación del agua y del suelo, y la pérdida de hábitats naturales. Además, la producción agrícola intensiva ha llevado a un aumento en el uso de agroquímicos, lo que ha afectado negativamente la calidad del agua y del suelo, así como la salud de los seres humanos

y los ecosistemas, Villanueva-Mejía(2018). Es importante destacar que la biotecnología ha permitido un aumento en la producción agrícola, pero a costa de un mayor impacto ambiental. Por lo tanto, es fundamental encontrar un equilibrio entre la producción de alimentos y la protección del medio ambiente, a fin de garantizar la sostenibilidad a largo plazo de la agricultura colombiana.

## DISCUSIONES

Es fundamental brindar un respaldo integral a la investigación e innovación en biotecnología para abordar los desafíos de manera efectiva. Entidades como el Centro de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia han liderado investigaciones pioneras en el desarrollo de cultivos transgénicos, lo que ha permitido mejorar la resistencia a enfermedades y el rendimiento de cultivos clave para la seguridad alimentaria del país.

te 25,000 hectáreas de algodón y 20,000 hectáreas de maíz transgénico en Colombia, lo que evidencia un crecimiento sostenido en la adopción de estas tecnologías.

Desarrollar un marco regulatorio sólido para la biotecnología agrícola, ejemplo de ello es la aprobación de la Ley número 740 de 2002, que respalda el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, representa un avance significativo en la regulación de los movimientos transfronterizos de organismos vivos modificados. Este protocolo establece criterios detallados para garantizar la seguridad biotecnológica y proteger la diversidad biológica.

Promover la implementación de cultivos transgénicos ha demostrado beneficios tangibles, como la reducción de pérdidas por plagas y enfermedades, así como la disminución del uso de agroquímicos. En 2019, se sembraron aproximadamen-

## CONCLUSIONES

En síntesis, la aplicación de la biotecnología en el desarrollo agropecuario colombiano es un componente crucial para el fomento y la mejora de las características nutricionales, la sostenibilidad ambiental y la res-

ponsabilidad hacia todas las formas de vida, destacando avances significativos en la creación de cultivos genéticamente modificados y en la implementación de bioprocesos industriales más eficientes. La adopción de estas tecnologías no

solo mejora incrementa la productividad agrícola y asegura la seguridad alimentaria, sino que también promueve la preservación de los recursos naturales y la sostenibilidad ambiental en el país.

Colombia, actualmente, dispone de diversos centros de investigación y universidades con recursos y capacidades adecuadas para llevar a cabo investigaciones en tecnologías avanzadas. La vasta riqueza natural del país subraya la importancia del progreso en biotecnología, especialmente para sectores como el agropecuario. No obstante, a pesar de la existencia de estudios destacados en este campo, el país enfrenta desafíos.

Empresas como Biotropic y Cenipalma han desempeñado un rol crucial en este

proceso de desarrollo, impulsando la investigación y la aplicación de tecnologías biotecnológicas. Es fundamental reconocer que la biotecnología no solo facilita la modernización y la creación de productos de alto valor añadido, sino que también constituye un motor de innovación y un factor determinante para la competitividad empresarial en un contexto global dinámico.

Por consiguiente, resulta imperativo seguir invirtiendo en investigación, desarrollo e implementación de prácticas biotecnológicas con el fin de maximizar los beneficios de estas tecnologías. Además, es esencial implementar políticas institucionales que garanticen un futuro próspero y sostenible para el sector agrícola en Colombia.

## REFERENCIAS

- Natural control (2024). Natural control. Recuperado de <https://www.naturalcontrol.com.co>
- Evolución Del Concepto De Competitividad, B., & Benitez Codas, M. (s/f). Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias. [Redalyc.org](https://www.redalyc.org/pdf/2150/215025114007.pdf). Recuperado el 11 de abril de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/2150/215025114007.pdf>
- Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, C. (2021-10-07). Cenipalma tres décadas de investigación y extensión al servicio de los palmicultores. Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma. Recuperado de: <http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/141298>
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Recuperado de: [www.fedepalma.org](http://www.fedepalma.org)
- Cenipalma. Recuperado de: <https://www.cenipalma.org/>
- Biotropic. (s/f). Biotropic. Recuperado de <https://biointropic.com/>
- Villanueva-Mejía, Diego F.. (2018). Modern Biotechnology for Agricultural Development in Colombia. Ingeniería y Ciencia, 14(28), 169-194. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.14.28.7>
- Sternberg (2018) "La revolución biológica de la edición genética con tecnología CRISPR". <https://www.bbvaopenmind.com/wp-content/uploads/2018/12/BBVA-OpenMind-Samuel-H-Sternberg-La-revolucion-biologica-de-la-edicion-genetica-con-tecnologia-CRISPR.pdf>

- Informe País (2018) “Cultivos transgénicos en Colombia” <https://www.semillas.org.co/apc-aa-files/5d99b14191c59782eab3da99d8f95126/informe-pais-ogm-2018-web.pdf>
- Barreto & Romero (2017) “LA BIOTECNOLOGÍA EN EL DESARROLLO AGRÍCOLA DE COLOMBIA.” <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/17387>
- López, A. R. (2015). Bermejo Gómez de Segura, Roberto: Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis (2014). Editorial: Hegoa, Instituto de Estudios sobre Desarrollo y Cooperación Internacional recuperado de <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/ecodiseno/article/download/8050/7995>
- Montenegro & Hernandez (2015) Biotecnología aplicada al desarrollo agropecuario colombiano. <https://doi.org/10.22490/21456453.1408>
- Olaya, Á. P. G. (2006). Los modelos neoclásicos de desarrollo sostenible y la noción de sostenibilidad débil. Recuperado de <https://doi.org/10.21500/22563202.485>
- DANE, Dirección de síntesis y cuentas nacionales metodología de la cuenta satélite de medio ambiente (2003) recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-satelite/cuenta-satelite-ambiental-csa>
- Ley 740 de 2002. Por medio de la cual se aprueba el “Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica”, hecho en Montreal, el veintinueve (29) de enero de dos mil (2000). [https://minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/LEY%200740%20DE%202002.pdf](https://minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200740%20DE%202002.pdf)
- Jansen et al (2002) “Identification of genes that are associated with DNA repeats in prokaryotes” DOI: 10.1046/j.1365-2958.2002.02839.x
- Lopera (1997) “La investigación y el desarrollo de la tecnología agropecuaria.” <http://hdl.handle.net/20.500.12324/32583>
- Montagu et al (1983) “Introduction of Genetic Material into Plant Cells” [https://www.academia.edu/24524403/Introduction\\_of\\_Genetic\\_Material\\_into\\_Plant\\_Cells](https://www.academia.edu/24524403/Introduction_of_Genetic_Material_into_Plant_Cells)

DOI: <https://doi.org/10.33881/IBR0059>

Fuente de imágenes: Shutterstock <https://shutterstock.com/es/>

**Maria Alexandra Castro Rico**  
[maria.castro@docente.ibero.edu.co](mailto:maria.castro@docente.ibero.edu.co)  
 Corporación Universitaria Iberoamérica

**John Hernando Escobar Rodríguez**  
[john.escobar@docente.ibero.edu.co](mailto:john.escobar@docente.ibero.edu.co)  
 Corporación Universitaria Iberoamérica

**Francisco Caballero Otalora**  
[francisco.caballero@docente.ibero.edu.co](mailto:francisco.caballero@docente.ibero.edu.co)  
 Corporación Universitaria Iberoamérica

