



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

CENTRO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, SOCIALES Y
TECNOLÓGICAS DE LA AGROINDUSTRIA Y LA AGRICULTURA MUNDIAL

Estrategia y modelo de negocios de empresas del microbioma vegetal

TESIS

Que como requisito parcial

Para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN ESTRATEGIA
AGROEMPRESARIAL**

Presenta

Jorge Loaeza Joachin

Bajo la supervisión de:

Dr. Manrrubio Muñoz Rodríguez



Chapingo, Estado de México, septiembre de 2022

Estrategia y modelo de negocios de empresas del microbioma vegetal

Tesis realizada por **Jorge Loaeza Joachin**, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

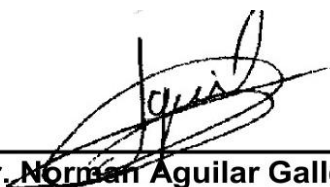
MAESTRO EN CIENCIAS EN ESTRATEGIA AGROEMPRESARIAL

Director



Dr. Manrrubio Muñoz Rodríguez

Asesor



Dr. Norman Aguilar Gallegos

Asesor



Dr. Asael Islas Moreno

DEDICATORIA

A mis padres, Ana y Luis, quienes me apoyan incondicionalmente en todos los proyectos y decisiones que tomo; por sus consejos, por sus palabras de calma y de motivación. Gracias por siempre estar conmigo. Los amo.

A mi hermano, **Luis** (†), que me enseñó que cualquier proyecto es posible con disciplina, trabajo y dedicación, gracias por todas tus enseñanzas y espero estés orgulloso de mi, seguiré mejorando como te lo prometí.

A mis hermanos, **Elías, Juan, Sergio y Rubén**, que a pesar de la distancia siempre están apoyándome cuando requiero de su ayuda, seguiré mejorando para ser ejemplo para ustedes, los quiero mucho.

A mis hermanas, **Luz María y Zaideé**, que a pesar que hablamos poco, siempre me apoyan en mis actividades, siempre estaré para ustedes, las quiero mucho.

A mis sobrinos, **Ana Luz, Rosario, Luis Enrique, Luci Guadalupe, Mateo, Elías Josafat y María Abigail**, que siempre están para alegrarme y hacer de mis días más divertidos, los quiero mucho.

A toda mi **familia y amigos**, que me han apoyado en mi camino de la maestría.

A todas las personas que formaron parte de mi proceso de formación académica, gracias.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme cumplir una de mis metas planteadas en mi vida.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM) por el apoyo brindado en mis estudios de licenciatura y posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el financiamiento durante mis estudios de posgrado.

Al doctor Manrrubio Muñoz Rodríguez, profesor-investigador del CIESTAAM-UACH, por sus enseñanzas, consejos y apoyo brindado en mi travesía del posgrado. Por demostrarme que la pasión por la investigación permite presentar un buen trabajo. Por su compromiso al discutir y aprender juntos de un tema novedoso. Por enseñarme que es posible comprender y presentar los resultados sólidos con dedicación y esfuerzo. Mi admiración completa para él.

Al doctor Norman Aguilar Gallegos, profesor-investigador del CIESTAAM-UACH, por su apoyo y sugerencias atinadas cuando lo solicitaba. Por ser un ejemplo para mí de perseverancia y superación académica.

Al doctor Asael Islas Moreno, profesor-investigador de la Universidad Autónoma de Hidalgo, por su apoyo brindado desde el comienzo de mi maestría, por estar siempre atento a mis dudas y por demostrarme lo increíble que es compartir nuestros conocimientos a otras personas.

DATOS BIBLIOGRÁFICOS

Jorge Loaeza Joachin, nació el 23 de abril de 1995 en Tecoanapa, Guerrero. Se graduó como Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia, generación 2014-2019. Durante sus estudios realizó sus prácticas profesionales en Peribán, Michoacán, donde realizó seguimiento a plantaciones de aguacate.

En diciembre de 2019, aprobó el Diplomado en “Desarrollo de Agronegocios Sostenibles” otorgado por FIRA-FND-AGROASEMEX-CIESTAAM.

En octubre de 2021 participó como ponente en el IX Congreso Internacional y XXIII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas con el tema “Innovaciones en el sector agroalimentario: Caso Indigo Agriculture”. En noviembre de 2021, participó en el programa de Voluntariado Juvenil de la Alianza del Pacífico en el proyecto “Tierra joven: Emprendiendo por la tierra 2021”, donde desarrolló ponencias sobre “Responsabilidad social” y emprendimiento.

En diciembre de 2021, obtuvo la acreditación en “Liderazgo Internacional 2021-2022” por la U.S. Embassy-COPARMEX Jalisco-Kingala.

En junio de 2022, obtuvo la certificación como consultor del “Programa Becrop® Advisor” otorgado por Biome Makers, para realizar evaluaciones del microbioma del suelo.

En junio de 2022, participó como asesor de la tesis de licenciatura del departamento de Zootecnia de la UACH “Comportamiento conductual de bovinos en finalización bajo condiciones de corral en Veracruz, México”.

Del 2019 al 2022 fue estudiante de la Maestría en Ciencias en Estrategia Agroempresarial en el Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM) de la Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN

ESTRATEGIA Y MODELO DE NEGOCIOS DE EMPRESAS DEL MICROBIOMA VEGETAL

Jorge Loaeza Joachin

Manrrubio Muñoz Rodríguez

El sistema alimentario dominante hace uso intensivo de fertilizantes y plaguicidas sintéticos y genera la tercera parte de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel global. Frente a esto, una innovación prometedora es el uso de microbios asociados a plantas conocidos como microbioma vegetal (MV). Algunas empresas basadas en MV han emergido exitosamente, aunque poco se sabe sobre cómo surgieron y cómo funcionan. El objetivo fue identificar los factores que propician el surgimiento de empresas basadas en MV y analizar su funcionamiento. Se realizó un análisis del entorno para identificar los factores que impulsan el surgimiento. Adicionalmente, se emplearon los conceptos de empresa-red y modelo de negocios para analizar el funcionamiento de la empresa Indigo Ag. La empresa fue seleccionada mediante el enfoque de casos desviados y los datos fueron obtenidos a partir de la revisión del sitio web, noticias, reportes, artículos científicos y casos documentados de la empresa. Los principales factores que impulsan el surgimiento de empresas de MV son: (1) inversiones de capital de riesgo, (2) presiones normativas internacionales, (3) convergencia de tecnologías asociadas a la ciencia de datos, y (4) creciente demanda de alimentos sostenibles. El funcionamiento de Indigo Ag se basa en la interacción de un equipo multidisciplinario y altamente calificado con diversos actores como agricultores, universidades, fermentadoras de microorganismos a gran escala, empresas productoras de semillas, empresas de la industria alimentaria, logística de transporte, e inversionistas. El valor generado por Indigo Ag se basa en la gestión ágil y directa y la identidad preservada en sus productos. Así, los involucrados logran apreciar atributos como la sostenibilidad, seguridad, trazabilidad y conveniencia. El entorno ofrece condiciones para el surgimiento de nuevas empresas de MV; sin embargo, la convergencia tecnológica y la integración de diversos actores son necesarias para el aprovechamiento de las oportunidades.

Palabras claves: Innovación disruptiva, capital de riesgo, microbioma vegetal, estrategia y modelo de negocios.

ABSTRACT

STRATEGY AND BUSINESS MODEL OF PLANT MICROBIOME COMPANIES

Jorge Loaeza Joachin

Manrrubio Muñoz Rodríguez

The dominant food system makes intensive use of synthetic fertilisers and pesticides, and generates a third of global greenhouse gas (GHG) emissions. Against this, a promising innovation is the use of plant-associated microbes, known as plant microbiome (PM). Some PM-based companies have emerged successfully, even though little is known about how they emerged and work. The objective of this research was to identify the factors that lead to the emergence of PM-based companies, besides analysing their operation. An analysis of the environment was carried out to identify the factors that cause the emergence of companies. Additionally, the concepts of company-network and business model were used to analyse the operation of Indigo Ag company. The company was chosen through the deviant cases approach. Data were obtained from the review of the company website, as well as of news, reports, scientific articles, and documented. The results show that the main factors driving the emergence of PM companies are: (1) venture capital investments, (2) international regulatory pressures, (3) convergence of technologies associated with data science, and (4) growing demand for sustainable food. Indigo Ag's operation is based on the interaction of a multidisciplinary and highly qualified team with diverse stakeholders such as farmers, universities, large-scale microorganism fermenters, seed production companies, food industry companies, transport logistics, and investors. The value generated by Indigo Ag is based on agile and direct management, as well as on the identity preserved in its products. In this way, those stakeholders involved can appreciate the attributes of sustainability, safety, traceability, and convenience. The environment offers the conditions for the emergence of further PM companies; however, technological convergence and the integration of various actors are necessary to take advantage of the opportunities.

Keywords: Disruptive innovation, venture capital, plant microbiome, strategy and business model.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DATOS BIBLIOGRÁFICOS	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Preguntas de investigación.....	3
1.3. Objetivo general.....	3
1.3.1. Objetivos específicos	3
1.4. Estructura de la tesis	4
2. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL	6
2.1. Estrategia.....	6
2.2. Análisis del entorno	7
2.3. Modelo de negocios.....	8
2.4. Innovación disruptiva	9
2.5. Empresa red	12
2.6. Sistemas alimentarios sostenibles.....	13
3. REVISIÓN DE LITERATURA	16
3.1. ¿Qué es el microbioma vegetal?	16
	VII

3.2.	Microbioma vegetal de la rizosfera	18
3.3.	Microbioma vegetal de la endosfera	19
3.4.	Microbioma vegetal de la filosfera	20
3.5.	Beneficios del microbioma vegetal a la agricultura	20
4.	METODOLOGÍA	25
4.1.	Selección del estudio de caso	25
4.2.	Ejes de análisis	28
4.2.1.	Contexto del modelo de negocios	28
4.2.1.1.	Fuente de información	29
4.2.2.	Empresa - red	31
4.2.2.1.	Fuente de información	31
4.2.3.	Modelo de negocios	32
4.2.3.1.	Fuente de información	32
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
5.1.	Análisis del contexto del modelo de negocios	33
5.1.1.	Fuerzas de la industria	33
5.1.1.1.	Jugadores consolidados en la industria.....	33
5.1.1.2.	Nuevos jugadores en la industria.....	42
5.1.1.3.	Inversiones	45
5.1.1.4.	Productos sustitutos	52
5.1.2.	Tendencias clave	54
5.1.2.1.	Tendencias tecnológicas	55
5.1.2.2.	Tendencias normalizadoras.....	60

5.1.2.3.	Tendencias sociales	68
5.1.2.4.	Cambio climático	69
5.1.3.	Fuerzas del mercado.....	72
5.1.3.1.	Cuestiones del mercado	72
5.1.3.2.	Segmentos de mercado.....	74
5.1.3.3.	Costes de cambio	75
5.1.4.	Fuerzas macroeconómicas	82
5.1.4.1.	Condiciones del mercado global.....	82
5.1.4.2.	Precio de los alimentos.....	82
5.2.	Caso Indigo Agriculture: análisis de la empresa-red.....	83
5.2.1.	Financiamiento	84
5.2.2.	Área de investigación, desarrollo e innovación (I&D+i).	86
5.2.3.	Área comercial	91
5.2.4.	Área de Marketplace	93
5.3.	Modelo de Negocio-Indigo Ag.....	98
5.3.1.	Propuesta de valor	98
5.3.2.	Segmentos de Clientes	100
5.3.3.	Relación con clientes	101
5.3.4.	Actividades clave.....	102
5.3.5.	Recursos clave.....	103
5.3.6.	Asociaciones clave.....	103
5.3.7.	Canales	104
5.4.	Retos para el despegue del microbioma vegetal.	105
6.	CONCLUSIONES	108
7.	LITERATURA CITADA	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la tesis	5
Figura 2. Lienzo del modelo de negocios	9
Figura 3. Modelo de innovación disruptiva.....	11
Figura 4. Áreas de interacción y reclutamiento del microbioma vegetal y algunos servicios que brinda a la planta.....	17
Figura 5. Categorías de productos biológicos.....	22
Figura 6. Resultados del Análisis Multicriterio.....	28
Figura 7. Alianzas y adquisiciones de empresas relacionadas con el microbioma vegetal	42
Figura 8. Surgimiento de empresas vs publicaciones científicas relacionadas con el término " <i>plant microbiome</i> "	45
Figura 9. Evolución de nuevas Startups en la industria agrícola apoyadas por capital de riesgo (a) y modalidades de inversión (b).....	46
Figura 10. Inversionistas principales en empresas de microbioma vegetal	47
Figura 11. Proceso de ingeniería del microbioma vegetal	58
Figura 12. Descripción de la ingeniería de microbioma habilitada por biología sintética en la agricultura sostenible	59
Figura 13. Patent Asset Index de las 20 principales empresas propietarias de microbioma	64
Figura 14. Probabilidad en la toma de decisiones ecológicas	69
Figura 15. Temperatura media global de la superficie	70
Figura 16. Cambios en la temperatura de Estados Unidos.....	71
Figura 17. Estructura de empresa-red de Indigo Ag.	86

Figura 18. Funcionamiento del área de investigación, desarrollo e innovación de Indigo Ag.....	88
Figura 19. Tiempo para el desarrollo de productos Indigo Ag vs tecnología agrícola actual.....	89
Figura 20. Funcionamiento de Indigo carbón para agricultores	93
Figura 21. Funcionamiento del Marketplace para agricultores	94
Figura 22. Funcionamiento de Indigo Transport para agricultores.....	97
Figura 23. Demostración de rendimiento en maíz. Datos de la empresa.....	99
Figura 24. Modelo de negocios de Indigo Ag.....	105

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Diferencias de la estrategia del océano rojo y la estrategia del océano azul	6
Cuadro 2. Beneficio del microbioma vegetal en la nutrición vegetal	23
Cuadro 3. Beneficios del microbioma vegetal en control fitosanitario	24
Cuadro 4. Criterios de selección del caso.....	27
Cuadro 5. Tópicos para investigar en el análisis del entorno.....	30
Cuadro 6. Ventas de las empresas más grandes del sector agroalimentario en 2018.....	34
Cuadro 7. Productos microbianos de Bayer	37
Cuadro 8. Productos microbianos de Syngenta.....	39
Cuadro 9. Productos microbianos de BASF	40
Cuadro 10. Empresas del microbioma vegetal	43
Cuadro 11. Inversiones en empresas de microbioma vegetal	50
Cuadro 12. Sustitución parcial de la fertilización sintética en la agricultura	52
Cuadro 13. Fijación biológica de nitrógeno mediante microbios	53
Cuadro 14. Cambios porcentuales en la producción total de Estados Unidos..	71
Cuadro 15. Atributos de las innovaciones.....	75
Cuadro 16. Efecto de plaguicidas en microbios benéficos.....	77
Cuadro 17. Productos microbianos de Indigo Ag.....	89

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura enfrenta varios desafíos para poder abastecer de alimentos a una población mundial en crecimiento, que se prevé alcanzará entre 9 y 11 mil millones de habitantes para el año 2050 (Eibl et al., 2021), lo cual requerirá un aumento en la producción de alimentos de entre 60 y 100% (Compant, Samad, Faist, & Sessitsch, 2019). Con la aparición de la revolución verde, la producción de alimentos se basó principalmente en utilizar fertilizantes sintéticos, pesticidas, exceso de agua y otras tecnologías que impulsaron la productividad y evitaron hambrunas a nivel mundial (Patel, 2013; Pielke & Linnér, 2019). Lamentablemente, el costo de estos logros se observa hoy en día en la contaminación del agua, suelo y pérdida de biodiversidad que favorecen el cambio climático (Duhan et al., 2017; R. Singh & Singh, 2017). Además, se ha documentado que el sistema alimentario actual emite cerca del 30% del total de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Rosenzweig et al., 2020). De continuar con la inercia actual de los agronegocios, será imposible cumplir con el objetivo del Acuerdo de París de evitar superar el umbral de seguridad de 1.5°C de incremento de temperatura en comparación con los niveles preindustriales (M. Clark et al., 2020). De esta manera, se ha reconocido el efecto de los GEI en el cambio climático que se traduce en sequías más prolongadas, aumento en la temperatura, mayor frecuencia y severidad de desastres naturales como los huracanes, y aumento en la incidencia de plagas y enfermedades que afectan la producción de alimentos (Nelson et al., 2009).

Para algunos autores, el sistema alimentario global actual es responsable de gran parte de los impactos negativos en la sociedad y en el ambiente (Oliver et al., 2018) y; por lo tanto, se deben impulsar los sistemas alimentarios basados en la salud planetaria (Fraser & Campbell, 2019), así como de forma circular (Van Zanten, Van Ittersum, & De Boer, 2019), regenerativa (Gosnell, Gill, & Voyer, 2019) e inclusiva (Pouw, Bush, & Mangnus, 2019).

1.1. Planteamiento del problema

Ante el desafío de satisfacer la demanda de alimentos de una población en crecimiento, el sistema alimentario actual debe contribuir a preservar los recursos naturales planetarios (Lindgren et al., 2018), por lo que es necesario impulsar innovaciones desde la producción primaria de alimentos que promuevan un sistema alimentario más sostenible (Herrero et al., 2020).

Las innovaciones con frecuencia surgen a partir de nuevos descubrimientos científicos o de la ingeniería de las empresas en las áreas de investigación y desarrollo (I&D) (Tait & Wield, 2021). En este sentido, la investigación del microbioma ha despertado el interés en la comunidad científica en las últimas dos décadas, debido a los beneficios de su aplicación en la salud planetaria (Proctor, 2019). Además, se han reconocido los beneficios del microbioma en diversas disciplinas (Blaser et al., 2016), lo que requiere equipos interdisciplinarios en campos como agricultura, ciencia de alimentos, biotecnología, bioeconomía y especialmente salud humana para el desarrollo de productos (Berg et al., 2020). En la agricultura ha crecido el interés por la tecnología disruptiva del microbioma vegetal, la cual se usa para desarrollar agroinsumos sostenibles con potencial en la reducción de plagas, aumentar el rendimiento, reducir el uso de agroquímicos y también en la reducción de gases de efecto invernadero, al ser usados como biofertilizantes, biocontrol o bioestimulantes (Nath Yadav & Yadav, 2020; L. F. Santos & Olivares, 2021; Turner, James, & Poole, 2013).

Este tipo de soluciones innovadoras que abordan desafíos sistémicos, de alto impacto social, ambiental y económico, juegan un papel fundamental para el futuro. Son una interacción ineludible para las diversas partes interesadas que combinan sus conocimientos para convertir los desafíos en oportunidades (De Bernardi & Azucar, 2019).

Es así que existe la necesidad de investigar los factores económicos, sociales, ambientales y tecnológicos que impulsan el desarrollo de empresas que usan el microbioma vegetal para el desarrollo de productos sostenibles. Para ello, en esta investigación, se propone utilizar la metodología del análisis del entorno propuesta por Osterwalder y Pigneur (2010).

Por otro lado, no se cuenta con información científica de estudios de casos de empresas que demuestren su funcionamiento, estructura y las estrategias que han realizado en el mercado de insumos agrícolas para alinear los productos del microbioma vegetal como una alternativa que contribuya a la construcción de sistemas agroalimentarios sostenibles.

1.2. Preguntas de investigación

La presente investigación da respuesta a las siguientes interrogantes:

- a) ¿Qué factores del entorno impulsan el surgimiento de empresas relacionadas con el microbioma vegetal?
- b) ¿Qué movimientos está realizando la industria convencional de insumos agrícolas ante la innovación del microbioma vegetal?
- c) ¿Cómo funciona el modelo de negocios de la empresa Indigo Agriculture (Indigo Ag)?
- d) ¿Cómo es la estructura organizacional de Indigo Ag?
- e) ¿Qué factores obstaculizan el desarrollo de productos de microbioma vegetal?

1.3. Objetivo general

A partir de las preguntas de investigación planteadas, se estableció el objetivo general de la presente investigación:

Comprender la estrategia de empresas líderes en el uso del microbioma vegetal, a través del análisis del entorno, modelo de negocios y estructura de empresa-red para identificar los factores que propician el surgimiento de empresas de microbioma vegetal.

1.3.1. Objetivos específicos

Del objetivo general se desagregan los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar los factores económicos, sociales, tecnológicos y ambientales, mediante el análisis del entorno para identificar que propicia el surgimiento de empresas de microbioma vegetal.

2. Analizar la actuación de la industria convencional de insumos agrícolas ante la evolución del microbioma vegetal para comprender la disrupción de la innovación.
3. Describir la estructura organizacional y modelo de negocios de la empresa Indigo Ag a través del análisis de empresa-red para conocer su funcionamiento.
4. Describir los retos asociados al desarrollo de productos del microbioma vegetal a través de la revisión documental para identificar posibles áreas de oportunidad.

1.4. Estructura de la tesis

La presente tesis está organizada en siete capítulos y su estructura se muestra en la Figura 1. El primer capítulo aborda la introducción que presenta los antecedentes y el problema de investigación con base en los cuales se formulan las preguntas de investigación y los objetivos pertinentes. En el capítulo 2 se expone el marco teórico-conceptual que soporta la investigación y está compuesto por los siguientes ejes temáticos: estrategia, modelo de negocios, sistemas alimentarios sostenibles, innovación disruptiva y empresa-red. En el capítulo 3 se presenta la revisión de literatura donde se abordan las definiciones pertinentes del microbioma vegetal, así como las aplicaciones en la agricultura que han sido documentadas. En el capítulo 4 se explica la metodología empleada en la investigación, misma que se diseñó después de analizar la documentación científica. El capítulo 5 muestra los resultados y discusión en cuatro subsecciones de análisis: del contexto, de empresa-red, del modelo de negocios y retos en el estudio y desarrollo del microbioma vegetal. El capítulo 6 expone las conclusiones vinculadas a los objetivos planteados. Finalmente, el capítulo 7 contiene la literatura citada a lo largo del documento.

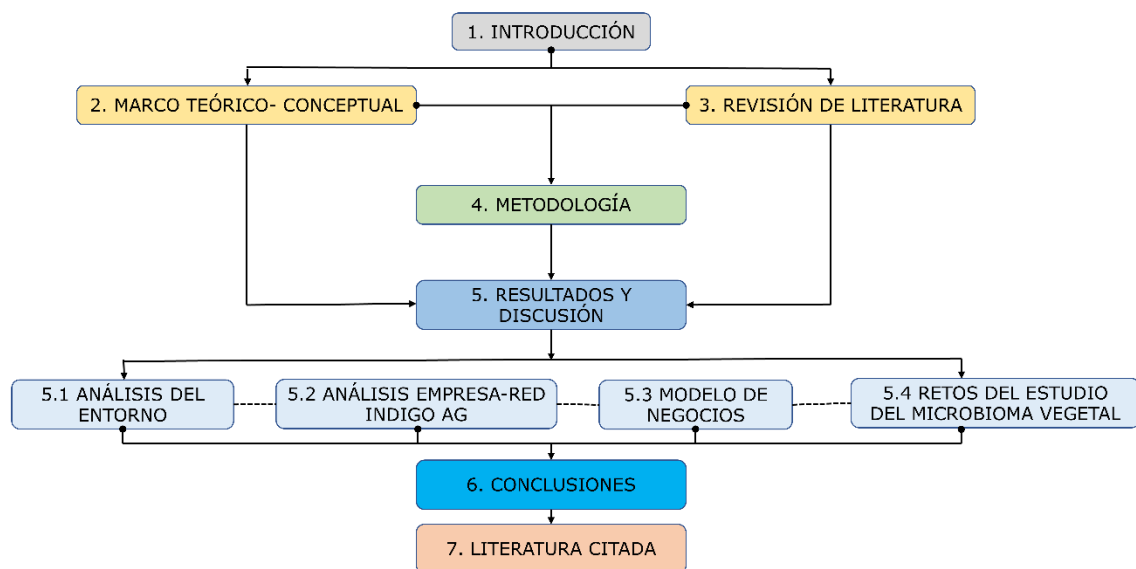


Figura 1. Estructura de la tesis

Fuente: elaboración propia.

2. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

2.1. Estrategia

De acuerdo con Porter (2011), una estrategia competitiva consiste en ser diferente, es decir, seleccionar un conjunto de actividades distintivas para entregar una mezcla única de valor al mercado. Elegir una estrategia implica incurrir en trade-offs; es decir, elegir una mezcla de actividades significa renunciar a innumerables alternativas posibles. Entonces, la empresa debe elegir la mezcla de actividades que mejor calce encuentre, esto es, el conjunto de actividades que mejores sinergias genere para la empresa y mayores desafíos suponga para los competidores en una eventual emulación.

Por su parte, Kim y Mauborgne (2005) en su libro *La Estrategia del Océano Azul*, señalan dos tipos de estrategias. Por un lado, la estrategia del océano rojo, aquella enfocada en la feroz competencia en mercados con fronteras bien delimitadas y donde la eficacia operacional y las guerras de precios juegan un papel central para superar a la competencia, a fin de acumular una mayor participación en el mercado. Por otra parte, se encuentra la estrategia del océano azul, aquella en la que la competencia pierde relevancia porque ocupa los espacios del mercado que aún no han sido definidos ni aprovechados. Por tanto, los océanos azules implican la creación de una nueva demanda y oportunidades para el desarrollo de negocios rentables. Para comprender la diferencia entre estrategia de océanos azul y rojo, el Cuadro 1 muestra las características que las distinguen.

Cuadro 1. Diferencias de la estrategia del océano rojo y la estrategia del océano azul

Estrategia del océano rojo	Estrategia del océano azul
Competir en el espacio existente del mercado.	Crear un espacio sin competencia en el mercado.
Vencer a la competencia.	Hacer que la competencia pierda toda importancia.
Explorar la demanda existente en el mercado.	Crear y capturar nueva demanda.
Elegir entre la disyuntiva de valor o costo.	Romper la disyuntiva de valor o costo.
Alinear todo el sistema de actividades de una empresa a la estrategia elegida de diferenciación o bajo costo.	Alinear todo el sistema de actividades de una empresa con el propósito de lograr diferenciación y bajo costo simultáneamente.

Fuente: tomado de Kim & Mauborgne (2005).

Así, la estrategia permite definir dónde se está parado y dónde se quiere estar, y para lo cual resulta fundamental el análisis del entorno.

2.2. Análisis del entorno

Ante la complejidad del contexto económico, social y ambiental, así como de los avances tecnológicos y los cambios en el mercado, el análisis del entorno ha cobrado importancia a la hora de diseñar estrategias en las empresas. Por esta razón, comprender el contexto en el que se desarrolla un negocio contribuye a tomar decisiones informadas que permiten a la empresa evolucionar y ser competitiva en el sector en el que opera. Adicionalmente, el análisis del entorno ayuda a la creación de escenarios hipotéticos en el futuro para conducir el diseño de estrategias con el fin de lograr la sostenibilidad en el mercado (Osterwalder & Pigneur, 2010). Además, varios autores señalan la importancia de evaluar las oportunidades y desafíos presentes en el entorno al momento de establecer la lógica de un negocio (George & Bock, 2011; Sainio, 2004; Schiavi & Behr, 2018). Por lo anterior, Osterwalder y Pigneur (2010) proponen considerar los siguientes factores en el análisis del entorno:

1. Fuerzas del mercado.

Cuestiones del mercado. Describir los cambios que se están produciendo en el mercado e identificar hacia dónde se mueve desde el punto de vista del consumidor.

Segmentos del mercado. Identificar los principales segmentos de mercado y descubrir demandas nuevas a nivel de segmento o de nicho.

Costes de cambio. Describe los elementos relacionados con el cambio de los clientes hacia la competencia.

Capacidad generadora de ingresos. Identifica los elementos relacionados con la capacidad generadora de ingresos y de fijación de precios.

2. Fuerzas de la industria.

Jugadores en la industria. Identificar los actores incumbentes en la industria y su comportamiento en el mercado. También señalar como el comportamiento de los gobiernos regula la concentración económica en la

industria de agroinsumos. Así como identificar a los nuevos jugadores y las barreras que deben superar para su ingreso al mercado.

Productos y servicios sustitutos. Identificar cuáles son productos o servicios sustitutos. Así como mencionar las tecnologías desarrolladas para atender el mismo problema.

Inversores. Identificar a los principales inversores que influyen en la industria.

3. Tendencias Claves.

Tecnológicas. Identificar las tecnologías que permiten la evolución de negocios en la industria de interés.

Normalizadoras. Describe las normativas y acuerdos que afectan la demanda de los clientes. Así como describir las normas de patentes relacionadas con el microbioma vegetal.

Sociales y culturales. Identifica las principales tendencias sociales que podrían afectar al negocio en análisis.

Cambio climático. Identificar los elementos del cambio climático que impactan a tus clientes y cómo tu negocio puede contrarrestarlos.

4. Fuerzas macroeconómicas.

Condiciones del mercado global. Señalar la tasa de crecimiento del PIB.

Productos básicos. Identificar la tendencia de los precios de los recursos básicos vinculados con el negocio de interés.

Mercado de capital. Describe las formas de financiamiento en la industria.

La innovación en el modelo de negocios ha sido señalada como un medio eficaz para aprovechar las oportunidades que se identifican en el análisis del entorno y plantear estrategias de acuerdo a los retos identificados (Sabatier, Craig-Kennard, & Mangematin, 2012; Tian, Zhang, Yu, & Cao, 2019; Willemstein, van der Valk, & Meeus, 2007).

2.3. Modelo de negocios

Una vez definida la estrategia; es decir, las actividades clave que permiten crear, entregar y capturar valor, realizados los trade offs al decidir lo que no se hará y

procurado el calce entre actividades, el modelo de negocios representa el medio para implementar coherentemente la estrategia (Wirtz, Pistoia, Ullrich, & Göttel, 2016).

El modelo de negocios es una herramienta conceptual que permite comprender cómo hace negocio una empresa, además describe la lógica de su funcionamiento, la forma en que opera y crea valor para cierto grupo de interés (Osterwalder & Pigneur, 2010). Así, Porter (2011), menciona que el modelo de negocios responde a las necesidades particulares de los clientes y está fuertemente vinculado al análisis estratégico de la empresa. El modelo de negocio ayuda a traducir la estrategia en actividades más específicas dentro de la empresa.

Existen diversas formas de representación del modelo de negocios, una de las más ampliamente reconocidas es lienzo desarrollado por, el cual emplea nueve módulos como se observa en la Figura 2.

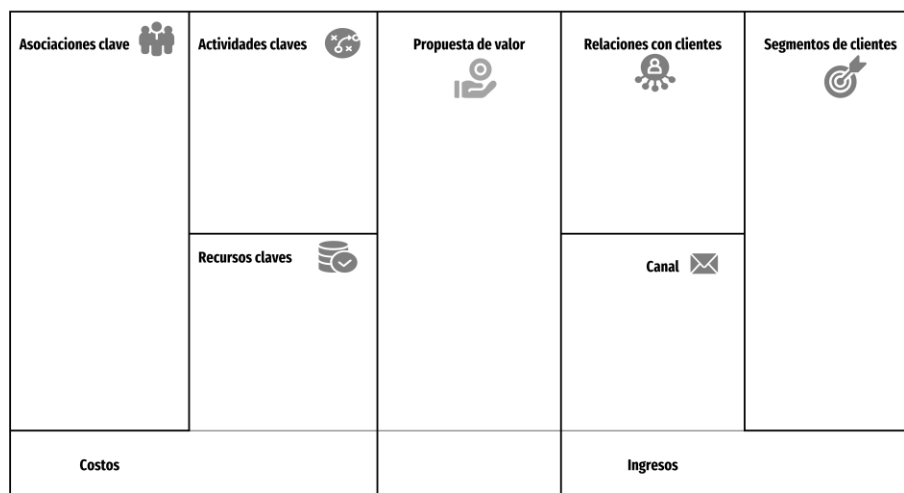


Figura 2. Lienzo del modelo de negocios

Fuente: Osterwalder y Pigneur (2010).

2.4. Innovación disruptiva

El modelo de negocios puede incluir innovaciones que cumplan con el criterio de ser disruptivas bajo el criterio de autores como Christensen, Raynor, Rory, & McDonald (2015), para estos autores, la disrupción se define como *“proceso en el que una empresa más pequeña, por lo general con menos recursos, puede*

desafiar a un negocio establecido ingresando en la base de la pirámide del mercado y ganando importante participación en él”.

De acuerdo con estos autores, para que la innovación se defina como disruptiva se debe originar en un segmento de gama baja o en nuevos mercados. La gama baja representa una oportunidad para crear una demanda nueva porque las empresas incumbentes o consolidadas se enfocan en mejorar sus productos o servicios para aquellos clientes más rentables y exigentes, sin embargo, pasan por alto a los clientes menos exigentes. Esta brecha de interés en los clientes de gama baja o menos exigentes crea una oportunidad para que empresas disruptivas ofrezcan productos suficientemente funcionales, pero a un precio significativamente más accesible (Christensen et al., 2015).

Lo anterior se demuestra en el modelo de innovación propuesto por Christensen, (1997) (Figura 3), donde las trayectorias de desempeño observadas en las líneas rojas muestran cómo los productos o servicios mejoran con el paso del tiempo gracias a las trayectorias de demanda de los clientes señaladas en líneas azules. Las empresas consolidadas introducen productos o servicios de mejor calidad (línea roja superior) enfocados al extremo superior del mercado, es decir, donde la rentabilidad es más alta. Estos productos o servicios superan las necesidades de los clientes de nivel bajo, dejando una oportunidad para que otras empresas atiendan a los clientes menos rentables que pasan por alto las empresas incumbentes. Así, las empresas entrantes en una trayectoria disruptiva (línea roja inferior) mejoran el rendimiento de sus ofertas y escalan al mercado (donde la rentabilidad es más alta para la empresa disruptiva) desafiando a las empresas incumbentes o establecidas.

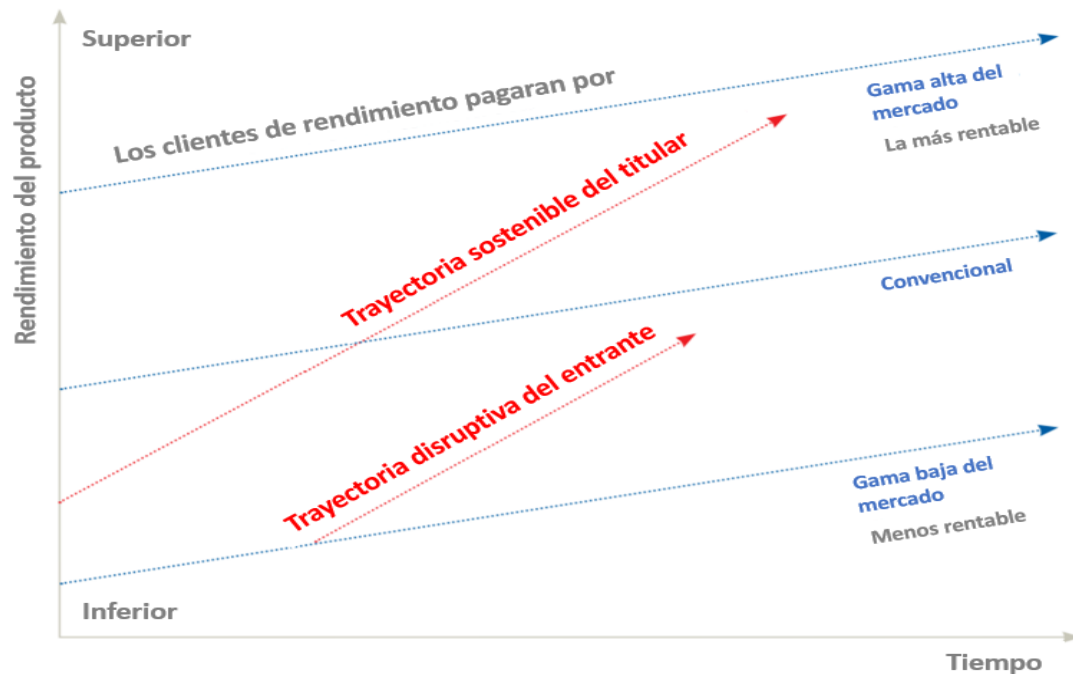


Figura 3. Modelo de innovación disruptiva

Fuente: Christensen (1997).

En segundo lugar, las empresas disruptivas crean un mercado donde no lo hay y logran convertir en consumidores a aquellas personas que no lo eran. Algo similar a la estrategia de océano azul que propone Kim y Mauborgne (2005) al tratarse de innovaciones creadoras de mercado. A estos nuevos mercados se les ofrecen productos o servicios que anteriormente no existían, o si existían no eran accesibles (C. Christensen, Ojomo, Gay, & Auerswald, 2019).

Las empresas disruptivas incluso logran transgredir los espacios de demanda de las empresas consolidadas. Aunque para la mayoría de los clientes de las empresas consolidadas las innovaciones disruptivas inicialmente se consideran inferiores; posteriormente, encuentran un grado de funcionalidad, calidad y precio que satisface mejor sus necesidades y deciden acudir a las formas de oferta de las empresas disruptivas (Christensen, 1997).

Un enfoque de esta naturaleza se traduce en un elevado riesgo de fracaso para las empresas líderes ante las dificultades que enfrentan para mantenerse en la cima de sus industrias cuando cambian las tecnologías o los mercados. Y no obstante su dominio y poder financiero, la flexibilidad y agilidad no suelen ser

competencias características de estas empresas, razón por lo cual rara vez están a la vanguardia de la comercialización de nuevas tecnologías, que inicialmente no satisfacen las necesidades de los clientes principales y atraen solo a mercados pequeños o emergentes. Sin embargo, cuando la nueva tecnología inunda los mercados establecidos y muestra un mejor desempeño, los líderes reaccionan y prestan interés a la nueva propuesta de valor, pero para entonces puede ser demasiado tarde ya que *“los pioneros de la nueva tecnología dominan el mercado”* (Bower & Christensen, 1995).

Y el riesgo para las empresas líderes aumenta ante la emergencia acelerada de tecnologías como los ordenadores cuánticos, inteligencia artificial, robótica, nanotecnología, biotecnología, biología sintética y tecnologías moleculares, ingeniería genética, ciencia de los materiales, redes de datos, machine learning, sensores, impresión en 3D, realidad aumentada, realidad virtual y blockchain. Con el surgimiento de estas tecnologías el potencial disruptivo aumenta de manera exponencial y si una sola de ellas puede modificar productos y servicios, la convergencia de varias de ellas tiene el potencial de revolucionar industrias y mercados enteros, así como a las estructuras sobre las que se sustentan (Diamandis & Kotler, 2020).

Finalmente, para la implementación de modelos de negocios que faciliten la adopción de innovaciones disruptivas para mejorar los sistemas alimentarios se necesitan enfoques participativos de múltiples partes interesadas. De acuerdo con Augustin, Cole, Ferguson, Hazell, y Morle (2021), las soluciones holísticas que pueden mejorar la seguridad alimentaria y nutricional requieren de la colaboración de varias disciplinas.

Por lo anterior, en esta investigación se adoptó el concepto de empresa-red, con el propósito de entender la estructura y actores que participan en el modelo de negocios que ha desarrollado la empresa Indigo Ag.

2.5. Empresa red

Se ha reconocido que la organización efectiva ayuda a las empresas a alcanzar sus propósitos y objetivos (Bocken & Geradts, 2020). En la actualidad, la

innovación y las tecnologías digitales son factores impulsores de cambios disruptivos que tienen efecto en los aspectos de comportamiento humano y organizacional (Lamboglia, Cardoni, Dameri, & Mancini, 2018). Además, la influencia de la tecnología en la reconfiguración de la red de la sociedad tanto a nivel individual y nivel organizativo tienen efectos en el entorno socioeconómico (Castells, 2010; Yoo, Boland, Lyytinen, & Majchrzak, 2012).

Nos encontramos ante una nueva sociedad, donde las tecnologías electrónicas y digitales le dan capacidades a una vieja forma de organización social: las redes sociales. Así, la nueva dinámica de la actividad económica que se generaliza en todos los ámbitos de la economía global es la empresa-red. Considerada por Castells (2010) como una estructura social apoyada en redes, operadas por tecnologías de la información y la comunicación que generan, procesan y distribuyen información apoyándose en el conocimiento acumulado en los nodos de las redes.

Por su parte, Artopoulos (2009) señala que la empresa red se trata de una organización flexible de actividad económica constituida en torno a proyectos empresariales específicos llevados a cabo por redes de diversa composición y origen.

Es importante remarcar que las condiciones características de la empresa red son las siguientes: métodos horizontales de participación para la producción de conocimiento, incorporación masiva de las TIC y la creciente internacionalización de las economías periféricas con su doble consecuencia: acceso a mercados amplios y acceso a mercados abiertos de tecnologías (Artopoulos, 2009).

2.6. Sistemas alimentarios sostenibles

Además de los factores del entorno que influyen en los modelos de negocios, se ha insistido que deben alinearse a los sistemas alimentarios sostenibles. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2022):

“Un sistema alimentario es aquel que garantiza la seguridad alimentaria y la nutrición de todas las personas de tal forma que no se pongan en riesgo las bases económicas, sociales y ambientales para las futuras generaciones”.

De acuerdo con el informe “Un movimiento de largo plazo por la alimentación: Transformar los sistemas alimentarios para 2045” (IPES-Food & Grupo ETC, 2021), los ámbitos de la innovación tecnológica como la digitalización, automatización, biología sintética y tecnologías moleculares podrían eliminar los riesgos de los sistemas alimentarios. El tema del microbioma vegetal, puede relacionarse con estas cuatro tecnologías, sin embargo, se encuentra más fuertemente vinculada a las últimas dos.

Además, se espera que estas tecnologías produzcan innovaciones altamente disruptivas en los próximos 25 años. Dada la incertidumbre causada por el cambio climático, la degradación ambiental y la pandemia, se espera que estas tecnologías sean una vía para los formuladores de política.

La **digitalización** ha generado un cambio rápido en el uso de plataformas de datos en la industria alimentaria, por ejemplo, en los eslabones de la cadena de suministro (Vendrell-Herrero, Bustinza, Parry, & Georgantzis, 2017), en la información biológica de los recursos fitogenéticos (Smyth, Macall, Phillips, & de Beer, 2020), en el transporte de materia prima (Pernestål, Engholm, Bemler, & Gidofalvi, 2020), entre otras aplicaciones. Por lo tanto, los datos y macrodatos son cada vez de mayor interés para las empresas.

La **automatización** que engloba la robótica, impresores 3D, drones, invernaderos semiautomáticos, y autos que se conducen solos, son algunas tecnologías que componen la llamada “Cuarta revolución industrial” (Peters, 2019). En la agricultura, la automatización está ganando terreno. De acuerdo con Global Industry Analysts (2020), la automatización en la industria alimentaria mundial pasará de 9 700 millones de dólares en 2020 a 14 200 millones de dólares en el 2027. Para lograr este crecimiento, se espera que las redes de datos de transmisión rápida (5G, redes periféricas) se distribuyan a áreas agrícolas y ganaderas con el objetivo de incorporar sensores y reingeniería de

procesos en máquinas programables que permitirá la convergencia biodigital (IPES-Food & Grupo ETC, 2021; Peters, Jandrić, & Hayes, 2022).

Las **tecnologías moleculares** aplicadas a través de la química y la genética se usan en la producción agrícola para la generación de plaguicidas (N. Verma & Bhardwaj, 2015) o OGM (Salisu et al., 2017). Algunos desarrollos en este ámbito incluyen la edición genética, pesticidas genéticamente activos, organismos impulsores genéticos, la reproducción asistida por inteligencia artificial, estrategias metagenómicas (manipular comunidades microbianas), dietas personalizadas acorde a su microbioma (IPES-Food & Grupo ETC, 2021). A través de las técnicas moleculares es posible estudiar la interacción planta-microbio y a partir de esto desarrollar productos con beneficios agronómicos.

En cuanto a la **modificación de la naturaleza**, la acumulación de datos medioambientales, biológicos y agrícolas, permitirá el desarrollo de estrategias que manipulen procesos terrestres como el ciclo del carbono, el ciclo del nitrógeno o ecología del suelo, y se espera que estas modificaciones influyan en los sistemas alimentarios (IPES-Food & Grupo ETC, 2021). A través de los datos mencionados anteriormente se podrían evaluar y diseñar productos con aquellos microorganismos que realizan funciones esenciales en la naturaleza.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. ¿Qué es el microbioma vegetal?

Se reconoce que el microbioma actual (arqueas y bacterias) surgió aproximadamente hace unos 3 mil 800 millones de años, 2 mil millones de años antes que los organismos eucariontes (L. F. Santos & Olivares, 2021). Sin embargo, el concepto de microbioma tiene una evolución más corta. El término lo acuñaron por primera vez Lederberg y McCray (2001) definiéndolo como “la comunidad ecológica de microorganismos comensales, simbioses o patógenos, que ocupan un espacio en nuestro cuerpo”, refiriéndose a los microorganismos asociados al humano. Posteriormente, en 2002, los científicos del Proyecto del Microbioma Humano, definieron microbioma como “los microorganismos asociados con humanos” (Huttenhower et al., 2012). Es importante señalar que se suele usar el término de microbioma como sinónimo de microbiota, sin embargo, conviene distinguir la diferencia entre ambos. La microbiota se define como el conjunto de microorganismos de un hábitat particular y microbioma como el conjunto de genomas de los microorganismos en un hábitat particular (Bulgarelli, Schlaeppi, Spaepen, Van Themaat, & Schulze-Lefert, 2013).

En este sentido, Dastogeer et al. (2020) señalan que los microbiomas asociados a las plantas proporcionan importantes servicios ecosistémicos al promover el crecimiento de las plantas, controlar patógenos y aliviar el estrés abiótico. El microbioma vegetal se define como las comunidades colectivas de microorganismos asociados a las plantas, también conocidas como el segundo genoma de las plantas (Babalola et al., 2020). De acuerdo con Santoyo (2021), estos microbios o microorganismos habitan en la endosfera, la filosfera y la rizosfera con funciones beneficiosas en la promoción del crecimiento y la salud de las plantas, tal como se observa en la Figura 4.

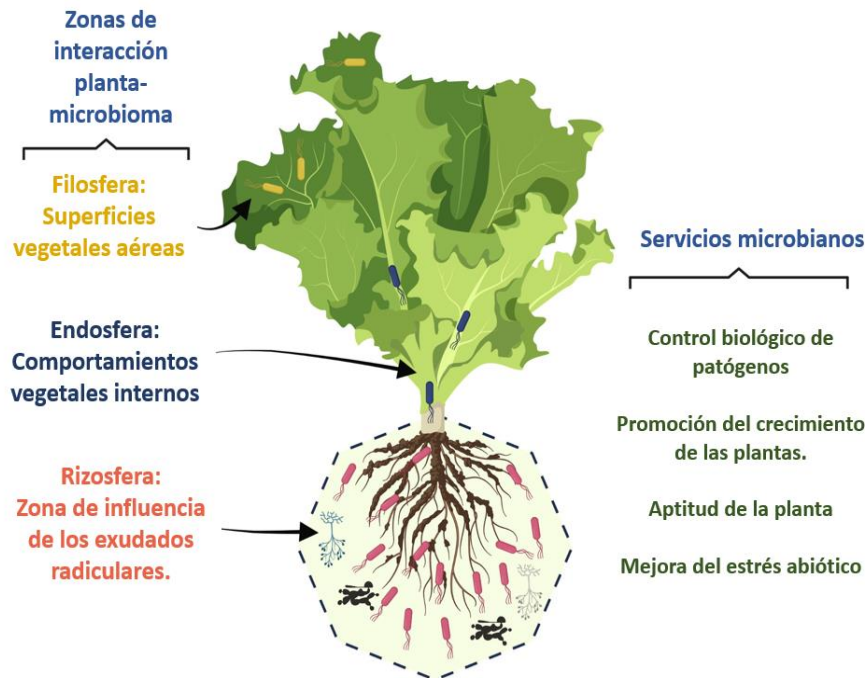


Figura 4. Áreas de interacción y reclutamiento del microbioma vegetal y algunos servicios que brinda a la planta

Fuente: Santoyo (2021).

Existe debate en los términos relacionados con el microbioma vegetal. Uno de ellos tiene que ver con el término holobionte vegetal, refiriéndose al genoma de la planta y el microbioma asociado, es decir, una sola entidad dinámica. La importancia de este término radica en conocer las funciones e interacciones que existen entre el huésped y los microorganismos asociados (Vandenkoornhuyse, Quaiser, Duhamel, Le Van, & Dufresne, 2015a).

Por otro lado, también se define como fitobioma a los ecosistemas dentro y alrededor de las plantas compuestos por una diversidad de organismos macroscópicos y microscópicos que interactúan e influyen en la productividad y salud de los cultivos (Leach, Triplett, Argueso, & Trivedi, 2017).

Otro enfoque reciente propone el concepto de comunidades microbianas sintéticas (SynComs) donde se involucran conceptos tanto de ecología microbiana y genética para obtener inoculantes. Las SynComs son aquellos consorcios de microorganismos elaborados para imitar las funciones del

microbioma vegetal en condiciones naturales (De Souza, Armanhi, & Arruda, 2020; Kaminsky, Trexler, Malik, Hockett, & Bell, 2019).

Sin embargo, esta investigación no tiene el objetivo de revisar a detalle cada uno de los conceptos antes mencionados. Pero si aclarar que se decidió usar el término microbioma vegetal refiriéndose a aquellos *microorganismos o microbios que actúan en la nutrición, regulación del crecimiento y protección contra plagas o enfermedades en los cultivos agrícolas*.

A continuación, se revisan los tres niveles del microbioma vegetal con el propósito de dar un panorama del concepto y describir las funciones en las plantas.

3.2. Microbioma vegetal de la rizosfera

Se ha reconocido que en todos los tejidos de las plantas se encuentra una colección microbiana (Lata, Divjot, & Nath, 2019). La rizosfera, entendida como la región del suelo influenciada por las raíces de las plantas, es una de las regiones con mayor diversidad microbiana (bacterias, hongos, hongos micorrizas, omicetos, virus y arqueas), la cual a su vez se encuentra influenciada por el suelo y exudados de raíces (carbohidratos, aminoácidos, ácidos orgánicos) (Philippot, Raaijmakers, Lemanceau, & Van Der Putten, 2013; Turner et al., 2013). Los exudados de las raíces pueden representar entre el 5-20% de los fotosintatos producidos en la fotosíntesis (Marschner, 2011) y son importantes en la estructura del microbioma de la rizosfera y en la interacción con el microbioma del suelo (Bais, Weir, Perry, Gilroy, & Vivanco, 2006; Broeckling, Broz, Bergelson, Manter, & Vivanco, 2008; Shi et al., 2011).

En este sentido, Dastogeer et al. (2020) señalan que los exudados de las raíces liberados por las plantas se consideran los impulsores clave para el establecimiento de la comunidad microbiana específica del huésped en la zona rizosférica.

Las interacciones en el microbioma de la rizosfera desarrollan funciones como mejorar la absorción de agua y nutrientes, mejorar los niveles hormonales, la promoción del crecimiento y protección ante plagas y enfermedades del suelo (De Faria, Costa, Chiaramonte, Bettiol, & Mendes, 2021).

En la absorción de nutrientes sobresalen aquellos microorganismos fijadores de nitrógeno como *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Stenotrophomonas* y *Rhizobium* (Dobbelaere, Vanderleyden, & Okon, 2010; Lindström & Mousavi, 2020), solubilizadores de fósforo (Qu et al., 2020; Unno, Okubo, Wasaki, Shinano, & Osaki, 2005), y de hierro (Katiyar & Goel, 2004; Xu et al., 2021).

Un grupo particular de interés en la rizosfera son las Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR por sus siglas en inglés), que incluyen a las bacterias fijadores de nitrógeno (el nutriente que limita con mayor frecuencia el crecimiento de las plantas), que pueden ser de vida libre (*Azotobacter spp.*) y simbióticas (como *Rhizobium*), también incluyen a las bacterias solubilizadoras de minerales como el fósforo (Bloemberg & Lugtenberg, 2001).

Además, se han reconocido otras funciones como la resistencia sistémica desencadenada por algunas rizobacterias donde se regulan las hormonas vegetales dependiendo el microorganismo inductor, llevando a la planta a producir metabolitos secundarios y el refuerzo de la pared celular contra múltiples patógenos y plagas (Reinhart, Tytgat, Van der Putten, & Clay, 2010). Por otro lado, se ha documentado que los hongos micorrizicos participan en el secuestro de carbono en el suelo (Bever, Broadhurst, & Thrall, 2013), campo que ha tomado importancia para mitigar el cambio climático y aumentar la sostenibilidad agrícola (Verbruggen et al., 2013).

3.3. Microbioma vegetal de la endosfera

Existen bacterias endófitas, es decir, que residen o penetran los tejidos vegetales al menos una parte de su vida, formando así el microbioma endosférico (Compant, Clément, & Sessitsch, 2010; Vandenkoornhuyse, Quaiser, Duhamel, Le Van, & Dufresne, 2015b).

En general, en la literatura se consideran a las bacterias endófitas como no patógenas y que no causan afectaciones visibles. Sin embargo, este grupo incluye patógenos latentes que según las condiciones ambientales y/o características del genotipo del huésped, pueden causar enfermedades (Hallmann, Quadt-Hallmann, Mahaffee, & Kloepper, 2011).

Así mismo, Turner et al. (2013) informan que los microorganismos que se encuentran en la endosfera influyen en la fisiología de las plantas al mejorar las respuestas inherentes de las plantas contra el estrés biótico y abiótico.

3.4. Microbioma vegetal de la filosfera

La filosfera, también conocida como la superficie aérea de una planta, es considerada pobre en nutrientes, comparada con la rizosfera (Turner et al., 2013), lo que dificulta la colonización microbiana. Por otro lado, también las estructuras foliares como avenas, pelos y estomas dificultan la colonización microbiana en las hojas (Lindow & Brandl, 2003).

Sin embargo, la filosfera está influenciada por las condiciones del ambiente como la temperatura, humedad y radiación durante el día y la noche (Thapa & Prasanna, 2018). Estos factores abióticos también influyen en la fisiología de la planta huésped (como la fotosíntesis, la respiración, absorción de agua, etc.) y por lo tanto afectan indirectamente el microbioma de la filosfera (Arif, Batool, & Schenk, 2020; Lindow, 1996).

De acuerdo con Cappelletti et al. (2016), el microbioma de filosfera ayuda con el crecimiento de las plantas a través de la fijación de N_2 , síntesis de hormonas vegetales y protección contra patógenos.

3.5. Beneficios del microbioma vegetal a la agricultura

El microbioma asociado a las plantas proporciona importantes servicios ecosistémicos al promover el crecimiento de las plantas, controlar los patógenos, absorber nutrientes y elevar la tolerancia al estrés abiótico (Compant et al., 2019; Nath Yadav & Yadav, 2020). Sin embargo, es importante señalar que la composición del microbioma vegetal, así como de las interacciones con otras comunidades microbianas dependen de la genética de la planta huésped, factores abióticos y la función de especies o familias microbianas (Agler et al., 2016).

Algunos autores señalan que los productos elaborados a partir del microbioma vegetal pueden ser utilizados como biofertilizantes, bioestimulantes y biocontroles o bioprotectores (Berg, Kusstatscher, Abdelfattah, Cernava, &

Smalla, 2021; Ke, Wang, & Yoshikuni, 2021). Vessey (2003) define a los biofertilizantes como *“productos biológicos que contienen microorganismos vivos que, al aplicarse a la semilla, las superficies de las plantas o suelo, promueven el crecimiento mediante varios mecanismos, como aumentar el suministro de nutrientes, aumentar la biomasa o el área de las raíces y aumentar la capacidad de absorción de nutrientes de la planta*. Como dato interesante, que respalda el uso de los biofertilizantes desde hace tiempo, es que el primer producto elaborado a partir de *Rhizobium* por Nobbe y Hiltner, “Nitragin”, fue patentado en 1985 (Nobbe & Hiltner, 1896).

Por otro lado, según la European Biostimulants Industry Council (2019), se entiende por bioestimulantes vegetales a aquellos que *“contienen sustancias o microorganismos que al aplicarlos a las plantas o a la rizosfera, estimulan los procesos naturales para mejorar/beneficiar la absorción de nutrientes, la eficiencia de los nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico y calidad de los cultivos”*.

Finalmente, Kour et al. (2020) definen al biocontrol o control biológico, como *“el uso de antagonistas microbianos como un potente medio para reducir el daño causado por los fitopatógenos”*.

Sin embargo, la categorización en biofertilizantes, bioestimulantes y biocontroles se basa en los modos de acción subyacentes y actualmente se encuentran en discusión científica. Por lo tanto, se menciona que el término de inoculante microbiano es el adecuado para referirnos a los productos del microbioma vegetal, debido a que los microorganismos pueden mejorar el crecimiento pero también pueden aumentar la resistencia a patógenos (Berg et al., 2021). Köhl, Kolnaar, y Ravensberg (2019) señalan que las interacciones microbio-microbio y planta-microbio para desarrollar varios modos de acción y sus interacciones son influidas por las condiciones ambientales.

Conviene señalar que los productos de microbioma vegetal pueden catalogarse como productos microbianos, los cuales ya se han catalogado dentro de los productos biológicos. En la Figura 5, podemos observar que los productos microbianos pueden catalogarse como biofertilizantes, bioestimulantes y

biocontrol. Por lo tanto, para esta investigación se decidió utilizar los términos biofertilizantes, bioestimulante, biocontrol e inoculante microbiano para hacer referencia a los productos de microbioma vegetal.

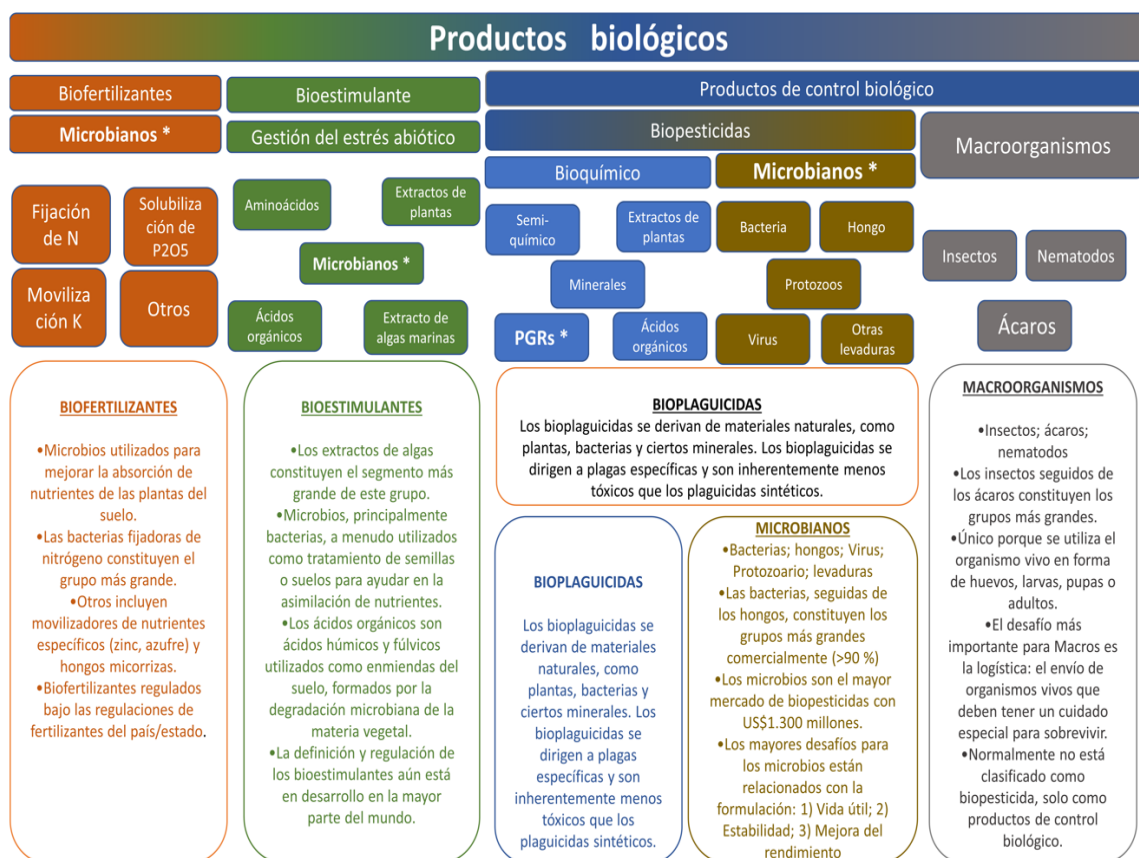


Figura 5. Categorías de productos biológicos

Fuente: Dunham & DunhamTrimmer (2015).

En la literatura se han documentado los resultados obtenidos al utilizar productos microbianos. Los beneficios mayormente documentados se refieren a la nutrición vegetal y al control de plagas y enfermedades (Cuadro 2).

Cuadro 2. Beneficio del microbioma vegetal en la nutrición vegetal

Cultivo	Microbioma benéfico	Beneficios a la planta	Referencia
Semilla de tomate	<i>Azospirillum brasiliense</i>	Aumento de la longitud de los brotes y raíces.	Remans, Croonenborghs, Torres Gutierrez, Michiels, y Vanderleyden (2007)
Pepino y tomate	<i>Bacillus strain QST713</i>	Aumento en contenido de fósforo en un 40% en fruto.	Remans, Croonenborghs, Torres Gutierrez, Michiels, y Vanderleyden (2007)
Frijol	<i>Pseudomonas putida UW4 + Rhizobium PGPR</i>	Formación de nódulos significativamente mejorada en plantas bajo estrés por fósforo y promoción del crecimiento.	Rodrigues et al. (2008)
Arroz	<i>Azospirillum amazonense</i>	Rendimiento de grano significativamente mejorado en arroz al aumentar el número de panículas y el contenido de nitrógeno en la madurez.	Arif et al. (2020)

Fuente: Elaboración propia.

Además de los beneficios en la nutrición de plantas, se han desarrollado tecnologías basadas en microbioma vegetal destinadas a que las plantas sean más resistentes al ataque de plagas y patógenos (Elsayed, Jacquiod, Nour,

Sørensen, & Smalla, 2020). Algunos beneficios del microbioma vegetal para el alivio del estrés en la planta se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Beneficios del microbioma vegetal en control fitosanitario

Cultivo	Enfermedad o patógeno	Microbioma benéfico	Mecanismo	Referencia
Tomate	Marchitez bacteriana por <i>Ralstonia solanacearum</i>	<i>Pseudomonas fluorescens P142</i>	Inducción de la resistencia sistémica de la planta	Q. Li et al. (2019)
	Enfermedad de la agalla de la corona por <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	<i>Rhizobium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> y <i>Pantoea</i>	Antibiosis	
Durazno				X. Zhang, Zhou, Li, Fu, & Wang (2017)
Uva	Enfermedad de mildiú vellosa por <i>Plasmopara viticola</i>	<i>Bacillus subtilis</i> GLB191, <i>Bacillus</i>	Antibiosis, competencia por espacio y nutrientes	De Almeida Lopes et al. (2018)
	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , <i>Phomopsis sojae</i> , <i>Rhizotocnia solani</i> .	<i>Bacillus sp.</i> , <i>Burcholderia sp.</i>	Antibiosis	
Soya				Rodriguez y Durán (2020)

Fuente: Elaboración propia.

4. METODOLOGÍA

El estudio de caso es un método desarrollado en el marco de la investigación cualitativa; de acuerdo con Ellram (1996), *“los estudios de caso se centran en situaciones holísticas y en entornos de vida real, y tienden a establecer límites de interés, como una organización”*.

Este estudio propone examinar cómo y por qué están surgiendo empresas del microbioma vegetal como una posible alternativa para la producción sostenible de alimentos, así como su funcionamiento y los posibles desafíos y oportunidades. Además, el propósito de este estudio es conocer en profundidad el funcionamiento de una de las empresas líder en el uso del microbioma vegetal.

4.1. Selección del estudio de caso

De acuerdo con las estrategias propuestas por Flyvbjerg y Casado (2004), la selección del caso se realizó con base al criterio de casos desviados. Según este criterio, los procesos complejos como la innovación basada en tecnologías de vanguardia pueden ser ilustrados y mejor comprendidos cuando son estudiados en casos que maximizan la rentabilidad en el aprendizaje. Asimismo, Gerring (2008) señala que en el método de casos desviados se seleccionan aquellos casos que por referencia a una comprensión general de un tema, demuestran un valor sobresaliente. En economía, los estudios de casos pueden referirse a empresas que tienen un rendimiento superior o inferior en comparación con algún conjunto de sujetos.

En este sentido, se seleccionó a Indigo Ag como el caso desviado, debido a que fue catalogada como la empresa número uno en el listado de las 50 empresas más disruptivas a nivel mundial en 2019 por Consumer News and Business Channel (CNBC), empresa líder mundial en noticias de negocios. El *“Disruptor 50 list”* mide la disrupción a partir de la información cualitativa y cuantitativa relacionada con la escalabilidad, crecimiento de usuarios, uso de tecnologías innovadoras y el tamaño de la industria que se irrumpe (CNBC, 2019). Cabe mencionar que para el año 2020, Indigo Ag se mantuvo como la tercer empresa

más disruptiva del mundo (CNBC, 2020). Por lo tanto, la selección del caso mostraría información relevante para los objetivos planteados en la investigación. Además, bajo un enfoque documental, se realizó un análisis multicriterio en el que se comparó a Indigo Ag con otras empresas de microbioma vegetal para corroborar que la elección del caso desviado fue conveniente para la investigación. Por lo anterior, se utilizó el análisis multicriterio (AMC), que de acuerdo con Romo-Lozano, Montejo, & Valdés (2021) permite resolver problemas que implican decisiones relacionadas con la priorización, clasificación y elección con base en varios rasgos. Para ello se seleccionaron los siguientes criterios:

- Publicaciones. Este criterio se refiere al número de publicaciones en la página web de las empresas, por ejemplo, en su blog y comunicados de prensa oficiales que muestren información. Este criterio se evaluó desde la fecha que fue fundada la empresa hasta el mes de febrero del 2022.
- Financiamiento. Cantidad en millones de dólares correspondiente al financiamiento promedio por año, de acuerdo con la base de datos de Crunchbase, plataforma que concentra información empresarial sobre compañías privadas y públicas a través de su comunidad de colaboradores, socios y expertos en datos. La base de datos de Crunchbase ha sido utilizada recientemente en otras investigaciones (Savin, Chukavina, & Pushkarev, 2022; Żbikowski & Antosiuk, 2021). Para el cálculo de este criterio, se dividió la cantidad total del financiamiento acumulado entre el número de años en que se recabó.
- Productos. Se refiere al número de productos microbianos ofrecidos por cada empresa.
- Cultivos. Corresponde al número de cultivos que atiende la empresa con los productos microbianos.
- Cobertura. Indica el número de países con presencia de las empresas.
- Inversores. Corresponde al número de inversores con los que cuenta la empresa.

Dado que no existe una base de datos de empresas que elaboren productos con el microbioma vegetal, se realizó una búsqueda bibliográfica para identificar aquellas empresas que son referidas en artículos científicos.

En la estrategia de búsqueda bibliográfica en Scopus se utilizaron las siguientes palabras claves: *company OR business OR industry AND “plant microbiome” or “microbial inoculant”*.

Se seleccionaron artículos científicos publicados entre 2011 y 2021. La estrategia de búsqueda mostró 60 artículos científicos. Después de la revisión a detalle se identificaron cuatro empresas referidas en dichos artículos científicos. Para ampliar el número de empresas se utilizó el método de bola de nieve, es decir, se analizó la cita del párrafo donde se refería a la empresa, que por lo regular era una noticia u otro artículo científico. Posteriormente, se revisaron a detalle las nuevas referencias (noticias o artículos científicos) con el objetivo de identificar a otras empresas. Al final, se identificó un total de ocho empresas. La información correspondiente de cada criterio se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Criterios de selección del caso

Empresa	Publicaciones	Financiamiento/año (millones USD)	Productos	Cultivos	Cobertura	Inversores
Indigo Ag	144	200	12	6	5	13
Zymergen	10	195	0	0	1	29
Pivot Bio	71	123	4	3	1	19
AgBiome LLC	66	36	1	23	1	13
Marrone Bio	205	24	8	7	1	12
Plant Response	12	20	7	6	3	7
NewLeaf Symbiotics	38	13	5	9	1	12
Concentric Ag	41	12	1	18	2	8

Fuente: elaboración propia.

Una vez indicados los criterios, con ayuda de Smart-Picker Pro ® se realizó el análisis multicriterio, para lo cual se decidió otorgar el mismo peso a cada criterio (16.67%) para evitar sesgo por parte del equipo investigador. Los resultados se muestran en la Figura 6.

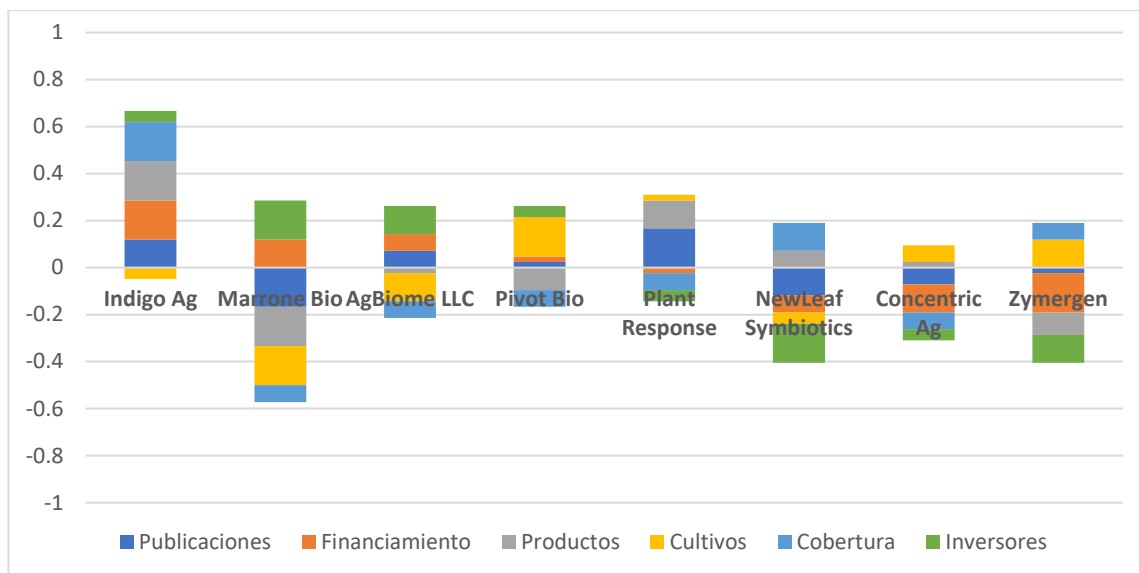


Figura 6. Resultados del Análisis Multicriterio

Fuente: Elaboración propia.

En el eje vertical se muestra una escala de +1 hasta -1, que refleja la valoración neta resultante de la comparación multicriterio realizada. Un valor cercano a uno positivo señala que la empresa destaca en los criterios evaluados en comparación con las demás. Por el contrario, un valor cercano a uno negativo, quiere decir que la empresa no destaca con base a los criterios evaluados. En el eje horizontal se muestran las empresas evaluadas. De acuerdo con el análisis multicriterio, la empresa Indigo Ag muestra la mejor valoración.

4.2. Ejes de análisis

En esta sección se mencionan los temas que se analizaron para conformar el apartado de resultados.

4.2.1. Contexto del modelo de negocios

Un modelo de negocios que opera eficazmente en cierto entorno puede quedar obsoleto en el futuro, por lo que es necesario entender la actualidad del entorno y cómo podría evolucionar. Para este apartado, se analizaron los factores del entorno que proponen Osterwalder y Pigneur (2010): fuerzas de la industria, tendencias claves, fuerzas del mercado, fuerzas macroeconómicas.

4.2.1.1. Fuente de información

La investigación se realizó de manera documental en diversas fuentes de información como Scopus, Web of Science y Google Scholar, para lo cual se diseñaron las preguntas claves de cada factor del entorno como se muestra en el Cuadro 5. Se analizó detalladamente cada documento para construir la narrativa en cada uno de los temas que conforma el análisis del entorno.

Cuadro 5. Tópicos para investigar en el análisis del entorno

Factor del entorno	Subtema	Preguntas claves
Fuerzas de la industria	Jugadores de la industria	¿Quiénes son los actores incumbentes en la industria de insumos agrícolas y como están actuando ante el mercado del microbioma vegetal? ¿Qué hace el gobierno para regular la concentración de empresas en la industria de insumos agrícolas? ¿Quiénes son los nuevos jugadores dentro de la industria del microbioma vegetal?
	Productos y servicios sustitutos	¿Cuáles son productos o servicios sustitutos del microbioma vegetal? ¿Qué actores dominan el mercado de los sustitutos?
	Inversores	¿Quiénes son los inversores principales en la industria del microbioma vegetal?
Tendencias claves	Tecnológicas	¿Qué tecnologías están permitiendo la evolución del mercado de microbioma vegetal?
	Normalizadoras	¿Qué acuerdos internacionales o normativas están impulsando el mercado de microbioma vegetal? ¿Qué normativas existen respecto a las patentes relacionadas con el microbioma vegetal?
	Sociales y culturales	¿Qué cambios en los valores culturales y sociales afectan la demanda de alimentos?
	Cambio climático	¿Qué elementos del cambio climático afectan a los agricultores actualmente? ¿Cómo puede el microbioma contrarrestar estos impactos?
Fuerzas del mercado	Cuestiones del mercado	¿Cuál es el comportamiento del mercado de los microbios agrícolas? ¿Cuál es la Tasa de Crecimiento Anual Compuesto de los segmentos de microbios agrícolas?
	Segmentos del mercado	¿Cuáles son los segmentos de mercado del microbioma vegetal?
	Costes de cambio	¿Qué dificulta la adopción de productos microbianos?
Fuerzas macroeconómicas	Condiciones del mercado global	¿Cuál es el crecimiento económico global?
	Productos básicos	¿Cuál es la tendencia de los productos alimenticios?

Fuente: elaboración propia con base en Osterwalder y Pigneur (2010).

4.2.2. Empresa - red

El concepto de empresa red toma importancia para el caso Indigo Ag debido a que se identificó el papel que juegan las tecnologías digitales en su modelo de negocios.

La estructura de Indigo Ag se diseñó bajo el concepto de empresa-red identificando tres niveles: núcleo, red y sociedad (Castells, 2010).

En lo que corresponde al núcleo, se analizó el surgimiento de Indigo, así como una breve reseña de los fundadores de la empresa. Cabe señalar que, en este nivel, se encuentran las tres áreas claves de Indigo Ag: i) el área de investigación, desarrollo e innovación, ii) el área comercial y iii) área de Marketplace.

En el segundo nivel se describe la red; es decir, aquellas plataformas, espacios o instituciones donde se reúnen los actores con el objetivo de aportar al cumplimiento del área que pertenecen.

Finalmente, se tiene el nivel de sociedad, donde se encuentran específicamente el tipo de actores que conforman el nivel de red.

Cabe señalar que la descripción de la estructura de la empresa-red de Indigo Ag inició a partir de las actividades claves que conforman el núcleo, para después involucrar los actores y sus funciones que participan en el nivel red y sociedad.

4.2.2.1. Fuente de información

Para el caso estudiado, se realizó la colecta de información documental basada en la información publicada en la página web de la empresa en un periodo de 2016-2022, revisión de artículos científicos, reportes internacionales, estadísticas, noticias y casos de estudio elaborados por Harvard Business School.

Una vez recolectada la información, se definieron las categorías del estudio, las cuales se basaron actividades claves de Indigo Ag, sus actores y sus funciones. Al momento del análisis de información se describió la estructura organización de la empresa-red de Indigo.

4.2.3. Modelo de negocios

Con la información colectada del caso, así como de noticias y artículos científicos, se utilizó la herramienta del lienzo del modelo de negocios de Osterwalder y Pigneur (2010) para comprender su funcionamiento. En este eje de análisis se abordan los nueve módulos que comprenden el modelo de negocios de Indigo Ag.

4.2.3.1. Fuente de información

A partir de la información documental colectada, se definieron las categorías del estudio, las cuales se basaron en los nueve módulos del modelo de negocios. Una vez analizada la información, se describieron los nueve módulos.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis del contexto del modelo de negocios

5.1.1. Fuerzas de la industria

En este apartado se detalla la concentración económica en el sector agroalimentario y las actuaciones que la promueven. Además, se identifican a los nuevos jugadores enfocados en el desarrollo de productos de microbioma vegetal que están entrando a la industria de insumos agrícolas. Por otro lado, se señalan los productos sustitutos de los productos microbianos agrícolas. Finalmente, se identifican a los principales inversores en la industria del microbioma vegetal.

5.1.1.1. Jugadores consolidados en la industria

La ingeniería del microbioma vegetal registra un gran auge debido a que ya se han demostrado los beneficios que ofrecen los bioinsumos a la agricultura al usarlos como biofertilizantes, bioestimulantes o biocontrol (Ke et al., 2021). Estos nuevos productos forman parte de la industria de agroinsumos, donde existen grandes empresas incumbentes o grandes corporaciones que están incursionando en la investigación y desarrollo de productos basados en microbioma vegetal.

A continuación, se muestra el contexto de la concentración económica en el sector agroalimentario. Se entiende por concentración económica a la participación significativamente mayoritaria de ventas en el mercado por parte de las empresas más grandes (Howard, 2021). En este sentido, un mercado oligopólico se refiere a cuando pocas empresas, en nuestro caso cuatro, controlan más del 40% del mercado del sector, dificultando así la entrada de nuevos jugadores (Clapp, 2016). En el sector agroalimentario, se ha documentado que la concentración se da principalmente por las fusiones y adquisiciones (F&A). De acuerdo con KPMG (1999), las grandes corporaciones realizan las F&A con el objetivo incrementar el valor de la empresa, proteger la cuota de mercado, extender sus productos o servicios a nuevos mercados

geográficos, apropiarse de nuevas tecnologías, servicios o patentes y finalmente adquirir el poder de control en la cadena de suministro.

Algunas de las adquisiciones o fusiones sobresalientes en el sector agroalimentario son las siguientes:

- ChemChina, en 2017 cerró la adquisición de Syngenta por un valor de 43 mil millones de dólares (Fortune, 2017).
- La fusión de Dow y DuPont se concretó en 2017 por un valor de 130 mil millones de dólares. Posteriormente se convirtió en Corteva Agriscience (Dow Corporate, 2017).
- Bayer adquirió a Monsanto en 2018 mediante un acuerdo de compra por un valor de 62 mil 500 millones de dólares (Bayer, 2018).

La concentración se puede observar por sector, donde se identifica que dos terceras partes del mercado de agroquímicos está dominado por cuatro empresas (Cuadro 6). En cuanto a semillas, poco más de la mitad del mercado lo concentran las cuatro empresas líderes. Una situación diferente se observa en el sector de fertilizantes, el cual no se encuentra tan altamente concentrado.

Cuadro 6. Ventas de las empresas más grandes del sector agroalimentario en 2018

Sector	Empresas	Participación en el mercado (%)
Agroquímicos (65.8%)	ChemChina (Incluye Syngenta y Adama)	24.3
	Bayer Crop Science	18.4
	BASF	12.0
	Corteva	11.1
Semillas (53.2%)	Bayer Crop Science	22.4
	Corteva Agriscience	19.2
	ChemChina	7.2
	Vilmorin & Cie	4.4
Fertilizantes sintéticos (15.9%)	Nutrien	5.5
	Yara	4.7
	The Mosaic Company	3.6
	CF Industries	2.1

Fuente: Grupo ETC (2020).

Además de las F&A, existen otras formas de concentración como las licencias cruzadas de propiedad intelectual (patentes), alianzas de I+D y acuerdos de rasgos genéticos entre empresas (IPES-Food & Mooney, 2017).

Parte de la concentración también es impulsada por la convergencia de otras tecnologías digitales, como es el caso de plataformas de datos masivos, llamadas en inglés *Big Data platforms*, que podrían converger de manera intersectorial, dando así el poder a quien controle la plataforma para reorganizar la industria (Mooney & Grupo ETC, 2019). De acuerdo Philip Chen & Zhang (2014), el Big Data se refiere a la capacidad de recopilar, almacenar, organizar, analizar, utilizar y controlar grandes cantidades de información. El conjunto de datos que se producen a partir de la secuenciación de ADN, metabolómica y metagenómica en el estudio del microbioma pueden analizarse a través del Big Data, lo que permitiría desarrollar productos para salud humana y agricultura (Navas-Molina, Hyde, Sanders, & Knight, 2017). Lo anterior tiene relevancia para las gigantes del sector agroalimentario que buscan dominar las plataformas de Big Data, pues se trata de una tecnología protagonista en la industria de alimentos. De acuerdo con Grupo ETC (2020), es probable que el Big Data impulse aún más la concentración en el sector agroalimentario.

Algunos actores señalan que la concentración del sector agroalimentario podría obstaculizar la construcción de sistemas alimentarios sostenibles (IPES-Food & Mooney, 2017). Así, los gobiernos a través de leyes antimonopolio buscan limitar la concentración económica, sin embargo, hoy en día son incapaces de contrarrestar el poder de las grandes corporaciones (Khan, 2016).

Por otra parte, debido al interés en el microbioma vegetal, las grandes corporaciones también han realizado alianzas de I+D, contratos de licencias de propiedad intelectual y F&A para apropiarse del mercado. A continuación, se muestran las actuaciones de Bayer, Basf, Syngenta y The Mosaic Company para incursionar en el mercado de microbios agrícolas.

Bayer CropScience, fundada en el año 1863, cuyo negocio gira alrededor de la salud pública y la agricultura, hoy en día cuenta con una gran cartera en productos de protección de cultivos como funguicidas, herbicidas, insecticidas y

tratamientos de semillas. Sin embargo, a partir de los sucesos del cambio climático, también ha iniciado en la investigación y desarrollo de productos sostenibles para la agricultura; prueba de ello es que en 2012 adquirió a AgraQuest Inc., empresa líder en desarrollo de productos biológicos que contaba con una enorme biblioteca de cepas bacterianas benéficas para la agricultura. Con lo anterior, Bayer se encaminó a desarrollar productos biológicos (Copping & Matthews, 2012). En ese mismo año, Monsanto (posteriormente comprada por Bayer), anunció la alianza con Alnylam, empresa por la cual pagó \$29.2 millones por adelantado con el objetivo de llevar la tecnología de RNAi de Alnylam al desarrollo de biopesticidas (McCoy, 2012).

Posteriormente, en 2013 Monsanto, en conjunto con Novozymes, anunciaron el lanzamiento de BioAg Alliance, con el propósito de descubrir, desarrollar y comercializar productos microbianos para la agricultura (Fox, 2014). Uno de los primeros productos fue Aceleron® B-300 SAT, inoculante para maíz, una formulación mejorada de JumpStart ® que contiene *Penicillium bilaiae* (Novozymes, 2017).

Para el 2017, Bayer anunció una alianza en conjunto con Ginko BioWorks, empresa pionera en biotecnología e integraron JoynBio para desarrollar productos biológicos para la agricultura (Dolgin, 2018). Cabe señalar que JoynBio llegó a un acuerdo en 2019 con NewLeaf Symbiotics por un valor de licencia de \$75 millones con el propósito de desarrollar microbios que fijen nitrógeno para los cultivos. Gracias a la base de datos de microorganismos metilótrofos de NewLeaf, JonyBio reducirá el tiempo para lanzar su primer producto al mercado entre dos y tres años. Así, JoyBio busca introducir cepas de microbios beneficiosos modificados genéticamente (Bomgardner, 2019).

La alianza y/o adquisición de empresas han llevado a BayerCropScience a formar un equipo de I&D que se encarga de desarrollar productos microbianos utilizados como tratamientos para semillas, aunque también fabrican funguicidas y bactericidas a partir de microbios. Para conocer mejor sus productos y algunas de sus características, observe el Cuadro 7.

Cuadro 7. Productos microbianos de Bayer

Cultivo	Función	Producto	Composición	Concentración
Maíz	Mejora la absorción de nutrientes	QuickRoots® PB Corn Multi-Crop Inoculant	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , <i>Trichoderma virens</i>	210 million (2.1 x 10 ⁸) ufc/g, 50 million (5 x 10 ⁷)) ufc/g
Maíz	Mejora la absorción de nutrientes	QuickRoots® WP	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , <i>Trichoderma virens</i>	310 million (3.1 x 10 ⁷) viable ufc/g, 74 million (7.4 x 10 ⁷)) ufc/g
Maíz	Mejora la absorción de nutrientes	Acceleron B-300 SAT	<i>Penicillium bilaiae</i>	3x10 ⁹ ufc/g
Maíz	Estimula a micorrizas	Acceleron B-360 ST	<i>Lipo-chitooligosaccharide</i> (LCO SP104)	0.00001%
Algodón	Mejora la absorción de nutrientes	QuickRoots® PB Corn Multi-Crop Inoculant	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , <i>Trichoderma virens</i>	210 million (2.1 x 10 ⁸) viable ufc/g, 50 million (5 x 10 ⁷)) ufc/g
Soya	Fijación de nutrientes y mejora absorción	TagTeam® LCO XC Inoculant	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> , <i>lipo-chitooligosaccharide</i> , <i>Penicillium bilaiae</i>	10 billion (1 x 10 ¹⁰) viable ufc/ml, 1 x 10 ⁷ %, 720 million (7.2 x 10 ⁸) ufc/g
Soya	Fijación de N y estimulación microbiana	Optimize® XC Inoculant	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> , <i>lipo-chitooligosaccharides</i>	10 billion (1 x 10 ¹⁰) viable ufc/g, 1 x 10 ⁻⁷ %
Soya	Fijación y mejora la absorción de nutrientes	TagTeam® Soybean Granular Inoculant	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> , <i>Penicillium bilaiae</i>	100 million (1.0 X 10 ⁸) viable ufc/g, 100 thousand (1.0 X10 ⁵) ufc/g
Soya	Fijación de nitrógeno	Cell-Tech® Soybean Liquid Inoculant	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	2 billion (2 x 10 ⁹) viable ufc/ml
Múltiples cultivos	Fungicida biológico foliar preventivo que se utiliza para combatir oídio	Sonata ®	<i>Bacillus pumilus cepa</i> QST 2808	1x10 ⁹ ufc/g

Cultivo	Función	Producto	Composición	Concentración
Múltiples cultivos	Fungicida-bactericida biológico preventivo	Serenade ® ASO	<i>Bacillus subtilis</i> cepa QST 713	1x10 ⁹ ufc/g
múltiples cultivos	Biofungicida para el control de enfermedades producidas por hongos o bacterias	Serenade Opti	<i>Bacillus subtilis</i> cepa QST 713	1.3X10 ¹⁰ ufc/g

Fuente: Elaboración propia.

Syngenta, empresa líder en protección de cultivos, así como de la producción de semillas a nivel mundial. En 2012 anunció la compra de Pasteuria Bioscience, empresa que desarrolla productos biológicos a partir de bacterias del género *Pasteuria* para el control de nemátodos; esta compra se dio por \$86 millones, más pagos diferidos de hasta \$27 millones (Mobgardner, 2012).

Posteriormente, en 2015, anunció la alianza con DMS, empresa mundial especializada en nutrición, salud y vida sostenible, con el propósito de desarrollar productos agrícolas basados en microbios para biocontrol y bioestimulación. En esta alianza, Syngenta empleará los conocimientos técnicos para la aplicación de productos, así como el acceso al mercado mundial. Por parte de DSM, empleará su base de datos microbianas como su plataforma de descubrimiento y experiencia en la elaboración de productos microbianos (Scott, 2015).

En este sentido, el director de innovación de DSM dijo:

“Nuestra sociedad pide soluciones sostenibles para salvaguardar la seguridad alimentaria y nutricional. Con la brillante ciencia de DSM en el campo de los microorganismos, podemos ayudar a abordar este desafío global junto con Syngenta y su conocimiento especializado y acceso al mercado. Esperamos utilizar nuestra dilatada experiencia y nuestra competencia líder en tecnología de bio-procesos para acelerar el desarrollo de soluciones biológicas para la agricultura”

Por su parte, la directora de I + D de Syngenta dijo:

“Las nuevas soluciones basadas en microbios contribuirán a afrontar el desafío de producir más alimentos con menos recursos, beneficiando a los agricultores, los consumidores, el medio ambiente y la sociedad. Nuestra colaboración DSM reúne ciencia revolucionaria y la capacidad de formular y ofrecer herramientas biológicas a escala global” (DSM, 2015).

Para el 2020, Syngenta compró a Valagro, empresa dedicada a soluciones biológicas para la agricultura, incluidos productos basados en microorganismos como biofertilizantes, bioestimulante y biocontrol. Sin embargo, la marca seguirá siendo independiente dentro del negocio de protección de cultivos de Syngenta (Syngenta, 2020).

Syngenta, al tener ya una cartera posicionada de productos convencionales, busca desarrollar productos basados en mezclas de fungicidas y/o insecticidas con microorganismos benéficos. En el Cuadro 8 se detalla la cartera de productos microbianos.

Cuadro 8. Productos microbianos de Syngenta

Cultivo	Función	Producto	Composición	Concentración
Maíz y cacahuete	Fungicida, reduce significativamente los niveles de contaminación de aflatoxina para ayudar a mejorar la comercialización.	Alfa-Guard ® GR	<i>Aspergillus flavus</i>	1.2 x 10 ⁸ ufc/lb
Soya	Bionematicida, insecticida, fungicida	Clariva elite beans	<i>Pasteuria nishizawae-Pn1</i> , sedaxano, tiametoxam, fludioxonil, mefenoxam	4.00 x 10 ⁹ esporas/mL, 0.63%, 1.88%, 0.63%, 1.88%
Soya, Remolacha	Bionematicida	Clariva Pn	<i>Pasteuria nishizawae-Pn1</i>	1 x 10 ¹⁰ esporas por mL o 3.8 x 10 ¹³ esporas por galón

Fuente: elaboración propia.

BASF, empresa líder en productos químicos, realizó la compra de Becker Underwood de Norwest Equity Partners en 2012, empresa de inversión de capital privado por un valor de más de mil millones de dólares; con esta adquisición BASF inició el desarrollo de tratamientos biológicos, así como colorantes y polímeros para el tratamiento de semilla (BASF, 2012).

Uno dato interesante de los productos de Basf es que están diseñados como biocomplementadores de los productos sintéticos actuales, es decir, además de un insecticida sintético se le añade una bacteria benéfica; tal es el caso del producto Pocho/votio 2.0, producto diseñado como tratamiento de semillas de soya, maíz y algodón. Por una parte, Poncho incluye un insecticida neonicotinoide (clotianida) y votio un *Bacillus firmus* para el control de nemátodos y un Bt registrado como bioestimulante y mejorador de absorción de nutrientes (LauritaThomas & KerovuoJanne, 2018). Para conocer algunos de los productos basado en microbios observe el Cuadro 9.

Cuadro 9. Productos microbianos de BASF

Cultivo	Función	Producto	Composición	Concentración
			<i>Bacillus subtilis</i> strain BU1814, <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> strain MBI 600, <i>Bradyrhizobium japonicum</i>	
Soya	Fijación de nitrógeno y biofunguicida	Vault® IP Plus		1.4x10 ⁹ ufc/mL, 1.4x10 ¹⁰ ufc/mL, 1.0x10 ¹⁰ ufc/mL
Soya	Fijación de nitrógeno	Vault ® NP	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	1.3x10 ⁹ ufc/mL
Soya	Fijación de nutriente	Vault ® Sp for soybeans	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	3x10 ⁹ ufc/gr
Cacahuete	Fijación de nutriente	Vault ® Sp for peanut	<i>Bradyrhizobium sp (Arachis)</i>	2x10 ⁹ ufc/gr
Soya	Fijación de nitrógeno	Rhizo-Flo ®	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	1x10 ⁸ ufc/gr
Maíz	eficiencia de absorción de nutrientes y bioprotección plagas y nematodos	Two.O	<i>Bcillus thurigiensis</i> strain EX297512	5x10 ⁴ ufc/ml
Maíz, algodón, sorgo, soya y remolacha	Insecticida y tratamiento biológico de semilla	Poncho ® Votivo ®	<i>Clotianidina, Bacillus firmus I-1582</i>	40.3%, 8.1%

Cultivo	Función	Producto	Composición	Concentración
Maíz	Insecticida, bionematicida, absorción de nutriente	Poncho ® Votivo ® 2.0	Two, Poncho ® votivo ®	
Guisantes y lentejas	Mejora absorción y mejora raíces	Nodulator ® Duo SCG	<i>Rhizobium leguminosarum biovar viceae, Bacillus subtilis</i>	8.0x10 ⁷ ufc/g
Cacahuete	Mejora absorción de nutrientes y biofunguicida	Vault liquid peanut	<i>Bradyrhizobium sp (vigna)</i>	2x10 ⁹ ufc/mL
Fresa, tomate y chile	Biofunguicida	Serifel ®	<i>Bacillus amyloliquefaciens strain MBI 600</i>	5.5x10 ¹⁰ ufc/gr

Fuente: elaboración propia.

The Mosaic Company, empresa líder en ventas de fertilizantes sintéticos, en 2020 anunció una alianza de colaboración con BioConsortia, empresa dedicada al estudio de microbios de la naturaleza para el desarrollo de productos que mejoren el rendimiento. La alianza se efectuó con el objetivo de colaborar en el desarrollo de productos microbianos fijadores de nitrógeno para maíz, trigo y leguminosas a través del proceso de selección patentada por Bioconsortia (Accesswire, 2020). En 2021, The Mosaic Company anunció una alianza de colaboración con AgBiome, empresa que descubre y desarrolla productos biológicos para la protección de cultivos. El objetivo de la alianza fue desarrollar y lanzar nuevos productos con enfoque biológico que mejoren la fertilidad del suelo a través de la plataforma Genesis™ patentada por AgBiome, la cual integra la colección de microbios más grande y diversa completamente secuenciada (Accesswire, 2021).

En resumen, las grandes empresas de insumos agrícolas tienen interés en el microbioma vegetal y se han involucrado a través de la compra de licencias, adquisición de empresas, licencia en tecnología y en patentes como se muestra en la Figura 7.

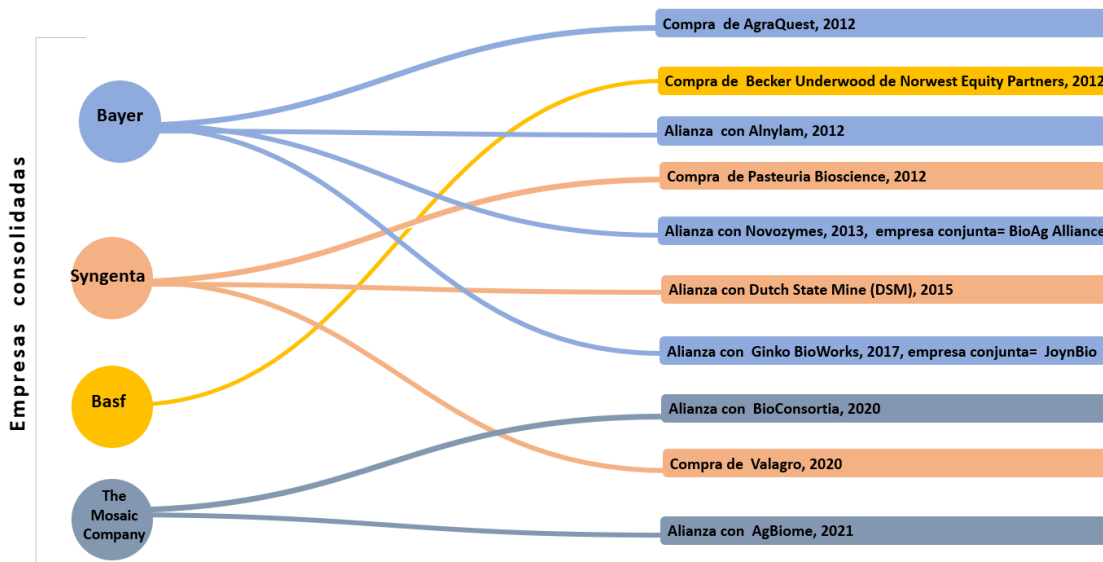


Figura 7. Alianzas y adquisiciones de empresas relacionadas con el microbioma vegetal

Fuente: elaboración propia.

5.1.1.2. Nuevos jugadores en la industria

Se identificaron al menos 20 empresas que hacen uso de microbios para desarrollar productos sostenibles para la agricultura; de manera resumida se pueden observar en el Cuadro 10.

La metodología que se utilizó para identificar estas empresas fue a través de las referencias encontradas en tres fuentes de información: artículos científicos consultados en la revisión de literatura, en la base de datos Crunchbase y en noticias internacionales. En las tres fuentes de información se utilizó la metodología de bola de nieve, es decir, si en algún material se señalaba a alguna empresa de microbioma vegetal, se buscaba la referencia del párrafo de la mención para revisarlo y encontrar más empresas. Además, para corroborar que sí hacen uso de microbios agrícolas en sus productos, se revisó el sitio web oficial de las empresas. Se puede apreciar que en Estados Unidos se encuentran al menos 15 empresas de microbioma vegetal, esto debido a los avances tecnológicos y al ecosistema de emprendimiento que permite el surgimiento de nuevas empresas (Global Entrepreneurship Monitor, 2022; StartupBlink, 2022).

Cuadro 10. Empresas del microbioma vegetal

Nombre	Año de fundación	Cede central	Sitio web
Aphea Bio	2017	Zwijnaarde, Bélgica	https://aphea.bio/
Joyn Bio LLC	2017	Boston, EE. UU.	https://joynbio.com/
Boots Biome Inc.	2016	California, EE. UU.	https://boostbiomes.com/
Biome Makers Inc.	2015	California, EE. UU.	https://biomemakers.com/
Bioconsortia	2014	California, EE. UU.	https://bioconsortia.com/
Indigo Ag	2014	Boston, EE. UU.	https://www.indigoag.com/
BioAg	2013	DINAMARCA	https://biosolutions.novozymes.com/en/bioag
Zymergen	2013	California, EE. UU.	https://www.zymergen.com/
Agbiome	2012	North carolina, EE. UU.	https://www.agbiome.com/
Adaptive Symbiotic technologies	2011	Washington, EE. UU.	https://www.adsymtech.com/
Pivot Bio Inc.	2011	California, EE. UU.	https://www.pivotbio.com/
Symborg	2010	Murcia, ESPAÑA	https://symborg.com/es/
Plant Response	2008	Carolina del norte, EE. UU.	https://plantresponse.com/
BioWish Technologies international Inc.	2007	Ohio, EE. UU.	https://biowishtechnologies.com/
Concentric Ag	2007	Quebec, Canadá	https://www.concentricag.com/
Marrone Bio innovations-Syngenta	2006	California, EE. UU.	https://marronebio.com/
Intrinsyx Bio	2005	California, EE. UU.	https://intrinsyxbio.com/
NewLeaf Symbiotics Inc.	1999	Missouri, EE. UU.	https://www.newleafsym.com
Certis Biologicals	1996	Carolina del sur, EE. UU.	https://www.certisbio.com/
Rizobacter	1983	Pergamino, Argentina	https://www.rizobacter.com/es

Fuente: elaboración propia.

Con objetivo de demostrar la relación que existe entre la aparición de empresas de microbioma vegetal y la publicación de artículos científicos, se realizó una búsqueda en Scopus y Web of Science (WoS) donde se utilizó la palabra clave “*Plant microbiome*”. Se encontró que el primer documento científico que hizo uso del término “plant microbiome” apareció en el año 2011 y a partir de ese año se

crearon 11 nuevas empresas de microbioma vegetal. En dicha búsqueda se obtuvieron 656 y 615 documentos en Scopus y WoS, respectivamente.

Resulta relevante destacar que si bien la industria establecida (y altamente concentrada) de agroinsumos ya ha incursionado en el mundo del microbioma vegetal, sus acciones relacionadas con adquisiciones o alianzas vinculados con esta innovación disruptiva, ocurrieron de manera sincronizada a partir del año 2012. Por su parte, más de la mitad de las empresas del microbioma enlistadas en el cuadro 10 surgieron antes de este año, siendo la primera en 1983 y dos en la década de los noventa. Lo que esto sugiere es que resulta necesario matizar la afirmación de Bower y Christensen (1995) en el sentido de que los líderes reaccionan ante las tecnologías disruptivas cuando ya es demasiado tarde debido a que los pioneros se han apropiado del mercado. La industria del microbioma vegetal apenas ha logrado capturar el 1% del mercado de fertilizantes y 9% de los pesticidas (Fortune Business Insights, 2022b, 2022c), por lo cual aún hay mucho mercado por desarrollar.

Sin embargo, lo cierto es que las innovaciones disruptivas ocurren al margen del sistema de ciencia y tecnología dominante, y prueba de ello es que casi 30 años después de que surgieran las primeras empresas, se empezaron publicar los primeros artículos científicos revisados por pares referidos específicamente al microbioma vegetal, y a partir de este punto de inflexión se empezó a disparar el surgimiento de nuevas empresas, tal como se aprecia en la Figura 8.

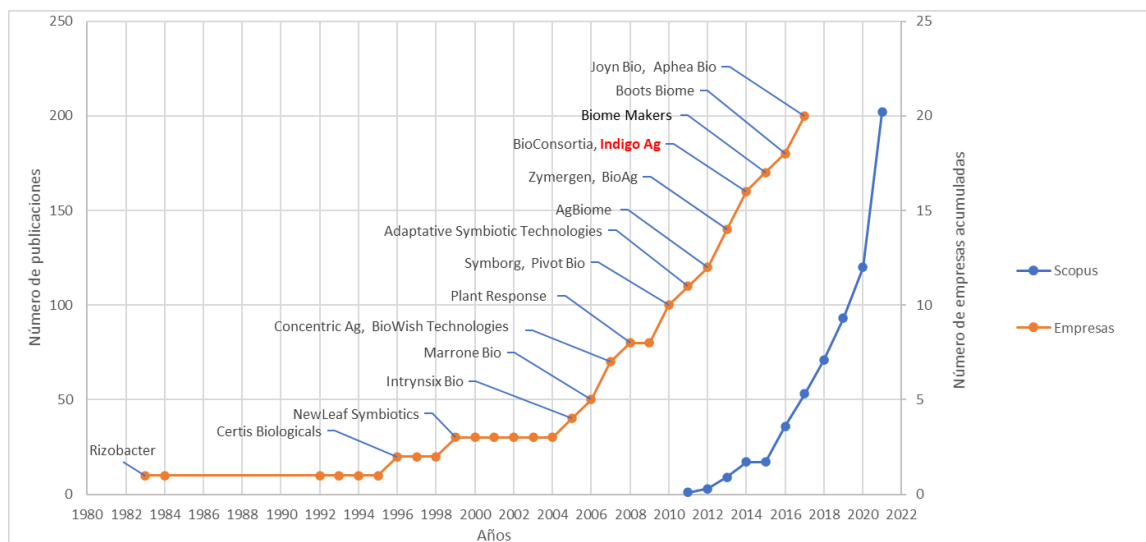


Figura 8. Surgimiento de empresas vs publicaciones científicas relacionadas con el término "*plant microbiome*"

Fuente: elaboración propia.

El país que más publica sobre el tema del microbioma vegetal en la base de datos Scopus es Estados Unidos (21%), seguido de China y Alemania (8%). La investigación científica realizada en Estados Unidos juega un papel importante en el surgimiento de nuevas empresas de microbioma vegetal en estados como California en los últimos diez años.

5.1.1.3. Inversiones

La creación y consolidación temprana de empresas del microbioma vegetal al margen de la industria establecida, del sistema de ciencia y tecnología dominante y de los mercados convencionales de capital, fue y ha sido posible gracias a la incursión de un nuevo actor, los fondos de capital de riesgo (Venture Capital en inglés). El capital de riesgo ha aumentado sustancialmente su participación desde casi nada a principios de la década de 2000 a varios miles de millones de dólares para 2018 en empresas emergentes intensivas en investigación y desarrollo (I+D) en agricultura (Ver Figura 9a). Estos fondos invierten en empresas con un alto potencial de crecimiento y elevados niveles de riesgo a cambio de una participación en la empresa de entre un 25 y 30%, además de

hacerse con derechos de voto y/o un puesto en el consejo de administración de las mismas; el capital suele ser aportado por otros inversores (institucionales y no institucionales) que buscan una alta rentabilidad, así como también fondos de pensiones, dinero público, etc. Tal como lo señalan Graff, De Figueiredo Silva, & Zilberman (2019), *“tales inversiones de capital generalmente no se han contabilizado en las estimaciones del gasto en I+D agrícola nacional o mundial y están apoyando a nuevos participantes en mercados altamente concentrados”*. El capital de riesgo ha tenido un papel increíblemente importante que desempeñar en esta innovación disruptiva en etapas tempranas de desarrollo de alto riesgo, tal como se observa en la Figura 9b (Marrone & Pitts, 2017). En realidad, lo que hace el capital de riesgo es *“apoyar a las empresas brindándoles acceso al capital suficiente para desarrollar y probar las hipótesis detrás de la tecnología innovadora”* (Martyn-Hemphill, 2021).

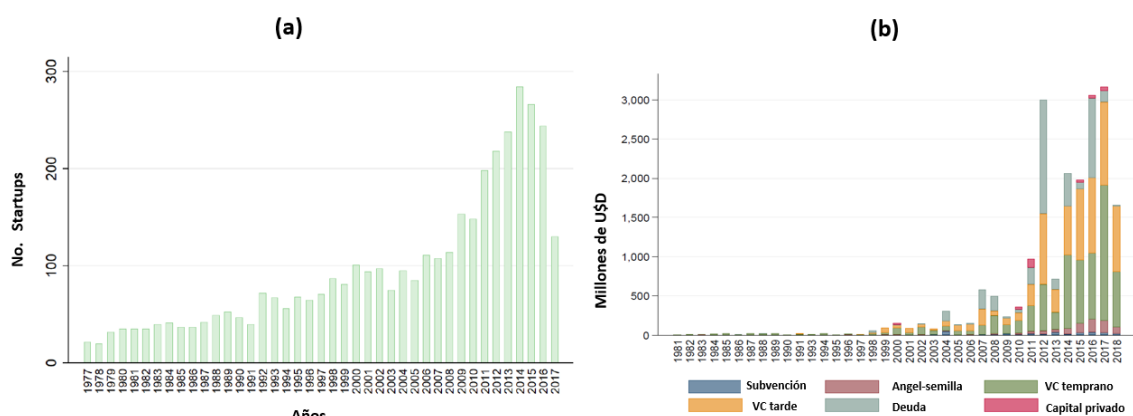


Figura 9. Evolución de nuevas Startups en la industria agrícola apoyadas por capital de riesgo (a) y modalidades de inversión (b)

Fuente: Graff et al. (2019).

Asimismo, estas nuevas empresas basadas en tecnología se han convertido en un canal importante para la comercialización de los resultados de la investigación agrícola del sector público, en gran medida de Universidades públicas, tanto en países desarrollados como en desarrollo. Una muestra de ello son las empresas Indigo Ag y Bioceres, ambos ejemplos claros de empresas red de activos livianos. Bioceres, por ejemplo, no tiene ningún laboratorio de ciencia básica para realizar

investigación biológica que derive en el próximo biopesticida o biofertilizante. Ha optado por desarrollar un modelo que aproveche la investigación disponible en centros públicos de investigación en Argentina estableciendo acuerdos benéficos con los científicos que crean la tecnología y la empresa la traduce en un producto comercializable. Además, también adquirió 80% de los activos de la empresa pionera, Rizobacter (Aldunate, 2022).

Con la idea de comprender el patrón que caracteriza al desarrollo de la emergente industria del microbioma, se recurrió a una de las bases de datos más robustas, la de Crunchbase, para rastrear el origen de los inversionistas para un conjunto de empresas representativas del microbioma vegetal que se muestra en el Cuadro 11. En la Figura 10 se observa que, considerando solamente 10 empresas del microbioma, en todas figuran los inversionistas de capital de riesgo como primeros impulsores de la industria, destacando Viking Global Investors, DCVC, Baillie Gifford y Otter Capital; y solamente en tres empresas, Indigo, Zymergen y Bioconsortia, no figuran las empresas líderes de la industria de los agroinsumos convencionales (Bayer, Syngenta y Yara).

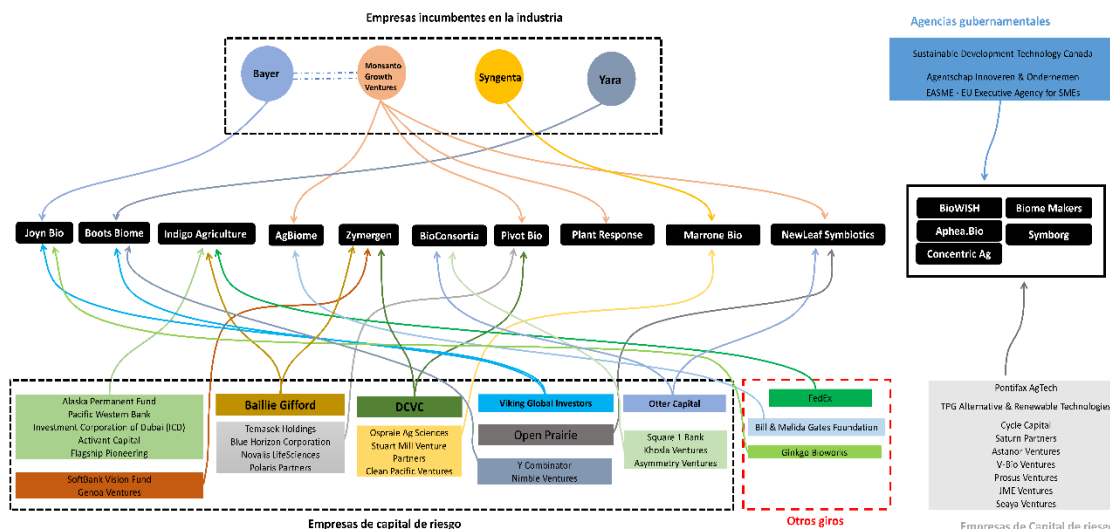


Figura 10. Inversionistas principales en empresas de microbioma vegetal
Fuente: elaboración propia.

Respecto a Indigo Ag, se identificó que comparte inversor con Zymergen, se trata de Baillie Gifford, una empresa independiente de gestión de inversiones de Reino Unido.

Un hallazgo relevante es la identificación de Bayer como la empresa con el mayor número de inversiones en la industria del microbioma vegetal. A saber, las empresas en las que invierte son Pivot Bio, Plant response, Joyn Bio, New Leaf Symbiotic y AgBiome. Aunque anteriormente Bayer ha adquirido empresas que iniciaron con el estudio de microbios agrícolas como Agraquest y Alnylam, se identificó que también invierten en otras empresas, mostrando así su interés en otras alternativas de agroinsumos sostenibles. Las acciones anteriores de los titulares pueden emplearlas como medida para desacelerar o retrasar el potencial disruptivo (C. M. Christensen, McDonald, Altman, & Palmer, 2018; C. Christensen, McDonald, Altman, & Palmer, 2017). Aunque, también los titulares de la industria pueden ser impulsores del establecimiento y difusión de innovaciones disruptivas por su capacidad y poder del mercado (Chemmanur, 2021).

Por otro lado, Syngenta, otra de las empresas establecidas en el mercado de agroinsumos ha realizado inversiones en al menos dos empresas, Marrone Bio innovations y Agbiome. De la misma manera que Bayer, Syngenta a pesar de la compra de Pasteuria Bioscience y Valagro, también invierte en otras empresas de microbioma vegetal. Asimismo, Yara International realizó inversión en la empresa Plant Response.

Por otra parte, se identificó que inversiones gubernamentales como la que lanzó La Casa Blanca en el 2016 de \$450 millones de dólares, impulsan la investigación y desarrollos de productos del microbioma (L. F. Santos & Olivares, 2021).

En resumen, las empresas incumbentes del mercado de agroinsumos están considerando los problemas causados por la agricultura basada en químicos y están buscando soluciones sostenibles.

Lo que estos hallazgos revelan es un nuevo patrón de comportamiento que difiere del planteamiento de Christensen, precursor de la noción de innovación disruptiva. Ciertamente las empresas establecidas llegan en un segundo

momento, ya cuando los inversionistas de capital de riesgo se retiran de las empresas a través de ofertas públicas respaldadas por el éxito comercial de las empresas del microbioma. Pero parece que las empresas líderes aprendieron de experiencias vividas por empresas líderes como Kodak, Blockbuster, Digital Equipment Corporation, Pan Am, Borders, entre otras (Malninght & Buche, 2022), que fueron borradas del mapa comercial por empresas emergentes, y a través de fondos de inversión propios, adquisiciones y alianzas, se han aventurado a identificar de manera relativamente temprana innovaciones que potencialmente pueden alterar la agricultura y definir el futuro de la alimentación. Ingresan en un segundo momento quizás para evitar los altos riesgos asociados de ser pioneros en una industria emergente. A su vez, ingresan como inversores minoritarios y posteriormente adquieren las empresas cuando la tecnología pasa la prueba de mercado y demuestra que tiene el potencial de crecer. Aunque podría resultar paradójico que las empresas establecidas incursionen en sectores aparentemente antagónicos al negocio principal, a decir de un directivo de Bayer, *“las nuevas tecnologías [para] la protección de cultivos van a surgir independientemente de que invirtamos en ellas o no; es solo una forma diferente de hacer el trabajo de controlar las malezas o plagas. Y de hecho tenemos mucho que aportar: conocemos al cliente, conocemos los desafíos, conocemos los sistemas agronómicos y los desafíos de las malas hierbas. Es solo que [las soluciones] están haciendo el trabajo de una manera diferente a la que se ha hecho tradicionalmente. Lo que tenemos que averiguar es un nuevo modelo de negocio que pueda hacer crecer estas tecnologías a escala. Estas tecnologías podrían convertirse en un área de crecimiento futuro para Bayer”* (Martyn-Hemphill, 2021).

Cuadro 11. Inversiones en empresas de microbioma vegetal

Empresa	Inversores	Financiamiento total (Millones de USD)	Actividad
Indigo Ag	Flagship Pioneering, Alaska permanent Fund, CEAS investments, Kevin Han, G Squared, LIAN group, FedEx, Pacific Western Bank,	1200.0	Empresa de tecnología agrícola que trabaja microbios vegetales enfocados a brindar tolerancia a la sequía, mejorar la eficiencia en el uso del agua y mejorar el uso de nutrientes.
Zymergen	Threshold, Hanwha Asset Management, Mission Biocapital, Armentum Partners, Baillie Gifford, Perceptive Advisors, Baron capital, True ventures, DCVC, SoftBank Vision Fund.	974.1	Empresa que utiliza genómica, aprendizaje automático y automatización para ofrecer microbios enfocados en protección de cultivos contra plagas, sequías y mejorar la captura de nutrientes. Además, realiza investigación en el área de alimentos, electricidad, fármacos.
Pivot Bio	Continental Grain Company, Generation Investment Management, Bunge Ventures, Roger C. Underwood, Tekfen Ventures, Temasek Holdings, Breakthrough Energy Ventures, Rockefeller Capital Management, Prelude Ventures, G2VP.	616.7	Empresa que desarrolla y comercializa tecnología microbiana para suministrar nitrógeno a los cereales a través de la ingeniería de ADN para mejorar la eficiencia de microbios.
AgBiome LLC	Bill & Melinda Gates Foundation, Fidelity Management and Research Company, Pontifax AgTech, ARCH Ventures Partners, Monsanto Growth Ventures, UTIMCO, Innotech Advisers, Blue Horizon, Novalis LifeSciences.	252.5	Empresa que investiga, desarrolla y comercializa productos biológicos a base de microbios para la protección de cultivos.
Joyn Bio (Bayer & Ginko Bioworks)	Viking Global Investors, Bayer, Ginko Bioworks.	200.0	Empresa que utiliza ingeniería de microbios para reducir la aplicación de fertilizantes nitrogenados en maíz, trigo y arroz.
Marrone Bio Innovations	Stuart Mill venture Partners, One Earth Capital, Mitsui Global Investment, Saffron Hill ventures, Sygenta ventures, Clean Pacific ventures, Point financial Inc., Ospraie Ag Sciences.	189.5	Empresa que desarrolla y comercializa productos microbianos para bioinsecticida, biofungicida y bionematicida.
Plant Response	Novozymes, Middleland Capital, Caixa Capital Risc, Monsanto Growth ventures, Beye ventures, iSelect, Yara Germinate.	100.4	Empresa que investiga, desarrolla y comercializa inoculantes para mejorar la absorción de nutrientes.

NewLeaf Symbiotics	St. Louis Arch Angels, Otter Capital, Alumni ventures, Open prairie, Monsanto Growth ventures, RockPort Capital, Leaps by Bayer, Koch Agronomic Services, S2G ventures.	77.6	Empresa que descubre, desarrolla, produce y comercializa inoculantes microbianos para mejorar la absorción de nutrientes y salud de cultivos.
Concentric Ag	TPG Alternative & Renewable Technologies, Sustainable Development Technology Canada	73.0	Investiga y desarrolla consorcios microbianos para fresas, tomates y papas a través de plataforma patentada que utiliza fermentación.
BioConsortia	Kholza ventures, otter capital, Square 1 Bank	37.0	Empresa que investiga, desarrolla y comercializa productos microbianos categorizados en bioplaguicidas, bioestimulantes y biofertilizantes con ayuda de herramientas de caracterización microbiana, ingeniería genómica, interrogación y modelado de datos.
BioWISH	Saturn Partners	34.6	Empresa que comercializa productos microbianos para mejorar la disponibilidad de nutrientes, el desarrollo radicular, mejorar la productividad del suelo.
Aphea.Bio	Gemma Frisius Fund, Astanor Ventures, V-Bio ventures, Agru Investment Fund, VIB, European Circular Bioeconomy Fund, Vives Louvain Technology Fund, Qbic Fund, PMV.	28.0	Empresa que investiga, desarrolla y comercializa cepas microbianas para mejorar la absorción de nutrientes y para proteger contra enfermedades en cultivos.
Biome makers	The pearse Lyons Accelerator, JME ventures, Local Globe, Seaya ventures, European Innovation Council, Viking Global Investors, Prosus ventures, Pymwymic	23.4	Empresa que analiza la biología del suelo para conocer los microbios del suelo y tomar mejores decisiones agronómicas.
Boots Biome Inc	Y combinator, Kureha Corporation, Viking Global Investors, Plug and Play Tech Center, Yara Internacional, Universal materials incubator.	9.2	Empresa que investiga y desarrolla consorcios microbianos para biocontrol a través de plataforma patentada en el descubrimiento de microbios funcionales.
Adaptative Symbiotic Technologies	Twynam agricultural Group	4.5	Empresa que ofrece inoculantes microbianos para mejorar la tolerancia a sequía y temperaturas extremas, así como mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes.

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Cruchbase (2022).

5.1.1.4. Productos sustitutos

Son productos sustitutos aquellos bienes o servicios que brindan solución a la misma problemática (Parkin, 2008). Desde el punto de vista de la nutrición vegetal, en la literatura se ha demostrado que la sustitución de fertilizantes por biofertilizantes se da de manera parcial, tal como se puede apreciar en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Sustitución parcial de la fertilización sintética en la agricultura

Microorganismo	Función	Referencia
<i>Anabaena azotica</i>	Reducción del 30% de fertilizante nitrógeno en Arroz.	J. Zhang et al. (2021)
<i>Glomus intraradices</i>	Reducción del 50% de fertilizante fosforado en Sorgo.	Afshar, Jovini, Chaichi, & Hashemi (2014)
<i>Bacillus subtilis</i> HJ5 <i>Bacillus subtilis</i> DF14	Reducción del 40% de fertilizante nitrogenado en Algodón.	Tao, Wakelin, Liang, & Chu (2017)
<i>Bacillus Cereus</i>	Reducción del 50% de la fórmula de fertilización 38kg N, 16kg P y 32kg K por hectárea en Arroz	Jetiyanon, Wittaya-Areekul, Plianbangchang, & Lohitnavy (2017)
<i>Azotobacter</i>	Reducción del 25% de fertilizante de fórmula 6N: 10P: 6 K g planta en fresa	Kumar et al. (2019)

Fuente: elaboración propia.

Cabe señalar que la sustitución de los fertilizantes sintéticos por los biofertilizantes reduce la huella ambiental de los agricultores y además promueve la producción sostenible de alimentos. Algunos aspectos importantes que está impulsando la sustitución de los fertilizantes nitrogenados son los efectos

negativos en el ecosistema generados por las excesivas cantidades aplicadas en el suelo (Spiertz, 2009; Zhong, Yan, & Shangguan, 2015).

Otro aspecto que promueve la sustitución de los fertilizantes sintéticos es el incremento de los precios de estos. En 2021 los fertilizantes fosfatados y la urea incrementaron de precio debido a los mayores costos de los insumos para su elaboración, incremento de la demanda y tensiones geopolíticas con Rusia (Baffes & Chian-Koh, 2021).

Dado que el nutriente con mayor importancia en el crecimiento de las plantas es el nitrógeno (Gupta, Panwar, Akhtar, & Jha, 2012), la necesidad de alternativas ha incentivado a los investigadores a explorar formas para evitar su uso excesivo. Ante esta problemática, la fijación biológica a través de microbios es una alternativa por medio de la cual se transforma el nitrógeno elemental de la atmósfera en una forma disponible para las plantas. Algunos resultados de este proceso se muestran en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Fijación biológica de nitrógeno mediante microbios

Especio de cultivos	Microorganismo asociado	Fijación de N₂ (kg/ha/año)
<i>Leucaena leucacephala</i>	<i>Rhizobium</i>	100-500
<i>Medicago sativa</i>	<i>Rhizobium</i>	150-250
<i>Trifolium pretense</i>	<i>Rhizobium</i>	100-150
<i>Vigna unguiculata</i>	<i>Bradyrhizobium</i>	50-100
<i>Cajanus sp.</i>	<i>Bradyrhizobium</i>	150-280
<i>Alnus sp.</i>	<i>Frankia</i>	50-150
<i>Digesteria decumbens</i>	<i>Azospirillum</i>	5-30

Fuente: tomado de V. S. Meena, Mishra, Bisht, y Pattanayak (2017).

Sin embargo, los resultados mostrados en el Cuadro 13, están influenciados por la interacción microbio-planta, aspectos ambientales y prácticas agronómicas. Por ello existe variabilidad en la fijación biológica de nitrógeno mediado por microbios.

Por otro lado, los productos microbianos enfocados a biocontrol pueden ser sustitutos de los pesticidas químicos, aunque la efectividad es variable. Se han realizado estudios para el control de *Phytophthora cactorum* en manzana a través de *Penicillius sp* donde se alcanzó una efectividad del 73% (Alexander & Stewart, 2001), en mandarina se suprimió el 77% de *Penicillium diginatum* a través de *Bacillus amyloliquefaciens* (Hao, Li, Hu, Yang, & Rizwan-ul-Haq, 2011) y existe una gran cantidad de ejemplos de aplicación en otros cultivos (O'Brien, 2017b). A pesar de que los pesticidas se han elaborado con moléculas altamente tóxicas para células vivas con el propósito de controlar plagas y enfermedades (Harwood, 2019), la compatibilidad con los productos microbianos sigue en discusión (Mariana Sanches Santos, Rodrigues, Nogueira, & Hungria, 2021a). Aun así, Chandler et al. (2011) señalan que los productos microbianos pueden ser parte del manejo integrado de plagas. Aunque el resultado positivo de los productos microbianos dependen del genotipo de la planta, el tipo de suelo y las condiciones ambientales donde se apliquen (Parnell et al., 2016). Pese a que el uso de los plaguicidas ha permitido duplicar la producción agrícola, el costo ambiental y de salud para los consumidores ha sido alto (Carvalho, 2017), lo que impulsa la sustitución por los productos microbianos. Afortunadamente, con las tendencias de consumidores más consientes con el ambiente y con el apoyo de las empresas sostenibles, se espera que el uso de plaguicidas disminuya en los próximos años.

5.1.2. Tendencias clave

En este apartado se describen las principales tendencias que pueden afectar o favorecer a las empresas de microbioma vegetal. En primer lugar, se señalan las tecnologías que convergen con el microbioma vegetal para su estudio en la generación de conocimiento que permita desarrollar nuevos productos. En segundo lugar, se describen los acuerdos internacionales que están impulsando el desarrollo de sistemas agroalimentarios sostenibles a través del uso de prácticas e insumos amigables con el ambiente, como el microbioma vegetal. En tercer lugar, se describen los cambios sociales relacionados con la demanda de

alimentos. Finalmente, se señalan los principales problemas que el cambio climático provoca en los agricultores y cómo el microbioma vegetal contribuye a contrarrestarlos.

5.1.2.1. Tendencias tecnológicas

En este apartado se describen las funciones de la transcriptómica, proteómica, metaproteómica y la metabolómica en la comprensión del microbioma vegetal. También se explican las tendencias en el estudio del microbioma vegetal en ambientes extremos y el proceso de la ingeniería del microbioma vegetal asistida por la biología sintética.

La reducción del costo de la secuenciación del ADN (Bell, Joly, Pitre, & Yergeau, 2014; Reuter, Spacek, & Snyder, 2015) y los avances en las tecnologías de secuenciación de próxima generación (NGS por sus siglas en inglés), están permitiendo el estudio de las interacciones planta-microbioma y las interacciones con el ambiente (Levy, Conway, Dangl, & Woyke, 2018; Thijs, Sillen, Weyens, & Vangronsveld, 2017). Los campos de las NGS incluyen a la metagenómica, metatranscriptómica, metaproteómica y metabolómica (Levy et al., 2018). A continuación, se explica el papel de cada uno de estos campos en el estudio del microbioma vegetal.

En primer lugar, la genómica estudia la composición genética completa de un organismo. Por su parte, la metagenómica determina la composición genética de una comunidad de organismos a través de muestreos ambientales (Hugenholtz & Tyson, 2008). Los avances en la metagenómica han permitido secuenciar miles de genomas de diversas especies y se ha logrado identificar genes que se enriquecen en la endosfera (A. Sessitsch et al., 2012), en la rizosfera (Bulgarelli et al., 2013) y se ha documentado que existen genes con actividad de biocontrol (Mendes, Raaijmakers, De Hollander, Mendes, & Tsai, 2018).

Las tecnologías de transcriptómica son aquellas que permiten el estudio de la suma de todas sus transcripciones de ARN (Lowe, Shirley, Bleackley, Dolan, & Shafee, 2017). Esta tecnología permite identificar aquellos genes que se expresan en ciertas condiciones (Levy et al., 2018). Lo anterior, permite conocer

las interacciones planta-bacteria endófitas en diversos cultivos (Pinski, Betekhtin, Hupert-Kocurek, Mur, & Hasterok, 2019).

Por su parte, la metatranscriptómica estudia la expresión genética de todos los organismos en un lugar determinado. Lo anterior es importante al momento de identificar la diversidad genética y estudiar los cambios en los niveles de expresión en diferentes condiciones fisiológicas del microbioma vegetal (Ranjan, Bharti, Siddique, & Singh, 2021).

La proteómica permite el estudio no solo del conjunto de proteínas expresadas de una célula, sino también de aquellas modificaciones de proteína, las interacciones entre ellas y descripción de su estructura (Tyers & Mann, 2003). Se ha logrado identificar aquellas proteínas secretadas por las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, como *Bacillus amyloliquefaciens*, en función del exudado de raíces (Kierul et al., 2015) e identificar las proteínas responsables en la fijación de nitrógeno en arroz (Bao et al., 2014).

Finalmente, la metabolómica ayuda a identificar aquellos metabolitos específicos que pueden medir la respuesta a un tratamiento dado, pero esta tecnología, al igual que la proteómica, aún tienen elevados costos (Levy et al., 2018). En el estudio del microbioma vegetal, los exudados de las raíces y el sustrato son los factores que promueven la actividad metabólica de la comunidad microbiana (Brunel et al., 2020).

Por lo tanto, con la integración de estas metodologías ómicas, se está avanzando en la comprensión de las funciones de genes, (Broberg, Doonan, Mundt, Denman, & McDonald, 2018; Saikkonen, Nissinen, & Helander, 2020), las interacciones planta-microbio (Knight et al., 2018; Stegen, Bottos, & Jansson, 2018) y las proteínas relacionadas con la simbiosis planta-bacteria (Delmotte et al., 2010). Además, cuando se integran los datos multiómicos con el aprendizaje automático a través de modelos cuantitativos moleculares, se conocerían las interacciones planta-microbio en escenarios de cambio climático (Trivedi, Batista, Bazany, & Singh, 2022), y también se podría hacer predicciones de la productividad de cultivos a través del análisis de la composición del microbioma vegetal (Chang, Haudenschild, Bowen, & Hartman, 2017). Por lo tanto, se espera

que la convergencia entre ciencia ómica y aprendizaje automático tenga demanda para analizar la gran cantidad de datos obtenidos en los análisis metaómicos (Xie et al., 2019).

A través del estudio del microbioma vegetal se han identificado aquellos microorganismos que se desarrollan en ambientes extremos (Nath Yadav & Yadav, 2020; P. Verma, Yadav, Kumar, Singh, & Saxena, 2017) como por ejemplo: ambientes salinos (Rabie & Almadini, 2005), altas temperaturas (Schulz, Rabsch, & Junker, 2019) bajas temperaturas (P. K. Mishra et al., 2011; Rodriguez & Durán, 2020; A. N. Yadav, 2017), sequías (Kour et al., 2019), ambientes alcalinos (Nautiyal et al., 2000) y ambientes ácidos (Feliatra et al., 2016; Florentino, Brienza, Stams, & Sánchez-Andrea, 2016; S. Yadav, Kaushik, Saxena, & Arora, 2011). Lo anterior toma importancia para los científicos y las empresas para desarrollar productos microbianos con el objetivo de contrarrestar los efectos negativos del cambio climático en los cultivos agrícolas (Rodriguez & Durán, 2020; Schlaeppi & Bulgarelli, 2015).

El estrés provocado por el cambio climático ha llevado a las plantas a realizar un proceso conocido como *grito de ayuda* o *CRY FOR HELP*, donde se ha documentado que las plantas pueden generar relación con microorganismos para abatir los efectos provocados por el estrés biótico o abiótico (Bakker, Pieterse, de Jonge, & Berendsen, 2018; De Vries, Griffiths, Knight, Nicolitch, & Williams, 2020; Rolfe, Griffiths, & Ton, 2019).

A partir de entender el reclutamiento de los microorganismos por la planta ante el estrés biótico y abiótico, algunos autores señalan que es factible transferir microbiomas a plantas con el objetivo de aprovechar las interacciones favorables identificadas (Hussain, 2019; Huttenhower et al., 2012; Mueller & Sachs, 2015). En la salud de humanos, se ha probado la transferencia de microbioma fecal, es decir, transferir microbioma intestinal de humanos sanos a receptores enfermos obteniendo éxito en casos particulares de enfermedades clínicas (Kaakoush, 2020). De acuerdo con Raaijmakers & Mazzola (2016), también es posible transferir microbioma a partir de muestras de un suelo supresor de enfermedades a otro no supresor, es decir, se pueden dar protección a los cultivos a través del

microbioma de la planta. Uno de los procesos de trasplante de microbioma se muestra en la Figura 11.

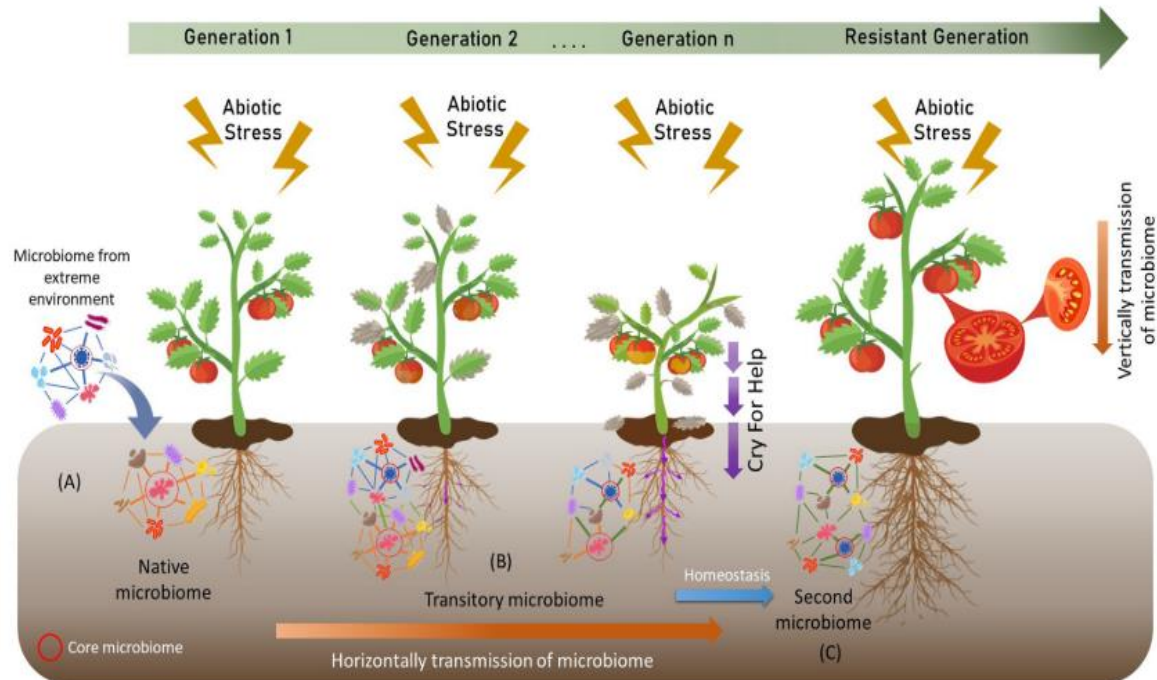


Figura 11. Proceso de ingeniería del microbioma vegetal

Fuente: Rodríguez y Durán (2020).

En la Figura 11, Rodríguez y Durán (2020) detallan el proceso de selección artificial de microbiomas mediante selección multigeneracional y mediada por el huésped. (A) La incorporación de un microbioma extremo modifica el microbioma nativo. (B) Este nuevo microbioma transitorio se transmite horizontalmente a través del suelo y sufre alteraciones a través de los procesos de Cry For Help. (C) Con el tiempo, el microbioma alcanza la homeostasis formando un segundo microbioma que ayuda a paliar los efectos negativos del cambio climático (Naylor et al., 2020). Con la identificación de estas nuevas entidades centrales a través de técnicas “meta-ómicas”, se podría generar conocimiento sobre la dinámica de las situaciones específicas para realizar inoculantes microbianos más precisos y resilientes en la agricultura (Pozo, Zabalgogeoazcoa, Vazquez de Aldana, & Martinez-Medina, 2021; Qiu, Egidi, Liu, Kaur, & Singh, 2019).

Una forma de potencializar el microbioma vegetal es a través de las herramientas de edición de genes, que pueden ser ARN de interferencia (ARNi) (Zamore, Tuschl, Sharp, & Bartel, 2000), CRISPR/Cas9 (Cong et al., 2013), entre otras, para el desarrollo de Microorganismos Modificados Genéticamente (MMG) (Qiu et al., 2019). Hoy en día, la academia y la industria tienen un gran interés en el desarrollo de MMG, no solo en el ámbito de la agricultura sino también en la salud humana a través de la biología sintética (Bober, Beisel, & Nair, 2018; Mays & Nair, 2018; Pedrolli et al., 2019; Thiele, Heinken, & Fleming, 2013). Empresas como Pivot Bio, JOYN Bio, Novome Biotechnologies, Synlogic y 64-x desarrollan productos basados en MMG para uso en la agricultura y salud humana. La metodología para realizar ingeniería del microbioma para realizar aplicaciones agrícolas se muestra en la siguiente Figura 12.

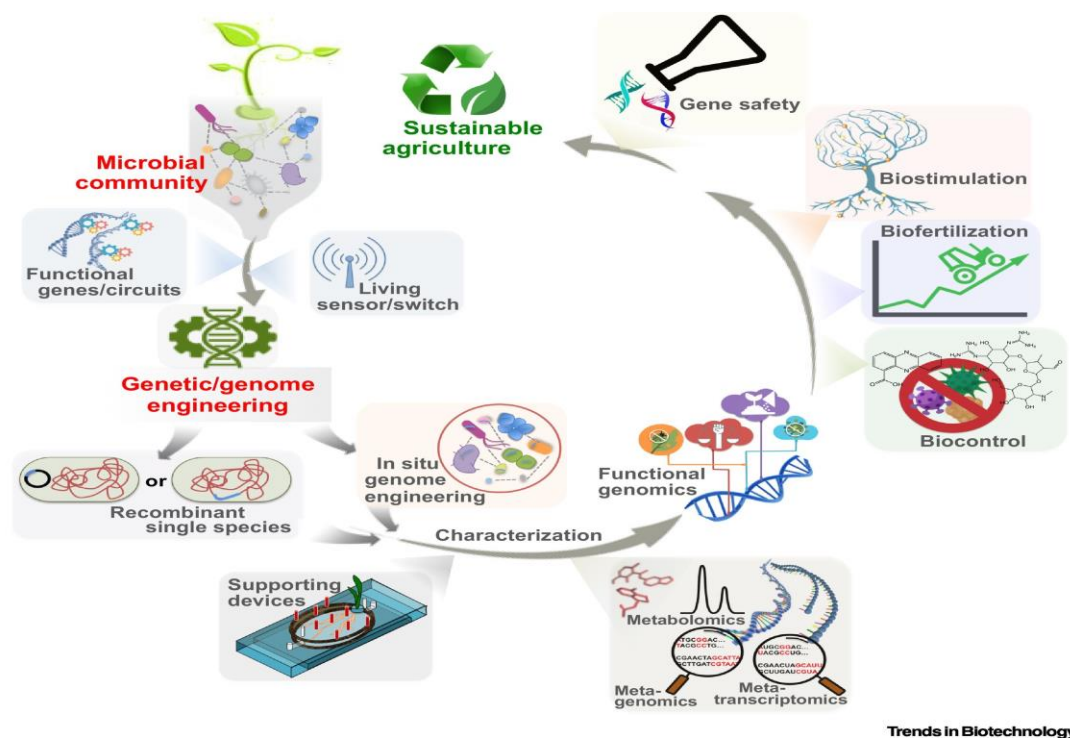


Figura 12. Descripción de la ingeniería de microbioma habilitada por biología sintética en la agricultura sostenible
Fuente: Ke et al. (2021).

En la actualidad, el uso de MMG en la agricultura está en discusión debido a los cambios en el ambiente que podría causar la introducción de estos organismos

(Ma, Mau, & Sharbel, 2018; Wang, O'Brien, Pava-Ripoll, & St Leger, 2011), por lo que sería necesario dar seguimiento a su destino y comportamiento en el ambiente, además de que su uso depende de la regulación en los países donde se pretendan utilizar (Qiu et al., 2019).

Por otro lado, la nanobiotecnología podría generar nanoencapsulación de liberación lenta para mejorar la vida útil y controlar la dispersión de los productos microbianos (Batista & Singh, 2021), lo que podría prolongar la supervivencia de los productos microbianos, aunque se deban precisar los recursos en las formulaciones (Qiu et al., 2019).

A su vez, se reconoce que la interacción planta-microbio es un factor importante en el proceso de mejoramiento genético y domesticación de cultivos (Clouse & Wagner, 2021; Eduardo Contreras-Liza, 2021; Angela Sessitsch & Mitter, 2015). Por ejemplo, la domesticación y mejoramiento genético del maíz aumentó la diversidad microbiana en la rizosfera, lo cual es una área de oportunidad en el mejoramiento genético de los cultivos para contrarrestar el impacto del cambio climático y mejorar la absorción de nutrientes a partir del microbioma de la rizosfera (Huang et al., 2022).

Otra estrategia que ha tomado interés en investigaciones recientes, es la del desarrollo de inoculantes a partir de microbios benéficos autóctonos o *in situ* (Mueller & Sachs, 2015). Esto consiste en identificar aquellas plantas sobresalientes en alguna característica de interés (productividad, resistencia a plagas, etc.), posteriormente se aísla el microbioma vegetal benéfico para el desarrollo de los consorcios microbianos (Brajesh K. Singh & Trivedi, 2017; Trivedi, Schenk, Wallenstein, & Singh, 2017).

5.1.2.2. Tendencias normalizadoras

En este apartado se describen los acuerdos internacionales que promueven las prácticas y técnicas de producción sostenibles. Posteriormente, se señala el comportamiento general de las patentes en el sector del microbioma, señalando los principales países y empresas con mayor cantidad de ellas. Además, se detallan los aspectos referentes a los procesos de patente en los productos

microbianos. Finalmente, se describe el marco regulatorio de los microbios agrícolas.

Acuerdos internacionales

Agenda 2030-ODS

Uno de los acuerdos internacionales adoptado por los países miembros de las Naciones Unidas en 2015, fue la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, donde se definieron 17 Objetivos (United Nations, 2015). Los microbios participan en los servicios ecosistémicos, por lo cual contribuyen directamente en los ODS 1 (fin de la pobreza), ODS 2 (Hambre cero), ODS 3 (Salud y bienestar) (Timmis et al., 2017). Otros autores señalan que también el microbioma vegetal puede contribuir en los ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico), ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) y ODS 12 (producción y consumo responsable) impulsando un sistema respetuosos con el ambiente, eficiente con los recursos y reduciendo las emisiones de GEI (D'Hondt et al., 2021).

Además, en el ODS 12 se plantea la reducción o eliminación de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, por lo tanto, el uso del productos microbianos es deseable para el cumplimiento de este objetivo (Gavahian, Pallares, Al Khawli, Ferrer, & Barba, 2020).

Conviene señalar que el ODS 2 y el ODS 15 están estrechamente relacionados en términos prácticos con la agricultura. El ODS 2 promueve la producción sostenible de alimentos a través de prácticas resilientes que mejoren la productividad y calidad del suelo (United Nations, 2015). Por su parte, el ODS 15 establece detener la pérdida de biodiversidad (incluido el microbioma del suelo y la rizosfera) (Omotayo & Babalola, 2021).

La búsqueda de alternativas sostenibles, como el uso del microbioma vegetal, contribuye al cumplimiento de los ODS y a la construcción de un sistema alimentario sostenible (Omer & Noguchi, 2020). Por lo tanto, es deseable la inversión, colaboración y divulgación en innovaciones relacionadas con el microbioma vegetal (D'Hondt et al., 2021).

Pacto Verde Europeo

Otro acuerdo internacional que promueve el uso de alternativas sostenibles en la producción de alimentos es el Pacto Verde Europeo, que tiene como objetivo reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI) en al menos 55% a 2030 comparado con los niveles de 1990, sin poner en riesgo el crecimiento económico y bienestar de la comunidad europea (European Parliament, 2020).

El Pacto Verde Europeo promueve un sistema alimentario sostenible (Wrzaszcz & Prandecki, 2020), a través de medidas como el etiquetado nutricional, uso sostenible de plaguicidas, plan de acción para el desarrollo de la producción ecológica, entre otros (European Commission, 2022). En el plan de acción para el desarrollo de la producción ecológica, los productos microbianos pueden ofrecer funciones en la nutrición y control de plagas a través de biofertilizantes y bioplaguicidas. La investigación científica ha reconocido que el microbioma vegetal reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que el uso de estos productos microbianos se alinean con las prácticas agrícolas sostenibles (Sharma, Singh, Dwivedi, & Rajawat, 2022; A. Singh, Agrawal, & Marshall, 2010; J. P. Verma, 2018).

Uno de los aspectos que impulsan el mercado de productos microbianos son los cambios de política. Prueba de esto es el Nuevo Pacto Verde que tiene como propósito disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados en al menos 20% y el uso de pesticidas químicos en 50% para el 2030 (Comisión Europea, 2020). Esta reducción de agroquímicos requerirá la transición a productos sostenibles como los productos microbianos.

Sistemas alimentarios y microbioma vegetal

La Unión Europea (EU) promueve en sus objetivos garantizar la seguridad alimentaria, preservar la biodiversidad y reducir la huella ambiental y climática del sistema alimentario (European Commission, 2022). De acuerdo con la FAO, el microbioma tiene potencial para mejorar la salud, el clima y los sistemas alimentarios sostenibles (Callens et al., 2019). Se ha reconocido la importancia que juega el microbioma del suelo en la producción de alimentos, seguridad alimentaria y sostenibilidad ambiental (D'Hondt et al., 2021). En este sentido, De

Vries y Wallenstein (2017) señalan que el conocimiento y la manipulación de la red de comunidades microbianas en la rizosfera son elementos que permitirían el manejo saludable del suelo para una producción sostenible de alimentos.

Otras iniciativas

En 2016, La Casa Blanca lanzó la Iniciativa Nacional del Microbioma (NMI), donde recaudó un monto de 400 millones USD para mejorar la innovación, comercialización y desarrollo de industrias relacionadas con el microbioma, incluido el microbioma para el control de plagas y nutrición de cultivos (Reardon, 2016; White House, 2016).

Las patentes

Las patentes juegan un papel importante en la generación de innovaciones para abordar desafíos globales, por ejemplo, el desarrollo de productos que mejoren la producción de cultivos (Caner, Claes, De Clercq, & Michael, 2020). Algunos estudios señalan que existe una correlación positiva entre la capacidad de innovación y el rendimiento de las empresas (Cho & Pucik, 2005; DeCarolis & Deeds, 1999).

No obstante, los beneficios potenciales de la innovación pueden no solo ser capturados por la empresa que la desarrolla. Frente a esto, existen mecanismos de protección legal como las patentes (Artz, Norman, Hatfield, & Cardinal, 2010; Lee, Smith, Grimm, & Schomburg, 2000; Steven McMillan, Mauri, & Halmilton III, 2003). Además de ser un mecanismo de protección del inventor, también protege el interés de los inversionistas en el desarrollo de productos (Srivastava & Adholeya, 2019).

De acuerdo con World Intellectual Property Organization (2022), una patente “es un derecho exclusivo concedido sobre una invención, que es un producto o un proceso que proporciona, en general, una nueva forma de hacer algo, u ofrece una nueva solución técnica a un problema. Para obtener una patente, la información técnica sobre la invención debe divulgarse al público en una solicitud de patente”.

En este sentido, Bagna, Cotta Ramusino, y Denicolai (2021) en su estudio de empresas europeas, encontraron que las inversiones en patentes se relacionan con crecimientos empresariales considerables.

En el sector del microbioma, el estudio realizado por Fankhauser, Moser, y Nyfeler (2018), señala que los principales propietarios de patentes son las grandes empresas y la academia; dentro de estos actores se encuentran las multinacionales de alimentos Danone y Nestlé, así como empresas de reciente creación como Syanologic Therapeutics, uBiome y Seres therapeutics como se muestra en la Figura 13.

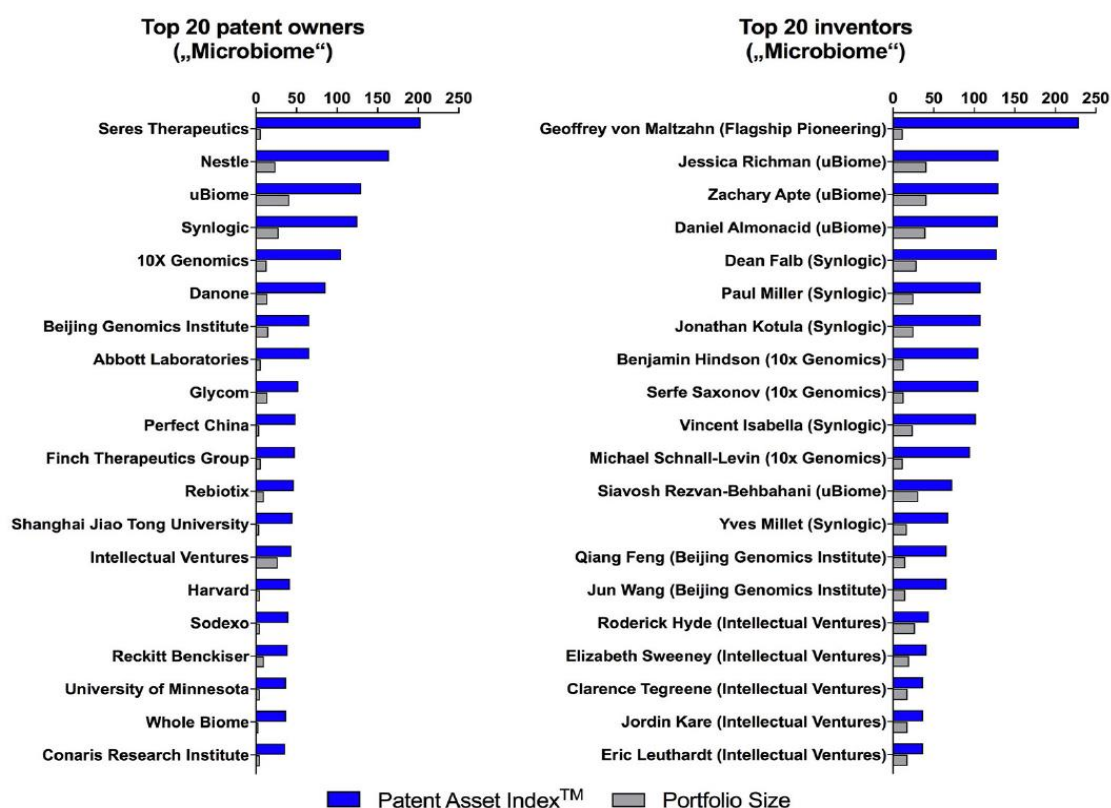


Figura 13. Patent Asset Index de las 20 principales empresas propietarias de microbioma

Fuente: Fankhauser et al. (2018).

En cuanto a inventores en el sector del microbioma, Fankhauser et al. (2018), señalan a Geoffrey Von Maltzahn, socio de la firma de capital de riesgo Flagship Pioneering, en lo más alto de la lista como se muestra en la Figura 13. Este

inventor ha participado en el desarrollo de patentes en empresas como Seres Therapeutics, Kaleido Biosciences e Indigo Agriculture, esta última es objeto de análisis en la presente investigación. Lo anterior demuestra que el principal inventor en el microbioma tiene interés en la salud humana a través de terapias de microbioma y en el desarrollo de productos microbianos enfocados en la agricultura.

Patentes del microbioma vegetal

Se han identificado patentes de microbioma vegetal para uso en la agricultura, medicina, biocombustibles y alimentación (Al-Ani, 2019). No obstante, esta investigación se centra en el patentamiento del microbioma vegetal utilizado en la agricultura.

A pesar del interés en el desarrollo de patentes de microbios agrícolas, existe una amplia variación en las metodologías de patentamiento de acuerdo a los países (S. S. Meena & Mohanty, 2020). Por lo anterior, se han creado acuerdos internacionales que permiten la comercialización de productos o procesos derivados de patentes biológicas, incluida el microbioma vegetal. Uno de los acuerdos son los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el comercio (TRIPS por sus siglas en inglés) impulsado por los países miembros de la Organización Mundial del Comercio (WTO) (Matthews, 2003). A partir de este acuerdo, 16 países permitirían el patentamiento de microorganismos, siempre y cuando tengan novedad, inventiva y aplicación industrial (Sekar & Kandavel, 2002). A pesar de la existencia del acuerdo, se dificulta la divulgación completa de la invención al momento de solicitar la patente, por lo que fue necesario crear un depósito con muestras de microorganismos para comprender su descripción y funcionamiento (S. S. Meena & Mohanty, 2020). Así, nació en 1977 el Tratado de Budapest sobre el Reconocimiento Internacional del Depósito de Microorganismos para fines del procedimiento de patentes, el cual es administrado por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, donde se coleccionan muestras de microorganismos ante una autoridad internacional de depósito (World Intellectual Property Organization, 1978).

En EE.UU., el tema de patentes de microorganismos ha tenido varias controversias, desde la prohibición, hasta abrir la posibilidad de hacerlo a partir de 1980, cuando la corte suprema intervino en el caso de *Diamond v. Chakrabarty* que había modificado genéticamente una bacteria del género *Pseudomonas* (Kevles, 1994; Robinson & Medlock, 2005). En este caso, la Oficina de Patentes y Marcas Registradas de los Estados Unidos (USPTO), determinó que la bacteria no existía en la naturaleza, sin embargo, la solicitud de patente fue rechazada debido a que la bacteria es un organismo vivo (Kevles, 1994).

De acuerdo con la USPTO (2020), existen cuatro categorías legales de una invención: procesos, máquinas, manufacturas y composiciones de materia. Sin embargo, señalan las excepciones judiciales que están fuera de estas categorías de invención: ideas abstractas, leyes de la naturaleza y los fenómenos naturales (incluidos los productos de la naturaleza). En este último, se incluye a los productos microbianos, para lo cual se resumen aspectos relevantes en su proceso de patentamiento. Así, las excepciones en los productos naturales incluyen aquellos productos naturales como aquellos no naturales que carecen de características marcadamente diferentes que su contraparte natural (USPTO, 2020). Por lo tanto, un microorganismo natural aislado no se considera elegible debido a que no se muestran las características marcadamente diferentes (Jackman & Gaszner, 2018).

Para el caso de manipulación genética de microbios, en 2013 la corte suprema de EE.UU. sostuvo que “un segmento de ADN de origen natural es un producto de la naturaleza y no es elegible para patente simplemente porque ha sido aislado, pero el ADNc es elegible para patente porque no es de origen natural” (Ingram, 2014). Por su parte la USPTO (2014), señala que “*un producto natural que no cambia su estado natural no tiene características marcadamente diferentes (reivindicación 1), pero que los cambios en la función biológica entre un producto declarado y su contraparte natural pueden demostrar características marcadamente diferentes (reivindicación 2)*”. Esto ha permitido a las empresas biotecnológicas y farmacéuticas a patentar ADNc, es decir, ADN modificado genéticamente (S. S. Meena & Mohanty, 2020).

Por otro lado, una mezcla de bacterias usadas para elaborar inoculantes microbianos se define como una reivindicación de una composición, por lo tanto, puede ser elegible para patente si “la mezcla muestra una diferencia marcada” en sus componentes naturales o si la mezcla no se produce en la naturaleza (Jackman & Gaszner, 2018; USPTO, 2014).

Debido a que en el proceso de elaboración de productos microbianos es necesaria la reproducción a gran escala, con las tecnologías actuales no es posible hacerlo. Entonces, las empresas desarrollan nuevos métodos para obtener ventaja competitiva y dichos métodos si podrían ser elegibles para patentes (Jackman & Gaszner, 2018).

Un estudio reciente realizado con datos de patentes de Hongos Micorrizicos Arbusculares (AMF por sus siglas en inglés) a nivel mundial para el periodo de 2000 a 2020, señala que los principales países con actividad de patentes (solicitadas y otorgadas) es China (456), EE.UU. (81) y Alemania (27) (Lugtenberg, Caradus, & Johnson, 2016). Además, señalan que los principales solicitantes de patentes son la industria (45%), universidades (24%) e institutos de I+D (18%). Referente a los años más activos, sobresalen el 2019 con 190 patentes, seguido del 2017 con 74 y el 2013 con 68. La dinámica muestra que a partir del año 2013, los inversores tuvieron interés en patentar productos o procesos relacionados con AMF (Srivastava, Johny, & Adholeya, 2021). Algunas empresas han patentado algunos microorganismos, como Marrone Bio Innovations, quienes aislaron y patentaron *Muscodor albus* para su uso como biofumigante.

Profundizar el estudio de las patentes permitiría a las empresas aspirar a la innovación futura y evaluar su desempeño, así como potencializar el surgimiento de empresas emergentes (Caner et al., 2020; Ponta, Puliga, Manzini, & Cincotti, 2022).

Regulación

En EE.UU., existen tres agencias responsables de la regulación de productos agrícolas y animales modificados genéticamente: el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la

Administración de Fármacos y Alimentos (FDA) (McCammon & Mendelsohn, 2019).

La EPA se encarga de regular el uso de Microorganismos Modificados Genéticamente (GMM) y pesticidas bajo la Ley Federal de Insecticidas, funguicidas y Rodenticidas (FIFRA); también se encarga de regular los GMM con actividad de biofertilización bajo la Ley de Control de Sustancias Tóxicas (TSCA). Sin embargo, con el crecimiento en el uso de GMM resulta necesario generar un nuevo marco regulatorio para evaluar los riesgos por tipos de productos (Ke et al., 2021).

5.1.2.3. Tendencias sociales

Al desafío que supone alimentar a una población humana creciente, se suma la necesidad de hacerlo de manera sostenible sin causar más impactos negativos al ambiente. Por lo tanto, los agricultores, empresas agrícolas y consumidores deben pensar en un enfoque de una sola salud. Este concepto es cada vez más aceptado por los consumidores, refiriéndose a que la salud de los seres humanos, los animales, las plantas y el medio ambiente están fuertemente vinculados (García, Osburn, & Jay-Russell, 2020). Debido a la pandemia COVID-19, se requiere una mejor comprensión del papel que juegan las comunidades microbianas en la salud de plantas, animales, medioambiente (principalmente suelo) y seres humanos (van Bruggen et al., 2019). Ha surgido una nueva ola de consumidores más conscientes de que la producción de alimentos debe ser sostenible sin poner en peligro los recursos naturales para las siguientes generaciones (Lindgren et al., 2018).

En un estudio realizado por S. Li y Kallas (2021), encontraron que la generación más joven tiene una mayor disposición a pagar por alimentos sostenibles (34.6%), mientras que la generación mayor a 56 años tiene una menor disposición a pagar por estos alimentos (29.5%).

De acuerdo con Statista (2016), se encontró una diferencia entre generaciones estadounidenses al momento de tomar medidas ecológicas. Se estima que el 36% de los Millennials comprarían alimentos producidos bajo un enfoque

orgánico para poder considerarse ecológicos. Mientras que, de la población mayor a los 55 años, solo el 19% tendrían disposición a pagar alimentos orgánicos como se puede observar en la Figura 14. Por consiguiente, la generación poblacional más joven es la que parece estar impulsando las tendencias de la demanda de alimentos sostenibles (Su, Tsai, Chen, & Lv, 2019), orgánicos (David & Ardiansyah, 2017) y ecológicos (Lago et al., 2020).

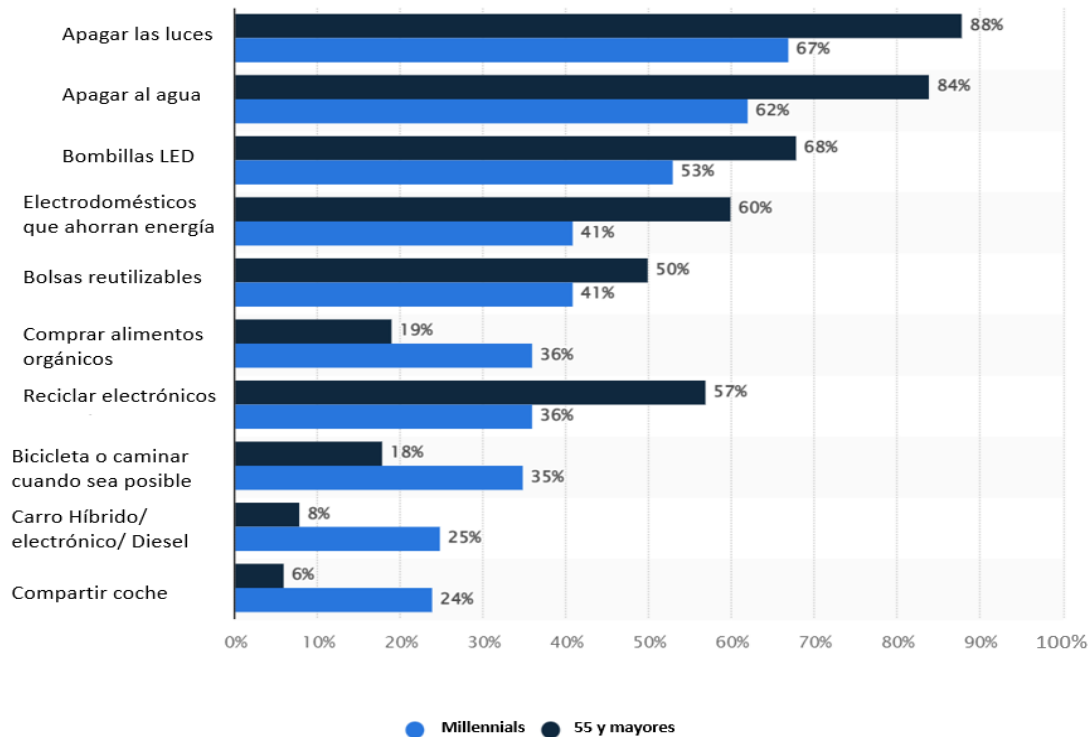


Figura 14. Probabilidad en la toma de decisiones ecológicas
Fuente: Statista (2016).

5.1.2.4. Cambio climático

Se describen los problemas que provoca el cambio climático en la agricultura, en particular las altas temperaturas y la sequía. Posteriormente se analiza cómo el microbioma vegetal puede intervenir ante estos problemas.

De acuerdo con el IPCC (2019), entre el 21% y 37% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) son atribuibles al sistema alimentario.

A partir de 1960, con el crecimiento en la productividad agrícola, nació la estructura que da forma al actual sistema alimentario mundial, la cual también es responsable en buena medida del cambio climático. Con el aumento de las concentraciones de GEI, la atmósfera atrapó más calor proveniente del sol, lo que provocó que se intensificara el efecto invernadero natural de la atmósfera. Como resultado, los aumentos de la temperatura en las últimas décadas fueron dos veces más rápidos que los aumentos en las décadas previas a 1981 como se puede apreciar en la Figura 15 (Lindsey & Luann, 2021).

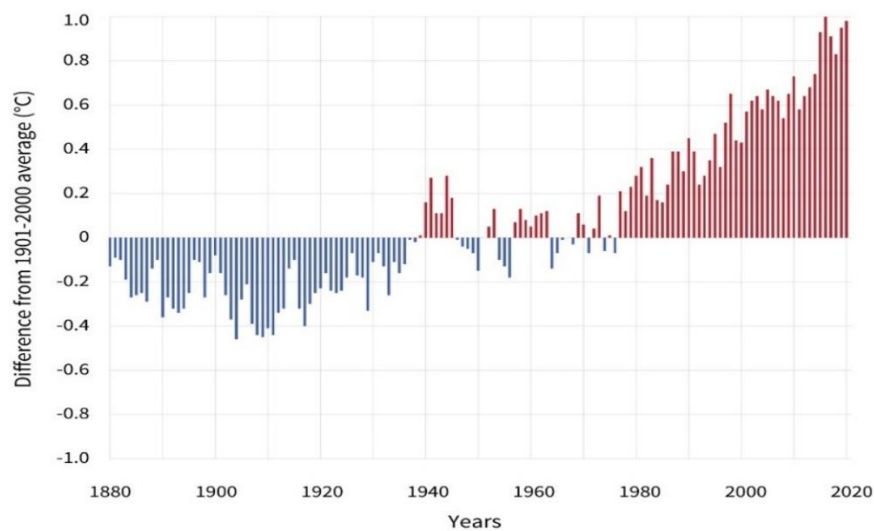


Figura 15. Temperatura media global de la superficie

Fuente: Lindsey & Luann (2021).

El aumento de la temperatura promedio, puntos más altos de calor extremo durante buena parte del año, así como menor número de días fríos durante el invierno afectarán muy probablemente la agricultura de EE.UU. De acuerdo con Union of Concerned Scientists (2019), se estiman incrementos en el número de días por encima de los 90°F entre 2019 y 2090 según dos posibles escenarios de cambio climático (Figura 16).

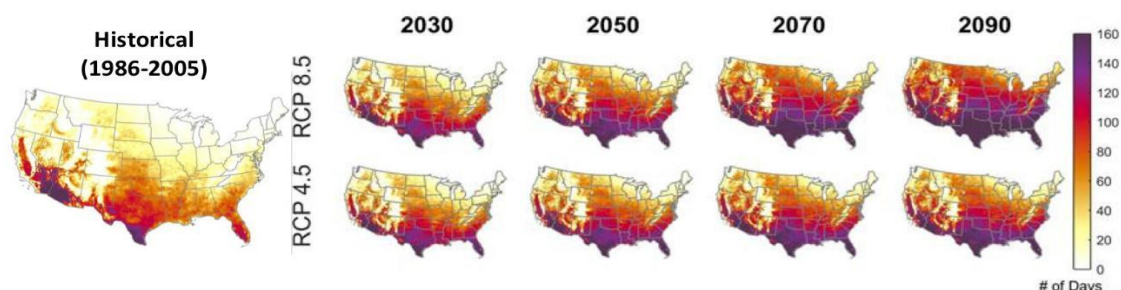


Figura 16. Cambios en la temperatura de Estados Unidos

Fuente: Union of Concerned Scientists (2019).

En 2015, la investigación realizada por *Economic Research Service* simuló los impactos potenciales en el rendimiento, producción y precios que podrían provocar las condiciones climáticas en el sector agrícola de EE.UU. Los resultados de dicha simulación proyectan que varios cultivos importantes, tanto en riego como de secano, disminuyan su producción con el cambio climático como se observa en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Cambios porcentuales en la producción total de Estados Unidos

Cultivo	2020	2040	2060	2080
Cebada (fanegas)	-1.9	-0.6	-3.5	1.0
Maíz (fanegas)	-8.1	-8.7	-13.8	-16.2
Algodón (fardos)	-7.9	-6.1	-5.6	-5.9
Heno (tonelada seca)	-4.0	-0.6	2.7	4.2
Avena (bushels)	-8.7	-10.7	-16.1	-20.8
Arroz (cwt)	-2.2	-2.5	-4.2	-6.1
Ensilaje (tonelada seca)	-6.9	-9.5	-13.1	-14.4
Sorgo (fanegas)	-15.1	-5.4	-14.0	-17.0
Soya (bushels)	-8.1	-8.8	-11.9	-14.3
Trigo (fanegas)	-2.8	1.3	5.6	11.6

Nota: Los cambios porcentuales en la producción total de EE.UU. incluyen la producción de regadío y de las tierras de secano, cuando se promedian sobre escenarios futuros de cambio climático y se comparan con niveles de producción de referencia que suponen que no hay cambio climático.

Fuente: Marshall y Aillery (2015).

Frente al desafío del cambio climático, estudios indican que existen microorganismos que pueden contrarrestar los efectos del estrés abiótico causado por el cambio climático (Das, Ho, & Kim, 2019; Hamilton, Bever, Labbé, Yang, & Yin, 2016; Kashyap, Srivastava, Tiwari, & Kumar, 2018). Lo anterior es relevante y pertinente para las innovaciones que Indigo Ag ha lanzado al mercado estadounidense, más orientadas a dotar a los cultivos de capacidades para resistir sequía y mejorar la absorción de nutrientes.

5.1.3. Fuerzas del mercado

Es este apartado se describe el comportamiento del mercado de microbios agrícolas a nivel internacional. Además, se señala la tasa de crecimiento en cada uno de los segmentos de productos de. También se describen los segmentos de mercado que atiende directa e indirectamente el microbioma vegetal. Finalmente, se analizan los aspectos que dificultan la adopción de productos microbianos en la agricultura.

5.1.3.1. Cuestiones del mercado

Se refiere a aquellos aspectos que describen el comportamiento del mercado internacional de microbios agrícolas. Haciendo referencia a las tendencias y los segmentos de productos que muestran el mayor crecimiento.

De acuerdo con la FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF (2020), uno de los desafíos a que se enfrenta la agricultura en el siglo XXI es producir alimentos, fibras y biocombustibles suficientes de manera sostenible. Sin embargo, la amenaza del cambio climático en la agricultura ha llevado a aumentar el uso de fertilizantes y pesticidas químicos con el objetivo de mejorar la productividad. Este incremento produce daños como degradación del suelo, pérdida de la biodiversidad, contaminación del agua, incremento de la resistencia de plagas y enfermedades e impactos adversos a la salud humana.

Por lo anterior, el uso de microbios promotores del crecimiento para la nutrición y protección de cultivos se considera una de las soluciones para la agricultura sostenible. En los últimos 10 años se han generado tecnologías que permiten a

los investigadores comprender la composición y aspectos ecológicos de los microbiomas, lo cual también ha demostrado su potencial (Batista & Singh, 2021). Así, se estima que el valor del mercado global de los microbios agrícolas alcanzará alrededor de 12 mil millones USD para 2027, que es aproximadamente el triple del valor actual (4.5 mil millones USD). En 2021 alcanzó un valor de 5270 millones de USD y se prevé una Tasa de Crecimiento Anual Compuesto (CAGR por sus siglas en inglés) de 14.74% entre 2021 y 2029 (Fortune Business Insights, 2022a).

Dado este potencial de mercado, el número de empresas emergentes ha ido aumentando; por mencionar algunas, AgBiome, Indigo Ag, NewLeaf Symbiotics y Joyn Bio. Además, las empresas agrícolas incumbentes en el sector como Bayer, Syngenta, BASF, Dow y Dupont han impulsado adquisiciones, acuerdos de licencias y asociaciones por cientos de millones de dólares que demuestran el interés comercial de estas empresas en los microbios agrícolas.

Para el caso de los Biofertilizantes, en 2021 alcanzó un valor de 1800 millones de dólares y se espera una CAGR de 12.04% entre 2021 y 2029 (Fortune Business Insights, 2022b).

De acuerdo con ReportLinker (2020), plataforma de inteligencia artificial, el mercado mundial de biofertilizantes elaborados a partir de micorrizas se valoró en 268.8 millones de dólares en 2019 y se pronostica un valor de 621.6 millones de dólares para 2025. Asimismo, se estima una CAGR de 14.8% para el periodo 2020-2025.

De acuerdo con Dunham Trimmer (2019), empresa líder en investigación de mercado de productos biológicos, en el segmento de biofertilizantes, las leguminosas fueron el tipo de cultivo que mayor participación tuvo en el mercado con 46%, y dentro de este tipo de cultivo, la soya dominó el mercado con el 34%. En el mismo informe se señala que las dos especies dominantes son *Bradyrhizobium spp.* y *Bacillus spp.* con una participación del 25 y 20%, respectivamente, en el año 2021.

Los inoculantes fijadores de nitrógeno representan el 79% del mercado mundial de biofertilizantes, con un valor de aproximadamente 1.500 millones USD, y se

pronostica que el valor se duplicará para el 2024. La región de América del Norte (EE.UU., Canadá y México) tiene la mayor participación en el mercado mundial de biofertilizantes en términos de producción con aproximadamente 27.7%. Por su parte, Europa y América Latina son los principales consumidores de biofertilizantes (Soumare et al., 2020).

Por otro lado, el mercado de bioplaguicidas (que incluye productos microbianos) está valorado en 3.000 millones de dólares, lo cual representa 5% del mercado de plaguicidas químicos. Sin embargo, predicciones de algunos investigadores indican que el mercado de bioplaguicidas igualará al mercado de pesticidas químicos entre finales de la década de 2040 y principios de 2050 (Batista & Singh, 2021). Por otro lado, Ahuja y Rawat (2016) señalan que en el 2019 el mercado de bioplaguicidas superará los 2 200 millones de dólares y se estima que la CAGR crecerá a más de 5% entre 2020 y 2026. Estudios recientes señalan que el valor de mercado de bioplaguicidas en 2021 alcanzó un valor de 5610 millones de USD y se pronostica una CAGR de 15.77% en el periodo de 2022 a 2029 (Fortune Business Insights, 2022c). Por su parte, Dunham Trimmer (2019), señala que los productos microbianos agrícolas son el segmento con mayor crecimiento en el mercado mundial de protección vegetal con una CAGR de entre 15 y 18%.

5.1.3.2. Segmentos de mercado

En este apartado, se identifican y se describen las necesidades de dos segmentos de mercado que son atendidos por el microbioma vegetal.

Ante los efectos del cambio climático en la agricultura y el incremento de precios de los fertilizantes, así como la demanda de alimentos sostenibles por los consumidores, los agricultores deben considerar la adopción de tecnologías y actividades sostenibles (Arora, 2019) como la reducción del uso de fertilizantes (Sarpong et al., 2021) y el uso de plaguicidas (Rossmann, Sarango-Flores, Chiaramonte, Kmit, & Mendes, 2017) sin poner en riesgo el rendimiento (Arif et al., 2020; Compant et al., 2010). Por lo tanto, los productos desarrollados con

microbioma vegetal pueden satisfacer las necesidades de este segmento de mercado.

Por otro lado, el segundo segmento de mercado que es favorecido indirectamente son los consumidores de alimentos. Algunos estudios señalan que los consumidores tienen mayor disposición a pagar por alimentos producidos de manera respetuosa con el ambiente (Ingenbleek, 2015; Pray, Forum, Board, & Practice, 2014).

5.1.3.3. Costes de cambio

Se refiere al conjunto de barreras que impiden o dificultan que el cliente abandone su proveedor tradicional y cambie por otro diferente (Picón Berjoyo & Barroso Castro, 2004). Por lo tanto, para entender las barreras que dificultan el uso de los productos microbianos, se empleó el concepto de adopción de innovación. De acuerdo con Rogers (2003), existen características de las innovaciones que influyen en su adopción. Para entender este concepto, se recomienda estudiar los atributos percibidos por los miembros de un sistema social, siendo los principales: ventaja relativa, compatibilidad, complejidad, experimentabilidad y observabilidad (Cuadro 15) (Rogers, 2003).

Cuadro 15. Atributos de las innovaciones

Atributo	Definición	Factores
Ventaja relativa	Grado en que una innovación se percibe como mejor que la idea que reemplaza.	Rentabilidad económica, prestigio social, otorgamiento de incentivos.
Compatibilidad	Grado en que una innovación se percibe como coherente con los valores existentes.	Valores y creencias socioculturales, ideas previamente introducidas y necesidades del cliente.
Complejidad	Grado en que una innovación se percibe como relativamente difícil de entender y utilizar.	Experiencia en el uso, apoyo de vendedores, facilidad de uso.
Experimentabilidad	Capacidad de prueba; es el grado en que se puede experimentar con una innovación de forma limitada.	Pruebas en el plan de cuotas, facilidad de dividir ensayos, prueba personal.
Observabilidad	Grado en que los resultados de una innovación son visibles para los demás.	Visibilidad, descripción de la innovación, entorno de uso, presentación.

Fuente: elaboración propia con información de Rogers (2003).

Para el caso de los productos microbianos, se realizó una revisión de literatura para explicar los factores que intervienen en cada uno de los atributos de las innovaciones que dificultan o facilitan su adopción. Dado que los productos microbianos cumplen funciones en la nutrición vegetal y en el control de plagas, la tecnología que se pretende reemplazar son los fertilizantes sintéticos y plaguicidas. Por lo tanto, se realizó una revisión documental con el objetivo de identificar los factores que influyen en los atributos de las innovaciones.

a) Ventaja relativa.

En primer lugar, se reconoce que la sociedad moderna demanda formas sostenibles de producción de alimentos (Angela Sessitsch, Brader, Pfaffenbichler, Gusenbauer, & Mitter, 2018). Por tanto, los agricultores pueden distinguirse de sus pares al utilizar prácticas y técnicas sostenibles. Además, tendrían el incentivo de que los consumidores están dispuestos a pagar más por alimentos producidos de manera respetuosa con el ambiente (Mendes et al., 2018) y sin residuos químicos (Carvalho, 2006).

Por otra parte, es deseable impulsar iniciativas gubernamentales o políticas públicas que incentiven el uso de productos microbianos. Un país que ejemplifica esto es India que implementó la Política Nacional del Agricultor con el fin de promover el uso de biofertilizantes y bioplaguicidas no causantes de daños en la salud del agricultor y del medio ambiente (Department of Agriculture Cooperation and Farmer's Welfare, 2007).

Ante el poco conocimiento del uso y las funciones que cumplen los microbios agrícolas, se deben impulsar políticas públicas que difundan los beneficios de esta tecnología desde el punto de vista económico, social y por supuesto ambiental, con el propósito de mejorar su adopción por los agricultores (Batista & Singh, 2021). Sin embargo, conviene aclarar que todavía existen aspectos que reducen la ventaja relativa de los productos microbianos entre los cuales sobresalen: la mala calidad de los productos, almacenamiento deficiente y formulación imprecisa (J. Mishra, Tewari, Singh, & Arora, 2015).

En fresa, la combinación de biofertilizantes con el 39% de la dosis habitual de fertilización química muestra una rentabilidad de 152% en comparación con la

fertilización 100% química; y en términos de calidad, la combinación de biofertilizantes con el 50% de la dosis de fertilización química genera mayor calidad en la fruta (Singhalage, Seneviratne, Madawala, & Wijepala, 2019). De igual manera, diversos estudios demuestran mejoras en rendimiento y en la relación beneficio/costo a través de la combinación de fertilizantes sintéticos y microbios benéficos en cultivos como garbanzo (Badhai, Whitman, & Das, 2017), papa (Hijri, 2016; Munda et al., 2018) y soya (Imran & Amanullah, 2022).

b) Compatibilidad.

A partir de la revolución verde, el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas sintéticos se ha generalizado en la agricultura. Y a pesar de los esfuerzos de diversos actores en busca de la sostenibilidad a nivel mundial, lo más probable es que los agricultores seguirán usando agroinsumos químicos (Mariana Sanches Santos, Rodrigues, Nogueira, & Hungria, 2021b). Por lo anterior, este atributo busca analizar aquellos estudios que han demostrado la compatibilidad de los fertilizantes y plaguicidas sintéticos con los productos microbianos enfocados en la nutrición y el control biológico de plagas.

De acuerdo con M. S. Santos et al. (2021a), la compatibilidad entre productos microbianos y plaguicidas depende del principio activo, su formulación, tiempo de aplicación y el periodo de contacto con los microbios vivos, tal como se aprecia en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Efecto de plaguicidas en microbios benéficos.

Pesticida	Concentración	Microorganismo	Efecto	Referencia
Monocrotofos ⁱ , Malatión ⁱ , Clorpirifos ⁱ , Diclorvos ⁱ , Lindano ⁱ e Endosulfán ⁱ	Dosis recomendada de cada producto	<i>Gluconacetobacter diazotrófico</i>	Con la excepción de Malathion, todos los insecticidas redujeron la viabilidad celular. La actividad nitrogenasa fue totalmente inhibida por Monocrotofos, Diclorvos y Lindano. La producción de IAA y GA 3 y la solubilización de P y Zn se vieron afectadas	Madhaiyan, Poonguzhali , Hari, Saravanan, & Sa (2006)

Butacloro ^h , Alacloro ^h Atrazina ^h y 2,4-D ^h	Dosis recomendada de cada producto		El crecimiento celular se vio obstaculizado por el 2,4-D. Todos los herbicidas redujeron la actividad de la nitrogenasa, la producción de IAA y GA 3 y la solubilización de P y Zn	Madhaiyan, Poonguzhali , Hari, Saravanan, & Sa (2006)
Captan ^f , Thiram ^f , Luxan ^f y Fernasan-D ^f	1000 µg L ⁻¹	<i>Bradyrhizobium</i> sp. y <i>Rhizobium</i> sp.	Disminución del diámetro de la colonia y crecimiento inhibido en áreas cercanas al sitio de aplicación del fungicida	Ahmed, Elesheikh, & Mahdi (2007)
Benomyl ^f , Captan ^f , Carbendazin ^f , Carboxin ^f , Difenoconazole ^f , Thiabendazole ^f , Thiram ^f , Tolyfluanid ^f	Dosis recomendada para soya	<i>B. elkanii</i> y <i>B.</i> <i>japonicum</i>	Todos los fungicidas causaron mortalidad de microorganismos.	Campo, Araujo, & Hungria (2009)
Imidacloprid, Fipronil ⁱ , Thiamethox m ⁱ , Endosulfan ⁱ y Carbofuran ⁱ	250 g ha ⁻¹ , 400 g ha ⁻¹ , 480 g ha ⁻¹ , 2.800 g ha ⁻¹ , 1.650 g ha ⁻¹ , respectivamente	<i>Herbaspirillum</i> <i>seropedicae</i>	El endosulfán aumentó la fase de latencia. El carbofurano aumentó el tiempo de generación y redujo la fase de latencia	Fernandes et al. (2012)
Piraclostrobina ^f , tiofanato-metil ^f e fipronil ⁱ	2 mL kg ⁻¹ semilla de maíz		Reducción drástica de la concentración celular 24 h después de la inoculación en semillas tratadas	Mariana S. Santos, Rondina, Nogueira, & Hungria 2020)
Carbendacina ^f + Tiram ^f	40–60 mL 20 kg ⁻¹ semilla de maíz	<i>A. brasilense</i> (cepas Ab-V5 y Ab-V6)	Reducción drástica de la concentración celular 24 h después de la inoculación en semillas tratadas	M. Santos et al. (2020)
metalaxil-m + fludioxonil + tiameoxame + abamectina	Dosis recomendada para maíz		Reducción drástica de la concentración celular 12 h después de la inoculación en semillas tratadas	Pereira et al. (2020)
Tiram ^f , Tiram + Tiabendazol ^f y PPT ^f	>200 µg L ⁻¹	<i>Rhizobium</i>	Formación de halos de inhibición del crecimiento mayores de 10 mm alrededor del fungicida	Rathjen, Ryder,
Imidacloprid ⁱ	0, 100, 200 y 300 µg L ⁻¹	<i>leguminosarum</i> bv. vi cios	Formación de halos de inhibición del crecimiento mayores a 10 mm alrededor del insecticida para todas las concentraciones evaluadas	Riley, Lai, & Denton (2020)

Piraclostrobina ^f , tiofanato-metil ^f e fipronil ⁱ	Dosis recomendada para soya	<i>B. elkanii</i> y <i>B.</i> <i>japonicum</i>	Disminución drástica de la concentración celular después de 7 días de exposición. Formación de colonias de menor diámetro.	T. F. Rodrigues et al. (2020)
---	-----------------------------------	---	---	-------------------------------------

^f fungicida; ⁱ insecticida, ^h herbicida.

Fuente: tomado de M. S. Santos et al. (2021a).

Se observa en el Cuadro 16 que la aplicación de plaguicidas químicos afecta a todos los microorganismos que se utilizan como biofertilizantes. Por lo tanto, la incompatibilidad es evidente entre microorganismos benéficos y plaguicidas. Solucionar este problema contribuiría significativamente en la adopción de productos microbianos para el manejo integrado de plagas y nutrición vegetal.

Respecto a la compatibilidad entre biofertilizantes y fertilizantes sintéticos, se ha documentado que ambos pueden ser incluidos en el manejo integral de la nutrición vegetal (Adesemoye, Yuen, & Watts, 2017), por lo que la compatibilidad es favorable. Se han demostrado los beneficios de la biofertilización como la mineralización y la movilización de nutrientes aportados por los fertilizantes sintéticos, así como la producción de hormonas vegetales (Thomas & Singh, 2019). Algunos estudios encontraron que la combinación de fertilizantes sintéticos con productos microbianos, aumenta la eficiencia de los primeros en cultivos como arroz, trigo, sandía, tabaco (Z. Li & Zhang, 2000) y papa (Mukhongo et al., 2017).

Es importante señalar que la compatibilidad entre productos químicos y microbiológicos permitiría desarrollar un manejo integrado de plagas y un manejo integral de la nutrición vegetal. Por tanto, se trata de una sustitución parcial con fines de complementariedad con beneficios para la productividad, la calidad y el cuidado ambiental (Batista & Singh, 2021).

c) Complejidad.

A pesar de que los biofertilizantes y bioplaguicidas elaborados con microbios se han usado durante varias décadas (Batista & Singh, 2021), en este apartado se señalan aquellos aspectos que dificultan su uso.

Cabe señalar que los países menos desarrollados hacen menor uso de inoculantes microbianos, como se encontró en África Subsahariana, donde el conocimiento inadecuado de estos productos contribuye a su baja adopción (Naamala & Smith, 2020). Lo anterior es sostenido por J. Mishra et al. (2015), quienes indican que la falta de conocimiento y la desconfianza de los agricultores en el uso de biopesticidas dificultan su adopción.

Otro aspecto que dificulta el uso de los productos microbianos es su baja oferta, debido a la complejidad que significa la reproducción de los microorganismos en medios de cultivo, además de que solamente el 1% de las comunidades microbianas conocidas se puede reproducir en laboratorio (Brajesh Kumar Singh, 2010).

Dada la complejidad de la reproducción, en países en desarrollo, la generación de inoculantes microbianos locales es una opción que permitiría producir alimentos de manera sostenible e impulsar el crecimiento económico local (Batista & Singh, 2021).

d) Experimentabilidad.

Los productos microbianos pueden probarse en diversas condiciones ambientales y en diversos cultivos. Sin embargo, la realización de pruebas está influenciada por el atributo de observabilidad, ya que por ahora los resultados son inconsistentes y lo recomendable es que la adopción de esta tecnología sea gradual (Northrup, Basso, Wang, Morgan, & Benfey, 2021).

e) Observabilidad.

Aquí se presentan los factores que impactan en los resultados obtenidos con el uso de productos microbianos en la producción agrícola.

Algunos estudios señalan que la eficiencia de los resultados de los productos microbianos es variada, tanto en laboratorio e invernadero como en condiciones de campo abierto (Batista & Singh, 2021). De acuerdo con Naamala y Smith (2020), los buenos resultados obtenidos en laboratorio son difíciles de observar en campo abierto, debido a las condiciones del suelo, el tipo de cultivo y

condiciones ambientales que influyen en la eficiencia de los productos microbianos.

J. Mishra et al. (2015), indican que, ante los resultados inconsistentes, los agricultores se sienten confundidos y con miedo de reducir el rendimiento al momento de adoptar alternativas basadas en microbios agrícolas. En este sentido, resulta relevante destacar lo que está haciendo Farmers Business Network (FBN) que recopila datos de alrededor de 30 mil agricultores de todos los tamaños y que suman 33 millones de hectáreas cultivadas. Los datos alimentan una plataforma ocupada como una poderosa fuente de inteligencia para medir el impacto real de las innovaciones. Así, ante la novedad de los productos biológicos y su gran variabilidad de resultados, la red se asocia con desarrolladores de bioinsumos para testear sus productos en pruebas de campo a gran escala. Así no solo tienen acceso a datos de granjas experimentales, invernaderos, laboratorios o parcelas pequeñas de prueba. Con toda esta información es posible decir: *“este producto es el adecuado considerando su granja, sus suelos, sus prácticas agronómicas, los tipos de clima y el estrés por plagas y enfermedades”*, señala Matthew Meisner, vicepresidente de Investigación y Desarrollo y Ciencia de Datos de FBN (Trebilcock & Aldunate, 2022).

En términos generales, los factores que influyen en los atributos que impulsan o dificultan la adopción de productos microbianos se encuentran interrelacionados. Por lo tanto, se deben implementar iniciativas que investiguen y desarrollen productos microbianos eficientes en diferentes condiciones. Además de promover políticas públicas que capaciten a los agricultores sobre los beneficios ambientales, sociales y no solo económicos que se obtienen por el uso, aplicación y manejo de bioplaguicidas, biofertilizantes o bioestimulantes. Por otro lado, se deben impulsar marcos regulatorios eficientes que impulsen la comercialización y uso de los productos microbianos.

5.1.4. Fuerzas macroeconómicas

En este apartado se describe el comportamiento del mercado global a través del análisis de indicadores macroeconómicos. También se analiza la tendencia de los precios de los alimentos.

5.1.4.1. Condiciones del mercado global

Con la aparición de la COVID-19 se suspendieron varias actividades económicas para contener los contagios y evitar pérdidas de vida humana. Sin embargo, esto ocasionó una severa contracción en la economía mundial. De acuerdo con el informe de perspectivas económicas mundiales del Banco Mundial en su edición de junio de 2020, muchos países experimentarían una reducción en el producto interno bruto per cápita. En dicho año el PIB mundial decreció a una tasa de -3.4% (World Bank, 2020).

Para 2021 las predicciones del Banco Mundial esperaban una recuperación económica reflejada en un crecimiento del 5.5% en el PIB mundial, y para el 2022 se espera una tasa de crecimiento de 4.1% (Quaglietti & Wheeler, 2022). No obstante, la recuperación económica no ha sido igual para todos los países debido a la aparición de variantes de COVID-19, vacunación a ritmo desigual y diferencias en cuanto a las medidas económicas tomadas por los gobiernos.

Por tanto, las economías de ingreso bajo son las más afectadas por la pandemia de COVID-19. Se estima que la pandemia produjo que entre 119 y 124 millones de personas cayeran en pobreza extrema (World Bank, 2021). Asimismo, las economías de bajo ingreso también cuentan enfrentan desafíos como el cambio climático y el aumento de precios en los alimentos.

5.1.4.2. Precio de los alimentos

A raíz del incremento de los precios de los fertilizantes, se prevé un aumento en el precio de los alimentos, situación que agravaría el problema de la seguridad alimentaria (Akyüz, 2017). Otro suceso que pone en problemas la seguridad alimentaria, es la invasión de Rusia a Ucrania, toda vez que el primer país es uno de los principales proveedores de petróleo y gas natural, y el segundo de maíz y

Trigo a nivel mundial (CNBC, 2022). Como resultado de esto, los precios de los alimentos y los fertilizantes han aumentado (Behnassi & El Haiba, 2022).

Por lo anterior, en la agricultura se espera un incremento en el uso de prácticas sostenibles que optimicen los recursos y garanticen la seguridad alimentaria. En la literatura científica se señala al microbioma vegetal como un elemento que favorece la creación de agroecosistemas más resistentes y sostenibles (Delitte, Caulier, Bragard, & Desoignies, 2021; Schmidt, Kent, Brisson, & Gaudin, 2019; Srour et al., 2020).

5.2. Caso Indigo Agriculture: análisis de la empresa-red

Una de las empresas emergentes que ha innovado de manera disruptiva en el sector agroalimentario es Indigo Ag, fundada en 2014 en Boston Massachusetts, Estados Unidos. Indigo Ag propone “*una mejor manera de alimentar al planeta*” en alianza con los agricultores y compradores a través del desarrollo de innovaciones biológicas como el microbioma vegetal, así como el uso de la ciencia de datos y servicios de asesoramiento que mejoren la rentabilidad de los agricultores, la sostenibilidad ambiental y la salud del consumidor (Iansiti, Toffel, & Barnett, 2019).

Una de las organizaciones que evalúa la innovación disruptiva es *Consumer News and Business Channel*, que enlista a las 50 empresas emergentes más disruptivas a nivel mundial. Indigo Ag en 2018 ocupó el lugar número 18 en la lista con una valuación de \$1.4 mil millones y un financiamiento de \$400 millones (CNBC, 2018). Con el crecimiento en tamaño, escalabilidad en ventas y usuarios, en 2019, Indigo Ag dio la sorpresa y se posicionó en el primer lugar de la lista con una valuación de \$3.5 mil millones de dólares y un financiamiento de \$650 millones (CNBC, 2019). Así mismo, para el 2020 Indigo Ag ocupó el tercer lugar con una valoración de \$3.5 mil millones de dólares y un financiamiento de \$850 millones. Cabe mencionar también que en el 2021 Indigo Ag se posicionó en el lugar 14, con una valoración de \$3.5 mil millones y obteniendo un financiamiento de \$1.1 mil millones (CNBC, 2021).

El fundador e inventor de Indigo Ag, Geoffrey Von Maltzahn, cuenta con un doctorado en ingeniería biomédica y física médica del MIT; antes de fundar Indigo, había cofundado cuatro empresas, una de las cuales fue *Seres Therapeutics*, que se dedica a la terapéutica del microbioma humano. Durante su estancia en *Seres Therapeutics*, mostró interés en llevar la tecnología del microbioma a las plantas, esto por la inquietud de conocer si los microbios también juegan un papel crucial en la salud de las plantas como lo hacen en los humanos (Iansiti et al., 2019).

Fue en el año 2012 cuando Von Maltzahn encabezó un proyecto en conjunto con *Flagship Ventures* para estudiar las funciones del microbioma de las plantas. Posteriormente, en 2014 fundó Indigo Ag y dirigió la empresa hasta enero de 2015, fecha en la cual la dirección sería ocupada por David Perry, quien contaba con un MBA y ya contaba con experiencia en la dirección de empresas. David Perry dirigió *Chenmex* en 1997 y en 2001 fue nombrado cofundador y presidente de *Anacor pharmaceuticals*, empresa dedicada a desarrollar terapias a través de moléculas para tratar infecciones y enfermedades inflamatorias (Iansiti, Toffel, & Snively, 2018).

En 2020, David Perry renunció al cargo de director ejecutivo en Indigo Ag y la junta directiva nombró a Ron Hovsepian, quien anteriormente se desempeñaba como director de operaciones en Indigo Ag. Ron tenía experiencia de 16 años en International Business Machines Corporation (IBM), donde desarrolló capacidades de asociación comercial y operación estratégica que permitieron reducir el exceso de operaciones en la cadena de suministro (Indigo agriculture, 2020).

5.2.1. Financiamiento

Una elevada inversión en investigación y desarrollo fue necesaria para llevar a cabo la misión de Indigo Ag. En febrero de 2016, la empresa anunció la recaudación de \$56 millones en fondos en la serie B por parte de su equipo fundador *Buque Insignia-Flagship*, empresa de capital de riesgo líder en terapia, tecnología de la salud y agricultura. Conviene subrayar que *Flagship* ha creado

más de 40 empresas de primer nivel en el área de tecnología sanitaria, agricultura y terapéutica, de las cuales sobresalen *Evelo Biosciences* y *Seres therapeutics* (Perry, 2016b).

Posteriormente, en julio de 2016 se anunció una inversión de \$54 millones liderada por el Fondo Permanente de Alaska, sumando así \$100 millones en fondos de la serie C, lo cual representaba el financiamiento de capital privado más grande para el sector de tecnología agrícola en ese momento (Manning, 2016).

Para septiembre de 2017, se anunció el cierre de \$156 millones en financiamiento serie D, por parte de Bialler Gifford y Activant Capital (O'Brien, 2017a).

La recaudación siguió avanzando, y en diciembre de 2017, *Investment Corporation of Dubái*, aportó \$47 millones, lo que elevó el total de la serie D a \$203 millones y el monto total recaudado aumentó a más de \$400 millones. *Investment Corporation of Dubái* tiene una cartera de inversiones distribuida entre empresas ampliamente reconocidas en Dubái, así como en el propio Gobierno de Dubái (Burwood-Taylor, 2017).

En septiembre de 2018 se anunció el cierre de una financiación serie E de \$250 millones de inversores que Indigo negó dar los nombres. Con esto, la financiación total asciende a más de \$650 millones de dólares (K. Clark, 2018).

En enero de 2020, Indigo Ag recaudó \$200 millones adicionales, en esta ocasión por FedEx y el prestamista *Pacific Western Bank*, elevando así el capital total a \$850 millones (Indigo Agriculture, 2018a).

Tanto la calidad de su personal y directivos, como la capacidad de atraer capital, han permitido configurar una empresa red integrada por tres niveles: el núcleo, la red y la sociedad como se muestra en la Figura 17.

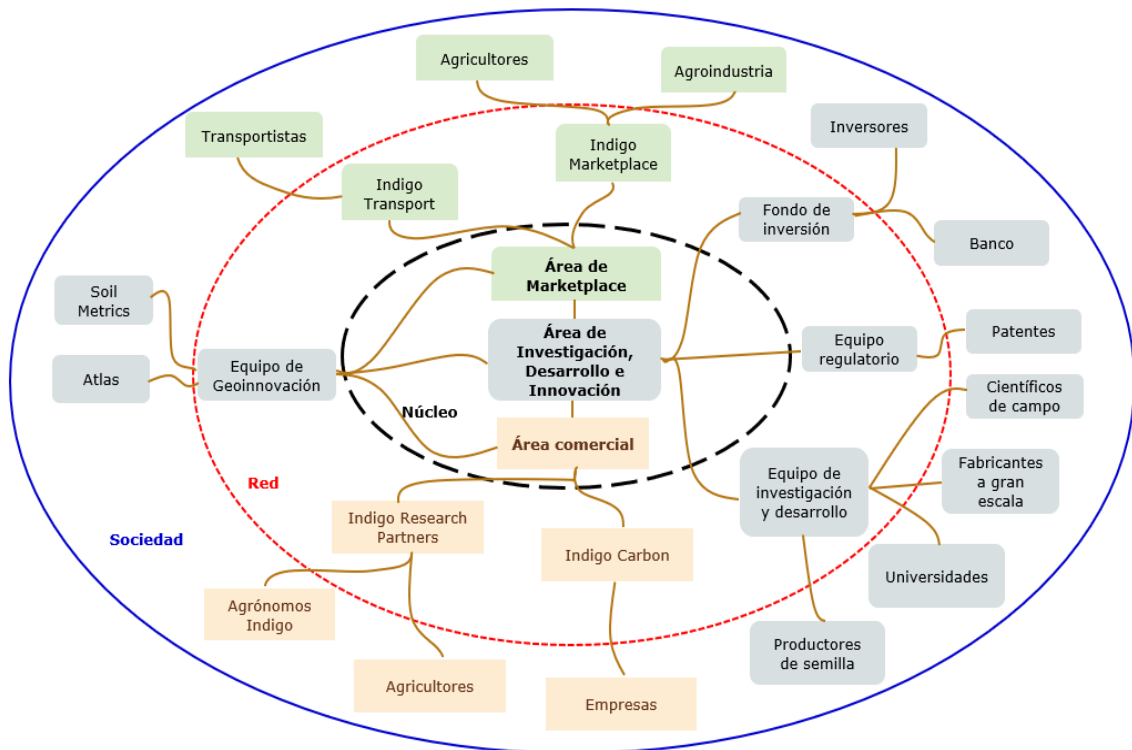


Figura 17. Estructura de empresa-red de Indigo Ag.

Fuente: elaboración propia.

La descripción inicia a partir de las Actividades Clave pertenecientes al núcleo, las cuales han permitido crear, entregar y capturar valor, y que son parte esencial de la definición de una estrategia. En cada una de las áreas clave se involucran actores, plataformas y laboratorios del nivel red y sociedad.

5.2.2. Área de investigación, desarrollo e innovación (I&D+i).

La investigación y desarrollo del microbioma vegetal tuvo como primer objetivo fortalecer el trigo y algodón contra factores estresantes del ambiente, en específico a altas temperaturas y estrés hídrico, por lo que el equipo científico se centró en encontrar respuestas favorables con el uso de microbios benéficos.

A continuación, se explican las dos vías por las que Indigo Ag obtiene el microbioma vegetal, con la finalidad de investigarlo y desarrollar sus productos microbianos. La primera vía es directa, es decir, Indigo Ag a través de su grupo de científicos de campo, realizan un recorrido por diversos campos y pastizales donde identifican aquellas plantas sobresalientes que prosperan en ambientes

no favorables como suelos pobres en nutrientes, suelos salinos, ambientes con altas temperaturas, entre otras condiciones adversas. Una vez identificada la planta, se extrae en conjunto con el suelo para llevarla al laboratorio de biología computacional donde se realiza la secuenciación del genoma de los microorganismos endófitos. La segunda vía para obtener el microbioma vegetal es la indirecta, a través de alianzas con universidades tales como la universidad de Texas, Arizona, Saskatchewan y Flinders que ya han identificado microorganismos que son entregados a Indigo Ag mediante licencias para realizar pruebas. Se ha documentado la participación de las universidades en la economía del conocimiento a través de recursos humanos, creatividad y en la actividad del patentamiento (OECD, 2019).

Una vez caracterizados los microbios endófitos con el apoyo de la biología computacional y aprendizaje automático, se realiza la modelación con algoritmos que predicen en qué ambientes y en qué cultivos los microorganismos pueden expresar su potencial para mejorar la productividad. Realizada la modelación, se lleva a cabo la reproducción de los microorganismos en fermentación líquida de alta precisión en un litro, donde se analiza el nivel de oxígeno, el pH y los nutrientes agregados. Después, se realizan los ensayos en plántulas en invernadero, posteriormente en suelos de invernaderos y finalmente se realizan las pruebas en cultivos a nivel comercial con apoyo de Indigo Partners (Iansiti et al., 2019). El resumen del proceso de I&D+i se observa en la Figura 18.

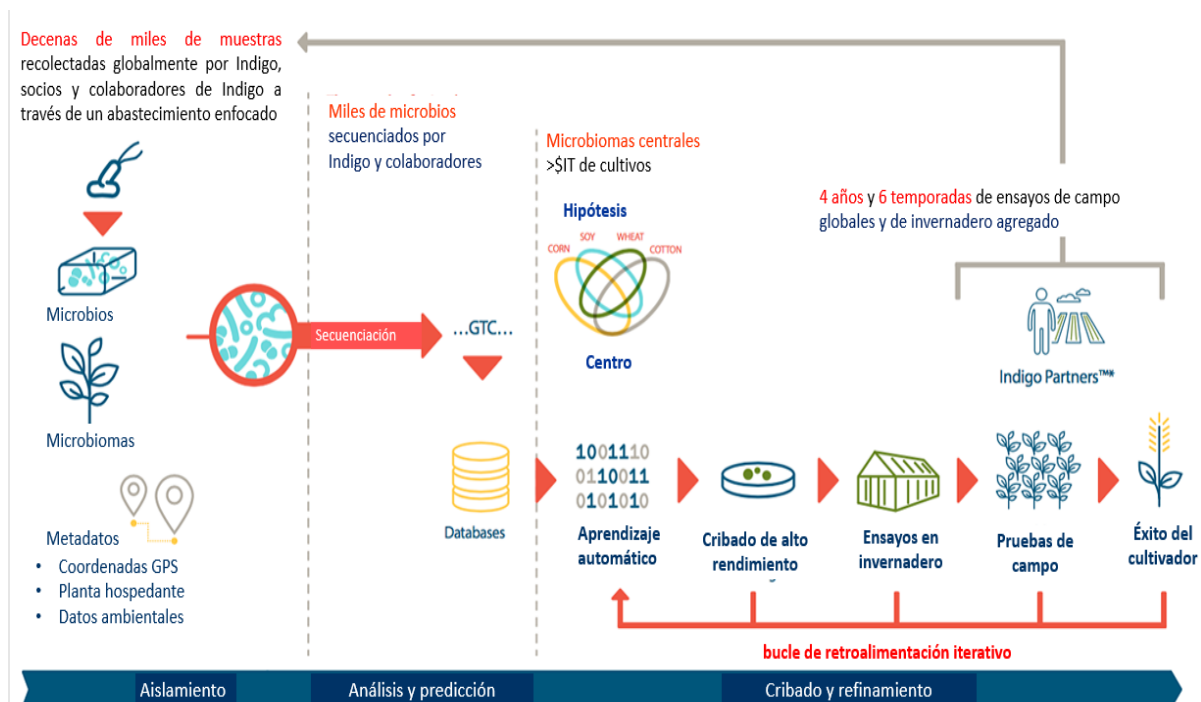


Figura 18. Funcionamiento del área de investigación, desarrollo e innovación de Indigo Ag

Fuente: Indigo Agriculture (2017b).

Finalmente, una vez que se han realizado los ensayos pertinentes de los microbios eficientes, Indigo Ag firma acuerdos con fabricantes a gran escala, quienes se encargan de reproducir grandes cantidades de microbios eficientes. Antes de comercializar los productos de Indigo Ag, el equipo regulatorio lleva a cabo el trámite pertinente en la USDA y la agencia de Protección ambiental (EPA) para la autorización de la venta de los productos de manera legal. Además, el equipo regulatorio se encarga de realizar el registro de patentes.

El desarrollo de los productos microbianos de Indigo Ag lleva de uno a tres años en comparación con el desarrollo de nuevos productos químicos que requieren entre 10 a 15 años (Perry, 2017a) (Figura 19).

Es importante señalar que se realiza la investigación y prueba de varios microorganismos a diferentes concentraciones, tipos de semillas, ensayos en diversas regiones geográficas, tipo de suelo y condiciones climáticas.

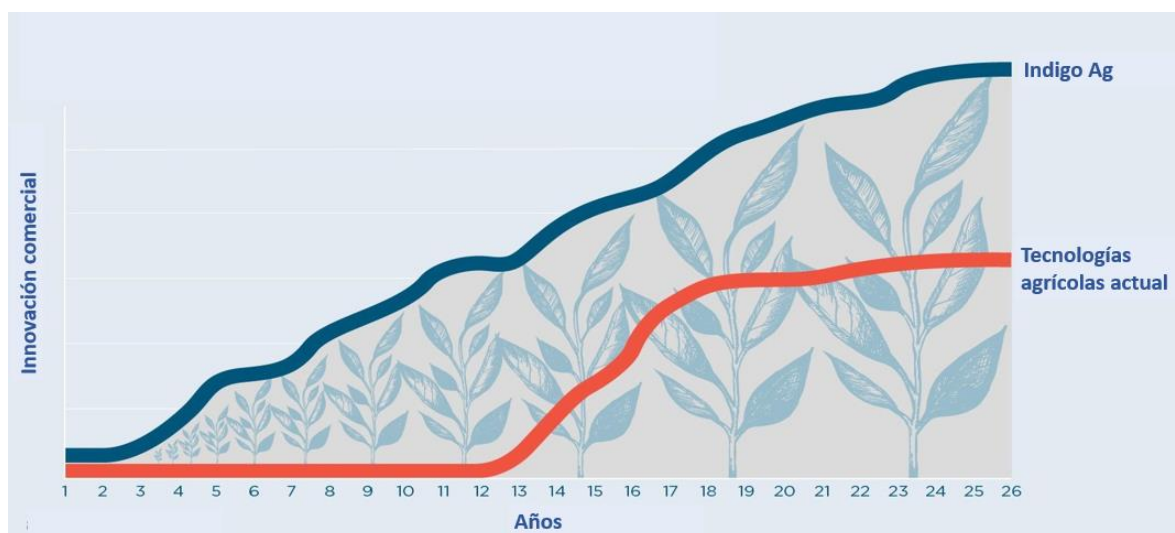


Figura 19. Tiempo para el desarrollo de productos Indigo Ag vs tecnología agrícola actual

Fuente: Perry (2017a).

Hasta la fecha, Indigo Ag ha lanzado al mercado 13 productos bajo la marca Biotrinsic, todos ellos destinados a contribuir a un uso eficiente de agua en primer lugar, y hacer eficiente el uso de nutrientes. Asimismo, destaca el hecho de que los productos están enfocados en Trigo (4), Cultivos de cobertura (1), Soya (2), maíz (2), algodón (2) y arroz (1). Para conocer a detalle sobre los productos microbianos véase el Cuadro 17.

Cuadro 17. Productos microbianos de Indigo Ag

Cultivo	Función	Nombre	Composición
Trigo	Eficiencia en el uso de nutrientes + tolerancia a la sequía	Biotrinsic TM WN29 FP	<i>Cladosporium tenuissimum</i>
Trigo	Tolerancia a la sequía + biofungicida (<i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia spp.</i>)	Biotrinsic TM W10 + Biotrinsic TM X12	<i>Bacillus simplex</i> , <i>Natamycin</i>
Trigo	Tolerancia a sequía	Biotrinsic TM W10	<i>Bacillus simplex</i>
Trigo	Tolerancia al calor y a la sequía + Eficiencia en el uso de nutrientes	Biotrinsic TM M36FP,	<i>Kosakonia cowanii</i>

Cultivo	Función	Nombre	Composición
Cultivos de cobertura	Mejora potencial de biomasa, potencial crecimiento en raíces y eficiencia de nutrientes	Biotrinsic TM M36 Cover Crops	<i>Kosakonia cowanii</i>
Maíz	Eficiencia en uso de agua, nutrientes+ calor	Biotrinsic TM M33 FP + M34 FP	<i>Ochrobactrum anthropi</i> , <i>Bacillus subtilis</i>
Maíz	Eficiencia en uso del agua	Biotrinsic TM W10 FP Biotrinsic TM M34 WP	<i>Bacillus simplex</i> <i>Bacillus subtilis</i> ,
Soya	Eficiencia de agua y nitrógeno	+ N13 WD + E13 WD (PATENTE)	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
Soya	Eficiencia de agua	Biotrinsic TM M34 FP o WP	<i>Bacillus subtilis</i>
Algodón	Eficiencia de agua y nutrientes	Biotrinsic TM WT29 FP	<i>Cladosporium tenuissimum</i>
Algodón	Eficiencia en el uso del agua + Calor + Eficiencia en el uso de nutrientes	Biotrinsic TM M37 FP	<i>Acremonium egyptiacum</i>
Arroz	Eficiencia de uso de agua / nutrientes + calor	Biotrinsic TM M37 FP	<i>Acremonium egyptiacum</i>

Fuente: Elaboración propia.

a) Indigo Research Partners

Por otro lado, en abril de 2017, Indigo Ag lanzó el programa Indigo Research Partners, que permite descubrir, lanzar y probar nuevas tecnologías junto a productores. Este programa cuenta con la colaboración de 50 agricultores líderes, quienes pretenden probar productos y generar ensayos de tecnologías en condiciones reales (Perry, 2017b).

b) Equipo de GeoInnovación

En diciembre de 2018 Indigo Ag anunció la adquisición de *TellusLabs*, una compañía de imágenes satelitales e inteligencia artificial, que posteriormente se convirtió en el equipo de GeoInnovación. Este equipo se encarga de analizar

imágenes satelitales de los cultivos producidos con los productos Indigo Ag en tiempo real para apoyar la toma de decisiones y soportar la asesoría de los agrónomos Indigo, quienes también recolectan datos de los cultivos y ambiente (temperatura, humedad, suelo) para ser enviados a la plataforma de datos llamada *Atlas*, donde se relacionan con las imágenes satelitales para obtener mayor precisión en la toma de decisiones. *Atlas* se utiliza para predecir rendimientos, conocer de límites de siembra de cada agricultor, tipo de cultivo, monitoreo de plagas y enfermedades y analizar el estado fenológico del cultivo (Iansiti et al., 2019; Potere, 2019).

Además, existe una relación del equipo de GeoInnovación con el área de Marketplace, puesto que los datos de producción y comercialización también son analizados en GeoInnovación con la finalidad de predecir a través de modelos la dinámica de los precios con ayuda de datos históricos de granos. Asimismo, se puede realizar la trazabilidad del transporte de granos a través de GPS, y también se pueden identificar problemas en la producción y suministro de granos. Lo anterior ayuda a los agricultores, agrónomos Indigo y compradores a tomar mejores decisiones de compra y venta de granos (Iansiti et al., 2019).

5.2.3. Área comercial

Uno de los mecanismos que emplea Indigo Ag para relacionarse con sus clientes es mediante la realización de alianzas con aquellos agricultores conocidos por ser innovadores, a los cuales se les hace la propuesta de realizar pruebas comerciales con semillas inoculadas con sus productos microbianos. Parte fundamental para concretar la alianza es el modelo de riesgos compartidos y en caso de obtener un incremento en la productividad, se paga una ganancia a Indigo Ag (Iansiti et al., 2019; Perry, 2017a).

Un actor importante para el área comercial son los fabricantes de semillas con quienes se asocia con el fin de implementar los tratamiento microbianos y posteriormente enviar las semillas a los agricultores (Iansiti et al., 2018).

En julio de 2016, se presentó el primer producto comercial con la finalidad de mejorar la eficiencia en el uso del agua en algodón, Indigo Cotton TM. Las

primeras siembras se realizaron en 50,000 acres en Texas y otros cuatro estados, observando un aumento del 11% en rendimiento. Con la idea de posicionar este primer producto, Indigo Ag propuso a los agricultores pagar 10 U\$D por cada acre que registrara aumentos de rendimiento de más de 30 libras de fibra (Perry, 2016a). Para 2017 ya se contaba con *Indigo Corn* TM, *Indigo Soybeans* TM, *Indigo Rice* TM e *Indigo Wheat* TM.

Indigo Carbón

En junio de 2019 Indigo Ag lanzó la iniciativa Terraton con el fin de acelerar el secuestro de carbono, en específico 1 billón de toneladas métricas. Así surge el programa Indigo Carbón como un mercado donde los agricultores puedan recibir un incentivo por implementar prácticas regenerativas y secuestrar el carbono en el suelo (Sustainable Brands, 2019). Al respecto, el cofundador Geoffrey Von Maltzahn comenta lo siguiente:

“El potencial de los suelos agrícolas para capturar y almacenar dióxido de carbono atmosférico es la solución más esperanzadora que conozco para abordar el cambio climático. La tecnología y el conocimiento para la agricultura regenerativa ya existen, por lo que podemos comenzar a marcar la diferencia ahora mismo y esto se puede hacer a gran escala” (Ioannou, 2019).

Un crédito de carbono representa una tonelada de dióxido de carbono equivalente absorbida o evitada en la atmósfera (Climate trade, 2022). Las empresas sostenibles, una vez que certifican sus créditos, los pueden vender a empresas que busquen compensar su impacto en el medio ambiente. A su vez, los compradores de estos créditos asumen compromisos para reducir drásticamente su huella de carbono. Los créditos de carbono verificados son aprobados y emitidos por emisores de crédito de carbono externos con el objetivo de demostrar validez para los compradores. En general, se ha demostrado que los créditos de carbono facilitan y hacen más eficaz la reducción de emisiones totales de carbono.

En cuanto al funcionamiento, los agricultores se registran a la plataforma Indigo carbón, donde pueden mapear y ver los límites del campo. Una vez hecho el registro, los agricultores deben adoptar o promover al menos una práctica

regenerativa como agregar cultivos de cobertura, efectuar rotación de cultivos, reducir o eliminar la labranza o reducir las dosis de fertilización. Posteriormente los agricultores envían la información de gestión del campo, donde se incluye información sobre prácticas de manejo de 3-5 años de detalles históricos y de la temporada actual sobre fechas de siembra y cosecha, tipos de fertilizantes, cantidades y fechas de aplicación, tipos y fechas de labranza, así como información sobre tipos de cultivos de cobertura, fechas de siembras y enmiendas orgánicas cuando corresponda. Una vez registrada la información, Indigo Ag realiza la toma de muestras de suelo para calcular los créditos de carbono generados con base a los gases de efecto invernadero secuestrados y eliminados. Por su parte, los emisores independientes realizan la verificación de los créditos de carbono. Después de que Indigo Ag vende los créditos a compradores, se les paga a los agricultores. Un resumen del funcionamiento se observa en la Figura 20 (Indigo Agriculture, 2021a).

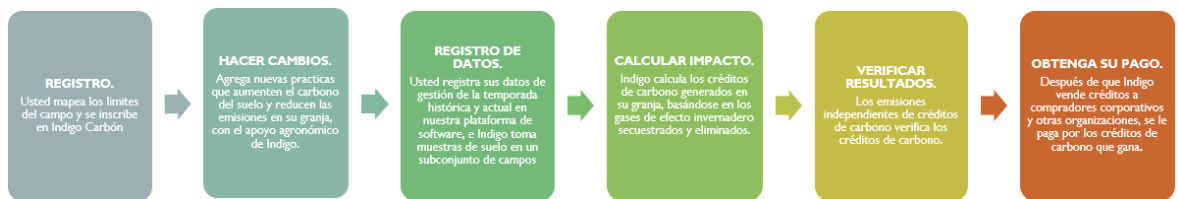


Figura 20. Funcionamiento de Indigo carbón para agricultores

Fuente: Indigo Agriculture (2021b).

Entre los compradores que se han unido a la iniciativa de Indigo carbón y se han comprometido con la compra de créditos de carbono, sobresalen empresas como *Maple Leaf Foods*, *Epiphany Craft Malt*, *The North Face*, *Cool Effect*, *Previously announced*, *Barclays*, *JPMorgan Chase*, *Dogfish Head Craft Brewery*, *New Belgium Brewing*, *Givewith*, *IBM*, *Shopify* y *Boston Consulting Group* (Indigo Agriculture, 2021d).

5.2.4. Área de Marketplace

Indigo Ag identificó dos problemas con los granos producidos con su tecnología: uno de ellos es que los precios a agricultores eran bajos y el segundo que los granos perdían su identidad al momento de ser transportados. Para ello diseñó

la plataforma digital Marketplace que permite reunir a compradores y vendedores de granos, logrando descomoditizar los granos y conservar la identidad Indigo Ag. En un inicio solo estaba enfocado en los granos cultivados a partir de las semillas tratadas con microbios como trigo, soya, maíz y arroz. Sin embargo, se ha expandido a otros cultivos como a milo, girasol, guisantes, palomitas de maíz, etc. (Perry, 2018).

El funcionamiento de Marketplace se da a través de la página web o en una aplicación celular bajo dos vertientes: para agricultor o comprador de grano. En el primer caso, los agricultores especifican el radio de cobertura que estarían dispuestos a cubrir y los compradores seleccionan al agricultor en función del tipo de producto, precio y distancia.

De acuerdo con los precios ofrecidos y la demanda por parte de compradores, pueden conversar bidireccionalmente. Una vez logrado un acuerdo, los contratos y resúmenes de liquidación, así como los detalles de entrega, llegan a la misma plataforma evitando así el papeleo. Para realizar la entrega, Marketplace cuenta con opciones de transporte integradas a través de Indigo Transport. Así, en la aplicación se observa el precio del grano con el flete que toma en cuenta la distancia (Figura 21). Cabe señalar que el Marketplace funciona bajo un modelo freemium donde solo se paga a Indigo Ag servicios adicionales como ofertar variedades de cultivos especiales.

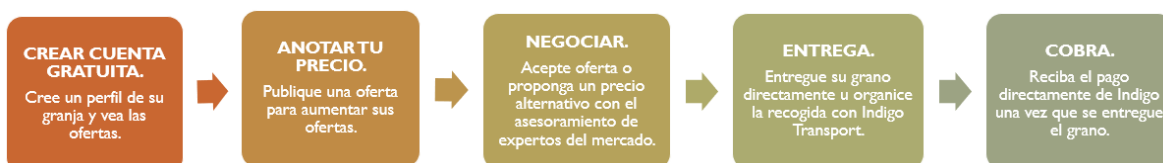


Figura 21. Funcionamiento del Marketplace para agricultores

Fuente: Indigo Agriculture (2021c).

Uno de los agricultores usuario de Marketplace comentó lo siguiente:

“Marketplace me permite más opciones para comercializar mi grano. El objetivo final es obtener el mejor precio, y Marketplace elimina a los intermediarios y lleva mi grano directamente a un comprador que busca una cosecha de primera calidad con identidad preservada. Hasta ahora ha sido muy simple, me inscribí y

alguien se comunicó conmigo dentro de las 24 horas siguiente sobre una gran oferta” (Indigo Agriculture, 2018a).

Es importante señalar que las transacciones con Marketplace se aseguran contra riesgos de incumplimiento a través de un seguro con Allianz, una de las compañías de seguro más grandes del mundo, que cubre los pagos si hay un problema con el comprador, además de que Indigo Ag cuenta con licencia y garantía en 25 estados.

Asimismo, Indigo Ag no especula con los precios de las materias primas y cubre el riesgo tan pronto como se conoce. En otras palabras, ante cambios en los precios, ya sea hacia arriba o hacia abajo, no generan un impacto en las ganancias o pérdidas de los agricultores, lo anterior es un beneficio adicional que ofrece Indigo. Además, Marketplace está sujeta a las reglas de National Grain and Feed Association (NGFA), estándar de la industria, lo cual garantiza que no existen términos ocultos ni tarifas adicionales (Indigo Agriculture, 2021b).

Para compradores de grano Marketplace funciona de la siguiente manera: al ingresar al sitio web inician un panel de análisis donde los compradores pueden observar información del mercado en la región y analizarla para determinar el precio a ofertar por el grano, así como ver las características de los granos en cuanto a contenido de proteínas, calidad de molienda, variedad y también las prácticas de producción como orgánico, seco y no transgénico (Indigo Agriculture, 2018a). En la plataforma el precio de entrega se ajusta automáticamente según la ubicación de los agricultores y el costo del transporte. Al igual que en el apartado de agricultores, los contratos y transacciones se almacenan en la plataforma, facilitando así la gestión de relaciones entre compradores y agricultores.

Parte fundamental de la oferta de granos fue el programa de almacenamiento en granjas para agricultores, lanzado en marzo de 2018, el cual busca almacenar y monitorear los granos cosechados en el sitio y preservar la identidad. Además, Indigo Ag financiaba el sistema de ensacado de granos sin costo inicial, con este programa se tenía inventario disponible hasta que era comprado.

Compradores de grano y fibra

En diciembre de 2017 Indigo Ag se asoció con uno de sus primeros compradores, *Grain Craft*, la empresa más grande de los Estados Unidos dedicada a la molienda de harina. El acuerdo se dio por un millón de Bushels de trigo de alta calidad, cultivado de manera sostenibles y con identidad preservada. Para esto, Indigo Ag se asoció con productores de *Indigo Wheat™*, quienes serían los proveedores del trigo y obtendrían un premio de 43 centavos por bushel sobre el precio de trigo básico. Al respecto, el director de la cadena de suministro de Grain Craft comentó:

“En Grain Craft, nos preocupamos por nuestra harina, la calidad, la forma en que se produce y los agricultores que la producen. Nos asociamos con Indigo Ag para generar productos trazables y sostenibles, es una nueva forma de hacer negocios que responde a las necesidades de nuestros clientes” (Indigo Agriculture, 2017a).

Otra de las empresas con las que se asoció Indigo Ag fue con Better Cotton Initiative, donde Indigo Ag brinda capacitación, verificación y recopilación de datos para mejorar la producción de algodón (Indigo Agriculture, 2018d).

En marzo de 2019, Indigo Ag se asoció con Anheuser-Busch, la cervecera más grande en EE.UU., comprometiéndose a entregar 2.2 millones de bushels de *Indigo Rice™*. Para ello, Indigo Ag se asoció con agricultores de arroz de Missouri y Arkansas que acordaron reducir el uso de agua y nitrógeno en un 10%, además de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. A cambio, Anheuser-Busch pagaría una prima de entre \$30 y \$40 adicionales por acre (Perry, 2019).

Indigo Transport

Fue necesario desarrollar un sistema de transporte de los granos producidos con la tecnología de Indigo Ag para preservar la identidad y que los compradores estuvieran seguros de que la producción se realizaba bajo un enfoque sostenible. Fue así como en enero de 2019 se lanzó Indigo Transport con el objetivo de gestionar el acopio, transporte y entrega de los granos del agricultor al consumidor. Indigo Transport permitió a los agricultores que contaban con camiones registrarse en la plataforma, además de contratar camiones y

transportistas independientes para abastecer la demanda de transporte (Iansiti et al., 2019).

Al igual que el Marketplace, Indigo Transport cuenta con dos modalidades; una para el agricultor y otra para el comprador. En la primera, los agricultores deben registrarse en Marketplace, posteriormente llegan a un acuerdo con los compradores y optan por transportar el grano a través de Indigo Transport. Por su parte, Indigo Ag con ayuda de un representante confirma los detalles de recogida del pedido y comienza a emparejarlo con un transportista local. Es importante señalar que la red de transportistas asociados con Indigo Ag son evaluados por seguridad, cobertura de seguro y están sujetos a políticas de transporte en materia alimentaria. En este sentido, Indigo Ag lleva a cabo monitoreos a los transportistas de manera continua por medio de proveedores de servicios externos. Después de llevar a cabo el emparejamiento, se realiza la entrega e Indigo Ag se encarga de toda la coordinación, logística y pago con ese transportista, garantizando la entrega al comprador. Finalmente, el agricultor recibe el cheque vía correo por la venta a través de Marketplace (Figura 22).



Figura 22. Funcionamiento de Indigo Transport para agricultores

Fuente: Indigo Agriculture (2021d).

La segunda modalidad de Indigo Transport concentra una red de transportistas disponibles para entregar el producto. Cada operador tiene acceso a la plataforma web y a la aplicación móvil a través de la cual se le asigna un pedido preaprobado del cual recibirá los detalles necesarios para la recogida y entrega. Además de granos como maíz, soya, trigo y arroz, con Indigo Transport también se puede transportar sal, grava y arena. Los precios del servicio de transporte son dinámicos y se generan en la plataforma Indigo Transport en función del viaje, la temporada, el origen y el destino.

5.3. Modelo de Negocio-Indigo Ag

5.3.1. Propuesta de valor

Indigo Ag ofrece productos y servicios bajo un enfoque sostenible e innovador. Actualmente ofrece productos para cultivos como Algodón, Trigo, Maíz, Arroz, Soya, Girasol y cultivos de cobertura. Estos productos cumplen con objetivos específicos como mejorar la eficiencia en la absorción de nutrientes, dotar con resistencia a sequía y tolerancia a altas temperaturas.

Al obtenerse de la naturaleza y no recibir alguna modificación genética, los productos de Indigo Ag recibieron la certificación otorgada por el Instituto de Revisión de Materiales Orgánicos (OMRI) en 2018. Con dicha certificación se verificó que los productos de Indigo Ag cumplen con los estándares del Programa Orgánico Nacional del USDA. Esta certificación cumple con el objetivo de satisfacer a la demanda de los consumidores respecto a ofrecer alimentos sostenibles (Indigo Agriculture, 2018c).

Un aspecto importante en los productos microbianos de Indigo Ag son los resultados que han demostrado. Para el caso del algodón, en 2017 se obtuvo un aumento en rendimiento del 11% a pesar de que en la región del oeste de Texas se presentaron eventos de estrés hídrico de moderados a severos (Indigo Agriculture, 2017c).

Para el 2018, la segunda temporada comercial de Indigo Cotton, se obtuvieron aumentos promedio de 14% que se reflejan en alrededor de U\$D 68 adicionales por acre (Indigo Agriculture, 2018b).

Para el caso del trigo, los datos de campos comerciales en 2017 mostraron un aumento del 8.3% sin un mayor uso de agua o productos químicos, en comparación con el cultivo producido con el paquete químico. Por otro lado, en condiciones favorables, se observaron resultados de hasta el 15.7% en incremento del rendimiento (Indigo Agriculture, 2017d).

Posteriormente, en 2018, los resultados de Indigo Trigo demostraron un aumento en el rendimiento promedio de 13% en los campos de Texas, Oklahoma y

Kansas. Y en condiciones de mayor estrés se obtuvieron mejoras en rendimiento de hasta el 19% (Indigo Agriculture, 2018e).

Por otro lado, en 2017, para el cultivo de maíz, se recopilaron datos del Medio Oeste de Estados Unidos, donde se obtuvieron incrementos de rendimiento de hasta el 77%, aproximadamente 40 bushels adicionales por acre y con un incremento promedio del 45%, correspondiente a 32 bushels por acre, en comparación con campos cercanos que no tuvieron tratamientos microbianos de Indigo Ag (Ver Figura 23).

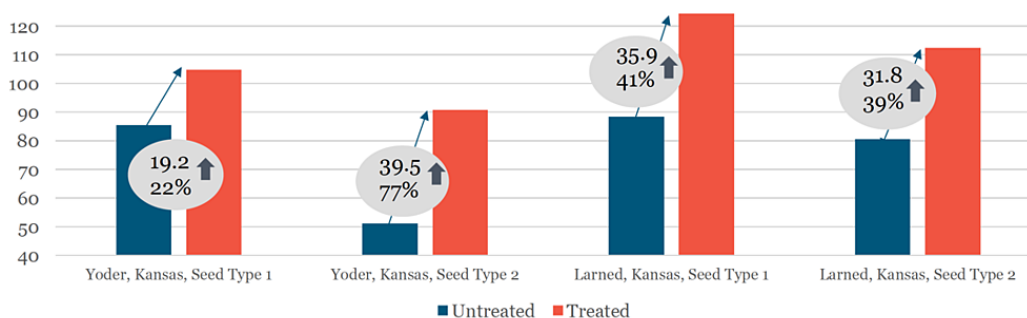


Figura 23. Demostración de rendimiento en maíz. Datos de la empresa Fuente: Indigo Agriculture (2017e).

Posteriormente, para 2018 Indigo Corn demostró un aumento promedio en el rendimiento de 10.1 bushels por acre. Esto es equivalente a un aumento del 5.5% comparado con los campos vecinos.

Por los resultados obtenidos, el cofundador de Indigo, Geoffrey Von Maltzahn, expresó lo siguiente:

“En un momento en el que muchas tecnologías en la agricultura se estancan, las semillas recubiertas de microbios y el asesoramiento agronómico basado en datos de Indigo Ag están generando impacto real en los productores de EE.UU.” (Indigo Agriculture, 2019a).

Los servicios que ofrece Indigo Ag se basan en el acompañamiento en el proceso de producción agrícola a través de agrónomos Indigo, quienes a través de datos capturados en campo y de imágenes satelitales formulan recomendaciones para mejorar la productividad agrícola, así como la calidad del grano. El equipo de GeolInnovación se encarga del análisis de datos, a través de Atlas Indigo, donde

combinan datos de sensores remotos, equipo terrestre, históricos y meteorológicos para estudiar las variables dinámicas que afectan la productividad de los cultivos. Con esta tecnología Indigo Ag ha logrado caracterizar condiciones locales del suelo, trazar límites del campo y comprender las diferencias en el rendimiento de los cultivos entre regiones. Además, con este análisis de datos, Indigo Ag logra ofrecer un panorama del mercado en tiempo real, lo que ayuda a los agricultores a ajustar sus tiempos de cosechas. Con este servicio que ofrece Indigo Atlas, se brinda un respaldo para agricultores, comerciantes, inversionistas, compradores, comercializadores de granos, agencias gubernamentales y otros actores de la industria. Respecto al impacto de la innovación, el director ejecutivo de Indigo, David Perry, comentó lo siguiente:

“Las imágenes de satélites han sido una ventaja significativa para nosotros a medida que optimizamos nuestras soluciones de semillas microbianas para los productores. Si bien las tecnologías de Indigo Ag abarcan toda la cadena de suministro, continuamos mejorando nuestra hipótesis fundacional: los microbios pueden mejorar la salud y la productividad de los cultivos para ayudar a los productores a amentar el rendimiento y, en última instancia, reducir la cantidad de fertilizantes y productos químicos utilizados” (Indigo Agriculture, 2019b).

5.3.2. Segmentos de Clientes

En primer lugar, se encuentran los agricultores que compran productos microbianos de Indigo Ag para inocular sus semillas. Los primeros clientes fueron los agricultores que cultivan algodón en el Oeste de Texas, que tenían el problema de estrés hídrico por falta de agua en la zona de producción. De la misma forma, los agricultores de trigo también confiaron en los productos microbianos de Indigo Ag para contrarrestar los problemas de estrés hídrico. Otros clientes fueron los agricultores de Maíz del centro de Kansas, donde en 2017 sólo recibieron el 50% de la precipitación promedio, pero con los productos de Indigo Ag obtuvieron aumentos en el rendimiento. Finalmente, también son clientes los agricultores de Arroz, soya, girasol y cultivos de cobertura.

Otro tipo de clientes son las agroindustrias que compran las cosechas de los agricultores a través de Marketplace. En 2017, se anunció la asociación con un cliente, Grain Craft, empresa molinera más grande de EE.UU. que vende su harina de primera calidad a granel y en bolsas para la industria de la panadería, pizzerías y tortillerías. Para este cliente, Indigo Ag contrata a agricultores de trigo que puedan producir las cosechas bajo un enfoque más sostenible. Por otro lado, en 2018, Indigo Ag anunció la asociación con un cliente, Better Cotton Initiative (BCI), organización mundial que cuenta con el programa de sostenibilidad del algodón más grande del mundo. En el marco de esta asociación Indigo Ag apoya a agricultores de algodón para que la producción sea bajo los criterios de BCI. Por otra parte, en 2019 Indigo Ag anunció la asociación con Anheuser-Busch, la principal cervecera en EE.UU. La asociación implicó que los agricultores de Indigo Ag entregaran 2.2 millones de bushels de arroz producido de manera sostenible, reduciendo el uso de agua y nitrógeno.

En tercer lugar, se encuentran los compradores de créditos de carbón. En febrero de 2021 empresas como *Maple Leaf Foods*, *Epiphany Craft Malt*, *The North Face*, *Cool Effect*, *Previously announced*, *Barclays*, *JPMorgan Chase*, *Dogfish Head Craft Brewery*, *New Belgium Brewing*, *Givewith*, *IBM*, *Shopify* y *Boston Consulting Group* se comprometieron con la compra de créditos de carbono para promover la sostenibilidad.

5.3.3. Relación con clientes

Ante el incremento de los precios de los insumos, los bajos precios de venta de las cosechas y los impactos negativos del clima, los productores agrícolas son quienes asumen el mayor riesgo. Por lo anterior, Indigo Ag ha desarrollado un modelo para que disminuya el riesgo en los agricultores con ayuda de sus productos microbianos y el análisis de datos.

El modelo consiste en compartir riesgo y ganancias. Indigo Ag no cobra por adelantado los tratamientos microbianos, el pago se acuerda como una cantidad fija por acre después de la cosecha, siempre y cuando se obtengan un incremento en la producción. Para mejorar la producción, Indigo Ag ofrece un

seguimiento técnico a través de agrónomos Indigo, quienes con ayuda de datos durante toda la temporada trabajan con los agricultores para tomar mejores decisiones en la implementación de prácticas regenerativas y prácticas agronómicas.

Un aspecto importante que incide en la relación con los agricultores, es que Indigo Ag realiza ensayos a nivel comercial, donde las condiciones ambientales son reales y no se controlan como en los ensayos pequeños. Por lo anterior, los agricultores tienen mayor confianza en los resultados obtenidos de ensayos bajo condiciones reales de los que se colectan datos en campo y a través de satélites. Por otra parte, con la plataforma de Marketplace, se busca *descomoditizar* los granos producidos con el microbiana Indigo Ag a través de una producción sostenible y la preservación de su identidad a lo largo de la cadena de comercialización. Con esta plataforma, los agricultores tienen acceso a una gran cantidad de compradores, quienes pueden seleccionar la mejor oferta de grano según sus necesidades. De esta manera se consigue a los mejores clientes para cada producción. Otra ventaja para los agricultores es que tienen acceso gratuito a la plataforma que incluye seguimiento con especialistas en marketing de granos. También se puede contratar el servicio premium. Finalmente, con esta plataforma, los agricultores cuentan con protección de sus transacciones, a través de un seguro con Allianz.

5.3.4. Actividades clave

La investigación y desarrollo de los productos microbianos de Indigo Ag requiere de ciertas actividades clave. La primera es la de identificar plantas sobresalientes en ambientes adversos. Se parte de la hipótesis de que estas plantas cuentan con un microbioma que les permite soportar altas temperaturas, suelos salinos y presentar mayor resistencia a plagas y enfermedades. Una vez que los científicos de campo identifican la planta, se realiza la extracción del suelo para ser llevada al laboratorio para secuenciar a los microorganismos endófitos. Otra forma en que Indigo Ag realiza la obtención de microorganismos endófitos, es a través del pago de licencias a universidades que ya han realizado la secuenciación. Entre

las universidades se incluye a la Universidad de Texas y Arizona en EE.UU., Universidad de Saskatchewan en Canadá y Universidad de Flinders en Australia. Después de obtener los microbios endófitos, con el apoyo de la biología computacional y aprendizaje automático, se lleva a cabo la modelación con algoritmos que predicen en qué ambientes pueden expresar su potencial los microorganismos para mejorar la productividad. Posteriormente, se realiza la reproducción de microorganismos a través de fermentación de alta precisión para realizar ensayos en plántulas de invernadero, luego en suelos de invernadero y finalmente a escala comercial.

5.3.5. Recursos clave

Una de las tecnologías base de Indigo Ag es la plataforma de biología computacional, donde se realiza la secuenciación de ADN para identificar los microbios y que ayuda a clasificar los efectos en las plantas. Además, cuenta con una plataforma de imágenes satelitales e inteligencia artificial, Indigo Atlas Insights”, con la cual se realiza aprendizaje automático de datos satelitales, meteorológicos e históricos a través de sensores remotos, equipos terrestres y meteorológicos. Atlas Insights permite desarrollar modelos que evalúan la salud, productividad y otros factores de cultivo y a nivel campo, condado, estado y nacional.

Parte fundamental de Atlas es el desarrollo de índices, entre los que sobresale el Índice de Salud de los Cultivos (CHI) que mide el rendimiento de los cultivos y debido a su aplicación se encuentra patentado.

Por el lado de recursos humanos, Indigo Ag contaba en 2016 con 25 colaboradores con grado de doctorado y 17 con maestría, con quienes creó un equipo multidisciplinario.

5.3.6. Asociaciones clave

Sin duda, parte del éxito de Indigo Ag fueron los inversionistas de capital de riesgo, con los cuales se logró la financiación de la investigación y el desarrollo de productos microbianos. Dentro de los principales inversores se encuentran

Insignia-Flagship, el Fondo Permanente de Alaska, Biallier Gifford, Activant Capital, Investment Corporation of Dubái, FedEx y Pacific Western Bank.

También es relevante para Indigo Ag la asociación realizada con universidades para acceder a cepas ya estudiadas y ampliar la diversidad de microorganismos. Además, las alianzas con universidades permiten realizar pruebas y ensayos que se consolidan en investigaciones que favorecen la mejora continua de los productos microbianos de Indigo. Las principales Universidades con las que se establecen alianzas son la Universidad de Texas, Universidad de Arizona, Universidad de Saskatchewan y la Universidad de Flinders. De igual manera, se realizan alianzas con empresas para la reproducción a gran escala de los microorganismos que han sido validado su potencial en condiciones experimentales.

Finalmente, la asociación que tiene Indigo Ag con las empresas que producen la semilla es importante porque permite una relación más directa para que los tratamientos microbianos sean aplicados a las semillas de los agricultores socios de Indigo Ag.

5.3.7. Canales

El canal más importante para hacer llegar la propuesta de valor de Indigo Ag es el Marketplace, plataforma que permite que los consumidores se contacten directamente con los agricultores para llevar a cabo la comercialización de granos y fibras. Con esta plataforma, Indigo Ag ha logrado realizar una innovación que evita que los agricultores dependan de las grandes empresas de almacenes e intermediarios y consigan llegar directamente a las agroindustrias.

Otro canal clave para Indigo Ag es el sitio web, donde se encuentra Indigo Transport, plataforma con la que se definen los detalles para la recogida y entrega de las cosechas. De manera resumida, el modelo de negocios se puede observar en la Figura 24.

Asociaciones clave  • Inversionistas de capital de riesgo. • Universidad de Texas. • Universidad de Arizona. • Universidad de Saskatchewan. • Universidad de Flinders. • Fabricantes fermentadoras. • Productores de semillas • Transportistas.	Actividades claves  • Identificación y extracción de planta. • Secuenciación del microbioma vegetal. • Modelación con algoritmos. • Ensayos en invernadero. • Ensayos comerciales. • Inoculación de semilla. • Recolección de datos de campos . • Asociación y análisis de datos Recursos claves  • Laboratorio de imágenes satelitales. • Laboratorio de biología computacional. • Equipo multidisciplinario. Con amplia experiencia en el sector. • Laboratorio de análisis de suelo.	Propuesta de valor  Una mejor manera de alimentar el planeta mejorando la rentabilidad de agricultores, la sostenibilidad y la salud del consumidor.	Relaciones con clientes  • Modelo comercial: Compartir riesgo y ganancias. • Confianza con ensayos comerciales en condiciones reales. • Descomodetizar a los granos: Calidad e identidad Canal  • Productos microbianos: De Indigo a Agricultores • Cosechas: Marketplace a agroindustria.	Segmentos de clientes  <u>Agricultores:</u> Algodón, Trigo, Maíz, Soya, girasol. <u>Agroindustria:</u> Grain Craft, Better Cotton Initiative, Anheuser-Busch. <u>Empresas</u> <u>compradoras de</u> <u>crédito de carbono</u>
Costos			Ingresos 12 productos en el mercado	

Figura 24. Modelo de negocios de Indigo Ag

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Retos para el despegue del microbioma vegetal.

A pesar de la investigación científica y de los avances tecnológicos para comprender la interacción microbio-planta y la influencia de los factores ambientales, aún existen desafíos en el estudio de este campo. Estos desafíos se traducen en retos u oportunidades para las empresas que desarrollan productos microbianos. Por lo tanto, en este apartado se mencionan aquellos desafíos identificados en la literatura.

En primer lugar, estudios señalan que una de las limitantes al momento de seleccionar a un determinado microorganismo como posible candidato para el desarrollo de un bioinsumo, es la dificultad de ser cultivados en laboratorio de manera independiente (Busby et al., 2017). De acuerdo con Malla et al. (2019), el rango de los microbios que pueden ser cultivables en laboratorio es de 1 a 5%, por el contrario, entre 95 y 99% de los microbios no pueden ser cultivables. El desafío que limita el cultivo de ciertos microbios también se ha documentado al momento de querer conocer la red de genes que utilizan los microorganismos en la raíz que regula la resistencia a sequía, por lo que se sugiere realizar estudios

de las interacciones del microbio-planta en condiciones de campo (H. Zhang, Sun, & Dai, 2022).

En segundo lugar, a pesar del reconocimiento de las funciones en la nutrición, en la producción de bioma y resistencia que juega la microbiota autóctona (Busby et al., 2017; Müller, Vogel, Bai, & Vorholt, 2016; Vandenkoornhuyse et al., 2015b), no se sabe cuál sería el efecto que tendría el microbioma nativo/residente u autóctono con el inoculante microbiano aplicado (Compant et al., 2019; Vorholt, Vogel, Carlström, & Müller, 2017).

En tercer lugar, se sabe que los microbios al ser organismos también sufren cambios en fisiología, metabolismo y sensibilidad debidos a cambios en la temperatura y humedad, pero se desconocen cuáles serían los impactos que causaría el cambio climático en el microbioma de las plantas a nivel ecológico, evolutivo, bioquímico y molecular (Saikkonen et al., 2020; Trivedi et al., 2022).

En cuarto lugar, no existen herramientas de campo que permitan a los agricultores tener información del microbioma vegetal de su suelo, el cual interfiere en el rendimiento de los cultivos. Por lo tanto, se requieren tecnologías que ayuden a realizar análisis directo en campo sobre el microbioma del suelo, con el objetivo de tomar mejores decisiones, por ejemplo, seleccionar el inoculante microbiano que mejore las características del suelo (Zorner, Farmer, & Alibek, 2018). Ante este desafío, empresas como Biome Makers utilizan el análisis del microbioma del suelo para diseñar prácticas que mejoren la salud del suelo y potencien la productividad de la agricultura.

En quinto lugar, los procesos relacionados con la biología sintética (Synbio) a menudo ocurren en biorreactores y fermentadores para los cuales existe una capacidad limitada. La consultora McKinsey estima que solamente para el mercado de la carne basada en células, la industria necesitaría entre 220 y 440 mm de litros de capacidad de fermentación para satisfacer la demanda de un mercado de 25.000 millones de dólares para 2030. Para ponerlo en perspectiva, la capacidad actual de cultivo celular de la industria farmacéutica se estima entre 10 y 20 mm de litros. Aumentar la capacidad es un esfuerzo costoso y las

preguntas clave que surgen son 1) ¿quién lo financiará?, y 2) ¿quién lo construirá? (Laskar, 2022).

En sexto lugar, y tal como lo advierte una de las pioneras en el microbioma vegetal, Pam Marrone, también existe una gran barrera en el sistema universitario. Y aunque esta pionera se refiere al sistema universitario de EE.UU., consideramos que aplica a cualquier universidad del mundo. Tanto los protocolos de investigación como los de validación *“son muy tradicionales en la forma en que evalúan los productos. La mayoría de los investigadores y extensionistas tienen un conocimiento muy bajo sobre productos biológicos, cómo funcionan y cómo implementarlos. Todavía son muy reduccionistas, en el sentido de que tiene que ser un microbio, un biopesticida o un bioestimulante contra un cóctel completo de soluciones químicas. Realmente no ocurre así. Están integrados, ya sea un microbio apilado con un químico en una semilla o aplicaciones foliares de microbios en combinaciones (mezclas de tanque y aspersiones rotativas). Sí, desean saber qué hace un producto solo, pero generalmente ahí es donde se detienen y no dan el siguiente paso para probar el enfoque integrado, tal como como lo hacen los agricultores”* (Marrone, 2018).

Finalmente, se menciona que aún existe una gran brecha en el conocimiento sobre las interacciones planta-microbio, microbio-microbio y las interacciones con el ambiente (Qiu et al., 2019), por lo que se espera que el abordaje de estos desafíos permitirán construir un sistema alimentario sostenible y garantizar la seguridad alimentaria.

6. CONCLUSIONES

Ante el desafío alimentario global, la agricultura debe aumentar su producción, pero sin causar daños ambientales como lo ha hecho hasta ahora. La comunidad científica sugiere que el microbioma vegetal es una opción prometedora para reducir la huella ambiental sin sacrificar productividad y calidad; es decir, puede contribuir a resolver el trade off: más y mejores alimentos implican una mayor huella ambiental. Esta investigación contribuye con la integración de los factores económicos, sociales y tecnológicos que han impulsado la creación de empresas que ofrecen productos de microbioma vegetal para su aplicación en la agricultura. Los inversionistas de capital de riesgo son actores clave en la configuración de la naciente industria, la cual ha mostrado y muestra hacia el futuro un atractivo crecimiento. Cabe señalar que, en esta nueva industria, los jugadores que dominan la industria de los agroinsumos convencionales, mayormente de síntesis química, ya se autoinvitaron a la fiesta y han incursionado a través de alianzas, adquisiciones e inversiones. Esto llama la atención en virtud de que la industria del microbioma (en su segmento de biocontrol) se contrapone al negocio de plaguicidas químicos. No obstante, las empresas líderes han optado por continuar rentabilizando por medio del negocio convencional y a la vez desplegar sus negocios hacía el microbioma vegetal, una vez que ha sido demostrada la viabilidad de esta tecnología. Esto muestra que las empresas líderes en agroinsumos han aprendido de la experiencia de empresas en otras industrias que han desaparecido por el surgimiento de empresas basadas en innovaciones disruptivas.

El análisis del entorno permite develar al menos tres fuerzas catalizadoras que incentivan el desarrollo de la industria del microbioma vegetal: i) los avances tecnológicos y la convergencia entre diversas ciencias como las meta-ómicas, bigdata, inteligencia artificial y biología sintética, han llevado a desarrollar metodologías que las empresas han aprovechado para el estudio y desarrollo de productos microbianos; ii) existe una demanda de mercado, sobre todo entre la población más joven, por alimentos producidos de manera sostenible, por lo que

los biofertilizantes, bioplaguicidas y bioestimulantes pueden integrarse en los programas de manejo integrado de la nutrición y control de plagas en la agricultura; y iii) las presiones normativas ejercidas por los gobiernos ante los acuerdos multilaterales para enfrentar el cambio climático, tales como la Green Deal Europea y la ley para la reducción de la inflación que esencialmente busca incentivar las energías verdes y en agricultura incentivar innovaciones sostenibles.

Una de las empresas líderes en la industria de microbioma vegetal es Indigo Ag, la cual muestra a nivel de su núcleo, red y sociedad las actividades y actores clave orientados a identificar, secuenciar, validar y reproducir a gran escala los microorganismos dirigidos a contrarrestar el estrés hídrico y mejorar la absorción de nutrientes, así como a descomoditizar los granos y fibras que se producen mediante el uso del microbioma. En esta empresa, la convergencia tecnológica es evidente con la combinación de la biología computacional y el aprendizaje automático basados en diversos datos recopilados. Asimismo, su estructura organizacional muestra la integración de un equipo multidisciplinario y colaboradores externos que permiten su funcionamiento como modelo de negocios y empresa red.

Finalmente, se espera que la investigación académica y la convergencia tecnológica contribuyan a abordar los desafíos actuales del estudio y difusión comercial del microbioma vegetal. Tales desafíos son: i) la reducida proporción de microorganismos que son cultivables en laboratorio, ii) el desconocimiento de las interacciones sinérgicas o antagónicas entre el microbioma introducido y el autóctono, iii) incertidumbre sobre el efecto del cambio climático en las comunidades microbianas, iv) el incipiente desarrollo de herramientas de campo que orienten la toma de decisiones de los agricultores respecto al microbioma del suelo, v) la limitada capacidad instalada para la reproducción a escala de los microorganismos, y vi) la rigidez de los protocolos empleados por la comunidad científica para experimentar con microorganismos. Aunque parecieran ser demasiados los desafíos por enfrentar, no se debe ignorar el carácter incipiente

de la industria: apenas ha logrado una cuota del 1% en el segmento de la nutrición y del 9% en biocontrol.

7. LITERATURA CITADA

- Accesswire. (2020, December 9). Mosaic announces agreement with bioConsortia to collaborate on new nitrogen-fixing microbial products. Retrieved July 30, 2022, from Partnerships website: <https://www.accesswire.com/620206/Mosaic-Announces-Agreement-with-BioConsortia-to-Collaborate-on-New-Nitrogen-Fixing-Microbial-Products>
- Accesswire. (2021, March 23). Mosaic and AgBiome announce collaboration to develop biological alternatives to enhance soil health. Retrieved July 30, 2022, from Partnerships website: <https://www.accesswire.com/637071/Mosaic-and-AgBiome-Announce-Collaboration-to-Develop-Biological-Alternatives-to-Enhance-Soil-Health>
- Adesemoye, A. O., Yuen, G., & Watts, D. B. (2017). Microbial inoculants for optimized plant nutrient use in integrated pest and input management systems BT-Probiotics and plant health. In V. Kumar, M. Kumar, S. Sharma, & R. Prasad (Eds.), *Probiotics and plant health* (pp. 21–40). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3473-2_2
- Afshar, R. K., Jovini, M. A., Chaichi, M. R., & Hashemi, M. (2014). Grain sorghum response to arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilizer under deficit irrigation. *Agronomy Journal*, 106(4), 1212–1218. <https://doi.org/10.2134/agronj13.0589>
- Agler, M. T., Ruhe, J., Kroll, S., Morhenn, C., Kim, S. T., Weigel, D., & Kemen, E. M. (2016). Microbial hub taxa link host and abiotic factors to plant microbiome variation. *PLoS Biology*, 14(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002352>
- Ahmed, M., Elesheikh, E. A. E., & Mahdi, A. A. (2007). The in vitro compatibility of some Rhizobium and Bradyrhizobium strains with fungicides. *African Crop Science Conference Proceedings*, 8, 1171–1178.
- Ahuja, K., & Rawat, A. (2016). Biofertilizers market size by product (nitrogen-

fixing, phosphate-solubilizing, potash-mobilizing), by application (seed treatment, soil treatment), by crop (cereals & grains, pulses & oil seeds, fruits & vegetables), by form (dry, liquid), industry analy. Retrieved December 6, 2020, from Biofertilizers Market website: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/biofertilizers-market>

Akyüz, Y. (2017). Global Economic Prospects. In *The Financial Crisis and the Global South*. <https://doi.org/10.2307/j.ctt183pb3w.5>

Al-Ani, L. K. T. (2019). Recent patents on endophytic fungi and their international market. In H. B. Singh, C. Keswani, & S. P. Singh (Eds.), *Intellectual property issues in microbiology* (pp. 271–284). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7466-1_14

Aldunate, M. (2022, March 10). A toda velocidad biológica . Retrieved August 22, 2022, from Biologicals Latam website: <https://biologicalslatam.com/issue-03/a-toda-velocidad-biologica/>

Alexander, B. J. R., & Stewart, A. (2001). Glasshouse screening for biological control agents of *Phytophthora cactorum* on apple (*Malus domestica*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 29(3), 159–169. <https://doi.org/10.1080/01140671.2001.9514174>

Arif, I., Batool, M., & Schenk, P. M. (2020). Plant microbiome engineering: expected benefits for improved crop growth and resilience. *Trends in Biotechnology*, 38(12), 1385–1396. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.04.015>

Arora, N. K. (2019). Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability*, 2(2), 95–96. <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00078-w>

Artopoulos, A. (2009). Sociedad del conocimiento en argentina: El caso de una empresa-red, Tenaris. *Redes*, 15(29), 241–276.

- Artz, K. W., Norman, P. M., Hatfield, D. E., & Cardinal, L. B. (2010). A longitudinal study of the impact of R&D, patents, and product innovation on firm performance. *Journal of Product Innovation Management*, 27(5), 725–740. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2010.00747.x>
- Augustin, M. A., Cole, M. B., Ferguson, D., Hazell, N. J. G., & Morle, P. (2021). Perspective article: Towards a new venture science model for transforming food systems. *Global Food Security*, 28(100481). <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100481>
- Babalola, O. O., Fadiji, A. E., Enagbonma, B. J., Alori, E. T., Ayilara, M. S., & Ayangbenro, A. S. (2020). The nexus between plant and plant microbiome: revelation of the networking strategies. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.548037>
- Badhai, J., Whitman, W. B., & Das, S. K. (2017). Draft genome sequence of *Rhizobium pusense* strain NRCPB10T (LMG 25623T) isolated from rhizosphere soil of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) grown in India. *Genome Announcements*, 5(17). <https://doi.org/10.1128/GENOMEA.00282-17>
- Baffes, J., & Chian-Koh, W. (2021, June 18). Fertilizer prices expected to stay high over the remainder of 2021. Retrieved November 5, 2021, from World Bank Blogs website: <https://blogs.worldbank.org/opendata/fertilizer-prices-expected-stay-high-over-remainder-2021>
- Bagna, E., Cotta Ramusino, E., & Denicolai, S. (2021). Innovation through patents and intangible assets: Effects on growth and profitability of european companies. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(4), 220.
- Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 57, 233–266.

- Bakker, P. A. H. M., Pieterse, C. M. J., de Jonge, R., & Berendsen, R. L. (2018). The Soil-Borne Legacy. *Cell*, 172(6), 1178–1180. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.02.024>
- Bao, Z., Okubo, T., Kubota, K., Kasahara, Y., Tsurumaru, H., Anda, M., ... Minamisawa, K. (2014). Metaproteomic identification of diazotrophic methanotrophs and their localization in root tissues of field-grown rice plants. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(16), 5043–5052. <https://doi.org/10.1128/AEM.00969-14>
- BASF. (2012, November 28). BASF completa la adquisición de Becker Underwood. Retrieved August 2, 2021, from BASF News website: <https://www.basf.com/ru/ru/media/news-releases/2012/11/p-12-526.html>
- Batista, B. D., & Singh, B. K. (2021). Realities and hopes in the application of microbial tools in agriculture. *Microbial Biotechnology*, 14(4), 1258–1268. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13866>
- Bayer. (2018, June 7). Bayer closes Monsanto acquisition. Retrieved June 11, 2022, from News Bayer website: <https://media.bayer.com/baynews/baynews.nsf/id/Bayer-closes-Monsanto-acquisition>
- Behnassi, M., & El Haiba, M. (2022). Implications of the Russia–Ukraine war for global food security. *Nature Human Behaviour*, 6(6), 754–755. <https://doi.org/10.1038/s41562-022-01391-x>
- Bell, T. H., Joly, S., Pitre, F. E., & Yergeau, E. (2014). Increasing phytoremediation efficiency and reliability using novel omics approaches. *Trends in Biotechnology*, 32(5), 271–280. <https://doi.org/10.1016/J.TIBTECH.2014.02.008>
- Berg, G., Kusstatscher, P., Abdelfattah, A., Cernava, T., & Smalla, K. (2021). Microbiome modulation—toward a better understanding of plant microbiome

- response to microbial inoculants. *Frontiers in Microbiology*, 12, 803.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.650610>
- Berg, G., Rybakova, D., Fischer, D., Cernava, T., Vergès, M. C. C., Charles, T., ... Schloter, M. (2020). Microbiome definition re-visited: Old concepts and new challenges. *Microbiome*, 8(1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00875-0>
- Bever, J. D., Broadhurst, L. M., & Thrall, P. H. (2013). Microbial phylotype composition and diversity predicts plant productivity and plant–soil feedbacks. *Ecology Letters*, 16(2), 167–174.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ele.12024>
- Blaser, M. J., Cardon, Z. G., Cho, M. K., Dangl, J. L., Donohue, T. J., Green, J. L., ... Brodie, E. L. (2016). Toward a predictive understanding of earth's microbiomes to address 21st century challenges. *MBio*, 7(3).
<https://doi.org/10.1128/mBio.00714-16>
- Bloemberg, G. V., & Lugtenberg, B. J. J. (2001). Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria. *Current Opinion in Plant Biology*, 4(4), 343–350. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(00\)00183-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1369-5266(00)00183-7)
- Bober, J. R., Beisel, C. L., & Nair, N. U. (2018). Synthetic biology approaches to engineer probiotics and members of the human microbiota for biomedical applications. *Https://Doi.Org/10.1146/Annurev-Bioeng-062117-121019*, 20, 277–300. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-BIOENG-062117-121019>
- Bocken, N. M. P., & Geradts, T. H. J. (2020). Barriers and drivers to sustainable business model innovation: Organization design and dynamic capabilities. *Long Range Planning*, 53(4), 101950.
<https://doi.org/10.1016/j.lrp.2019.101950>
- Bomgardner, M. (2019). Ginkgo-Bayer venture taps NewLeaf for plant microbes.

C&EN Global Enterprise, 97(30), 10. <https://doi.org/10.1021/cen-09730-buscon2>

- Bower, J. L., & Christensen, C. M. (1995). Disruptive technologies: catching the wave. *Harvard Business Review*, 73(1). Retrieved from <https://hbr.org/1995/01/disruptive-technologies-catching-the-wave>
- Broberg, M., Doonan, J., Mundt, F., Denman, S., & McDonald, J. E. (2018). Integrated multi-omic analysis of hostmicrobiota interactions in acute oak decline. *Microbiome*, 6(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0408-5>
- Broeckling, C. D., Broz, A. K., Bergelson, J., Manter, D. K., & Vivanco, J. M. (2008). Root exudates regulate soil fungal community composition and diversity. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(3), 738–744.
- Brunel, C., Pouteau, R., Dawson, W., Pester, M., Ramirez, K. S., & van Kleunen, M. (2020). Towards unraveling macroecological patterns in rhizosphere microbiomes. *Trends in Plant Science*, 25(10), 1017–1029. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.04.015>
- Bulgarelli, D., Schlaeppi, K., Spaepen, S., Van Themaat, E. V. L., & Schulze-Lefert, P. (2013). Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annual Review of Plant Biology*, 64, 807–838. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120106>
- Burwood-Taylor, L. (2017, December 6). Indigo Ag closes \$203m series D with Dubai sovereign fund for microbial seed tech, innovative business model - AFN. Retrieved July 22, 2021, from AgFunder News website: <https://agfundernews.com/indigo-ag-closes-203m-series-d.html>
- Busby, P. E., Soman, C., Wagner, M. R., Friesen, M. L., Kremer, J., Bennett, A., ... Dangl, J. L. (2017). Research priorities for harnessing plant microbiomes in sustainable agriculture. *PLoS Biology*, 15(3), e2001793. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2001793>

- Callens, K., Bessy, C., Bogdanski, A., Fontaine, F., Gurkan, C., Nájera Espinosa, S., ... Grooters, S. (2019). *Microbiome: The missing link? - science and innovation for health, climate and sustainable food systems*. Roma: FAO. Retrieved from <https://www.fao.org/3/ca6767en/CA6767EN.pdf>
- Campo, R. J., Araujo, R. S., & Hungria, M. (2009). Nitrogen fixation with the soybean crop in Brazil: compatibility between seed treatment with fungicides and bradyrhizobial inoculants. *Symbiosis*, 48(1), 154–163.
- Caner, D., Claes, J., De Clercq, D., & Michael, T. (2020). Needle in a haystack: Patents that inspire agricultural innovation. In *McKinsey & Company*. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/needle-in-a-haystack-patents-that-inspire-agricultural-innovation>
- Cappelletti, M., Perazzolli, M., Antonielli, L., Nesler, A., Torboli, E., Bianchedi, P. L., ... Pertot, I. (2016). Leaf treatments with a protein-based resistance inducer partially modify phyllosphere microbial communities of grapevine. *Frontiers in Plant Science*, 7(7), 1053. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01053>
- Carvalho, F. P. (2006). Agriculture, pesticides, food security and food safety. *Environmental Science & Policy*, 9(7–8), 685–692. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2006.08.002>
- Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48–60. <https://doi.org/10.1002/fes3.108>
- Castells, M. (2010). *The rise of the network society*. Chichester, West Sussex; Malden, MA: Wiley-Blackwell. Retrieved from <http://site.ebrary.com/id/10355273>
- Chandler, D., Bailey, A. S., Mark Tatchell, G., Davidson, G., Greaves, J., & Grant, W. P. (2011). The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philosophical Transactions of the Royal*

Society B: Biological Sciences, 366(1573), 1987–1998.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0390>

Chang, H. X., Haudenschild, J. S., Bowen, C. R., & Hartman, G. L. (2017). Metagenome-wide association study and machine learning prediction of bulk soil microbiome and crop productivity. *Frontiers in Microbiology*, 8(APR), 519.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00519>

Chemma, N. (2021). Disruptive innovation in a dynamic environment: a winning strategy? An illustration through the analysis of the yoghurt industry in Algeria. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 10(1), 1–19.
<https://doi.org/10.1186/S13731-021-00150-Y/TABLES/3>

Cho, H., & Pucik, V. (2005). Relationship between innovativeness, quality, growth, profitability, and market value. *Strategic Management Journal*, 26(6), 555–575.

Christensen, C. (1997). *The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail*. Boston, MA: Harvard Business School Press.

Christensen, C. M., McDonald, R., Altman, E. J., & Palmer, J. E. (2018). Disruptive innovation: An intellectual history and directions for future research. *Journal of Management Studies*, 55(7), 1043–1078.
<https://doi.org/10.1111/JOMS.12349>

Christensen, C. M., Raynor, M. E., Rory, M., & McDonald, R. (2015). What is disruptive innovation? *Harvard Business Review*, 93(12), 44–53. Retrieved from <https://hbr.org/2015/12/what-is-disruptive-innovation>

Christensen, C., McDonald, R. M., Altman, E. J., & Palmer, J. (2017). Disruptive Innovation: Intellectual History and Future Paths. *Academy of Management Proceedings*, 2017(1). <https://doi.org/10.5465/ambpp.2017.14218abstract>

Christensen, C., Ojomo, E., Gay, G. D., & Auerswald, P. E. (2019). The third

answer: How market-creating innovation drives economic growth and development. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 12(3–4), 10–26. https://doi.org/10.1162/INOV_A_00272

Clapp, J. (2016). *Food* (2nd ed.). John Wiley & Sons. Retrieved from <https://books.google.com.mx/books?id=yO0XDAAAQBAJ>

Clark, K. (2018, September 18). Indigo raises \$250M, launches marketplace to help farmers get paid for quality grain. Retrieved July 22, 2021, from Tech Crunch website: <https://techcrunch.com/2018/09/18/indigo-raises-250m-launches-marketplace-to-help-farmers-get-paid-for-quality-grain/>

Clark, M., Domingo, N., Colgan, K., Thakrar, S., Tilman, D., Lynch, J., ... Hill, J. (2020). Global food system emissions could preclude achieving the 1.5° and 2°C climate change targets. *Science*, 370(6517), 705–708. <https://doi.org/10.1126/science.aba7357>

Climate trade. (2022, May 2). ¿Qué son los créditos de carbono ‘buenos’ o ‘malos’? - ClimateTrade. Retrieved September 1, 2022, from Mercado de carbono website: <https://climatetrade.com/es/que-son-los-creditos-de-carbono-buenos-o-malos/>

Clouse, K. M., & Wagner, M. R. (2021). Plant Genetics as a tool for manipulating crop microbiomes: Opportunities and challenges. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 442. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.567548>

CNBC. (2018). Disruptor 50 companies 2018. Retrieved July 18, 2021, from <https://www.cnbc.com/2018/05/22/meet-the-2018-cnbc-disruptor-50-companies.html>

CNBC. (2019). Disruptor 50 companies 2019. Retrieved April 29, 2021, from <https://www.cnbc.com/2019/05/15/meet-the-2019-cnbc-disruptor-50-companies.html>

- CNBC. (2020). Disruptor 50 companies 2020. Retrieved April 29, 2021, from <https://www.cnn.com/2020/06/16/cnn-unveils-eighth-annual-disruptor-50.html>
- CNBC. (2021). Disruptor 50 companies 2021. Retrieved July 18, 2021, from <https://www.cnn.com/2021/05/25/indigo-ag-disruptor-50.html>
- CNBC. (2022). From food to inflation, the Russia-Ukraine war has a global impact. Retrieved July 11, 2022, from <https://www.cnn.com/2022/04/21/from-food-to-inflation-the-russia-ukraine-war-has-a-global-impact.html>
- Comisión Europea. (2020, May 20). Reforzar la resiliencia de Europa. Retrieved August 17, 2021, from Comunicado de prensa website: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_884
- Compant, S., Clément, C., & Sessitsch, A. (2010). Plant growth-promoting bacteria in the rhizo-and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(5), 669–678.
- Compant, S., Samad, A., Faist, H., & Sessitsch, A. (2019). A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application. *Journal of Advanced Research*, 19, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.03.004>
- Cong, L., Ran, F. A., Cox, D., Lin, S., Barretto, R., Habib, N., ... Zhang, F. (2013). Multiplex genome engineering using CRISPR/Cas systems. *Science*, 339(6121), 819–823. <https://doi.org/10.1126/science.1231143>
- Copping, L. G., & Matthews, G. (2012). An interview with Marcus Meadows-Smith on the Bayer Cropscience/AgraQuest acquisition - Everybody wins! *Outlooks on Pest Management*, 23(6), 272–273. <https://doi.org/10.1564/23dec09>
- Cruchbase. (2022). Crunchbase: Discover innovative companies and the people

behind them. Retrieved February 21, 2022, from <https://www.crunchbase.com/>

- D'Hondt, K., Kostic, T., McDowell, R., Eudes, F., Singh, B. K., Sarkar, S., ... Sessitsch, A. (2021). Microbiome innovations for a sustainable future. *Nature Microbiology*, 6(2), 138–142. <https://doi.org/10.1038/s41564-020-00857-w>
- Das, S., Ho, A., & Kim, P. J. (2019). Role of microbes in climate smart agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2756.
- Dastogeer, K. M. G., Tumpa, F. H., Sultana, A., Akter, M. A., & Chakraborty, A. (2020). Plant microbiome—an account of the factors that shape community composition and diversity. *Current Plant Biology*, 23(July), 100161. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100161>
- David, W., & Ardiansyah. (2017). Perceptions of young consumers toward organic food in Indonesia. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 13(4), 315–324.
- De Almeida Lopes, K. B., Carpentieri-Pipolo, V., Fira, D., Balatti, P. A., López, S. M. Y., Oro, T. H., ... Degrassi, G. (2018). Screening of bacterial endophytes as potential biocontrol agents against soybean diseases. *Journal of Applied Microbiology*, 125(5), 1466–1481. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jam.14041>
- De Bernardi, P., & Azucar, D. (2019). *Innovation in food ecosystems: entrepreneurship for a sustainable future*. Switzerland: Springer Nature. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-33502-1>
- De Faria, M. R., Costa, L. S. A. S., Chiaramonte, J. B., Bettiol, W., & Mendes, R. (2021). The rhizosphere microbiome: functions, dynamics, and role in plant protection. *Tropical Plant Pathology*, 46(1), 13–25. <https://doi.org/10.1007/s40858-020-00390-5>

- De Souza, R. S. C., Armanhi, J. S. L., & Arruda, P. (2020). From microbiome to traits: Designing synthetic microbial communities for improved crop resiliency. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1179. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01179>
- De Vries, F. T., Griffiths, R. I., Knight, C. G., Nicolitch, O., & Williams, A. (2020). Harnessing rhizosphere microbiomes for drought-resilient crop production. *Science*, 368(6488), 270–274. <https://doi.org/10.1126/science.aaz5192>
- De Vries, F. T., & Wallenstein, M. D. (2017). Below-ground connections underlying above-ground food production: a framework for optimising ecological connections in the rhizosphere. *Journal of Ecology*, 105(4), 913–920.
- DeCarolus, D. M., & Deeds, D. L. (1999). The impact of stocks and flows of organizational knowledge on firm performance: An empirical investigation of the biotechnology industry. *Strategic Management Journal*, 20(10), 953–968. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199910\)20:10%3C953::AID-SMJ59%3E3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199910)20:10%3C953::AID-SMJ59%3E3.0.CO;2-3)
- Delitte, M., Caulier, S., Bragard, C., & Desoignies, N. (2021). Plant microbiota beyond farming practices: A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 66. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.624203>
- Delmotte, N., Ahrens, C. H., Knief, C., Qeli, E., Koch, M., Fischer, H. M., ... Pessi, G. (2010). An integrated proteomics and transcriptomics reference data set provides new insights into the *Bradyrhizobium japonicum* bacteroid metabolism in soybean root nodules. *Proteomics*, 10(7), 1391–1400. <https://doi.org/10.1002/pmic.200900710>
- Department of Agriculture Cooperation and Farmer's Welfare. (2007). *National Policy for Farmers 2007*. 28. Retrieved from [http://agricoop.gov.in/sites/default/files/npff2007 %281%29.pdf](http://agricoop.gov.in/sites/default/files/npff2007%281%29.pdf)

- Diamandis, P. H., & Kotler, S. (2020). *The future is faster than you think: How converging technologies are transforming business, industries, and our lives*. New York: Simon & Schuster. Retrieved from https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=K7HMDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP11&dq=Diamandis+P.,+and+Kotler,+S.,+2020.+The+future+is+faster+than+you+think:+How+technological+convergence+is+transforming+companies&ots=Q7bPx-R-se&sig=kcxwjml_azrwgG4g-Vo60olek64&r
- Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., & Okon, Y. (2010). Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *https://doi.org/10.1080/713610853*, 22(2), 107–149. <https://doi.org/10.1080/713610853>
- Dolgin, E. (2018). Breaking big Ag's fertilizer addiction [Blueprints for a Miracle]. *IEEE Spectrum*, 55(6), 62–65. <https://doi.org/10.1109/MSPEC.2018.8362231>
- Dow Corporate. (2017, September 1). DowDuPont merger successfully completed. Retrieved June 11, 2022, from <https://corporate.dow.com/en-us/news/press-releases/dowdupont-merger-successfully-completed.html>
- DSM. (2015, November 6). DSM and Syngenta to develop and commercialize biological solutions for agriculture | DSM. Retrieved August 1, 2021, from News DSM website: <https://www.dsm.com/corporate/news/news-archive/2015/32-15-dsm-and-syngenta-to-develop-and-commercialize-biological-solutions-for-agriculture.html>
- Duhan, J. S., Kumar, R., Kumar, N., Kaur, P., Nehra, K., & Duhan, S. (2017). Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnology Reports*, 15, 11–23. <https://doi.org/10.1016/J.BTRE.2017.03.002>
- Dunham Trimmer. (2019). Biocontrol global market report. Retrieved May 2, 2022,

from <https://dunhamtrimmer.com/products/biocontrol-global-market-report/>

Dunham, W. C., & DunhamTrimmer, L. L. C. (2015). Evolution and future of biocontrol. *10th Annual Biocontrol Industry Meeting (ABIM), Basel, Switzerland.*

Eduardo Contreras-Liza, S. (2021). Plant breeding and microbiome. In *Plant Breeding - Current and Future Views*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94948>

Eibl, R., Senn, Y., Gubser, G., Jossen, V., van den Bos, C., & Eibl, D. (2021). Cellular agriculture: opportunities and challenges. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12(1), 51–73. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-063020-123940>

Ellram, L. M. (1996). The use of the case study method in logistics research. *Journal of Business Logistics*, 17(2), 93.

Elsayed, T. R., Jacquiod, S., Nour, E. H., Sørensen, S. J., & Smalla, K. (2020). Biocontrol of bacterial wilt disease through complex interaction between tomato plant, antagonists, the indigenous rhizosphere microbiota, and *ralstonia solanacearum*. *Frontiers in Microbiology*, 10(January), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02835>

European Biostimulants Industry Council. (2019). Trabajando para dar forma a la insutria de los bioestimulantes. Retrieved July 8, 2022, from www.biostimulants.eu

European Commission. (2022). Agriculture and the Green Deal. Retrieved June 29, 2022, from https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/agriculture-and-green-deal_en

European Parliament. (2020). A European Green Deal. *New Circular Economy Action Plan*, (December 2019), 1–4. Retrieved from

https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

Fankhauser, M., Moser, C., & Nyfeler, T. (2018). Patents as early indicators of technology and investment trends: Analyzing the microbiome space as a case study. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 0(JUN), 84. <https://doi.org/10.3389/FBIOE.2018.00084>

FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF. (2020). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021. In *Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021*. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb5409es>

Feliatra, F., Lukistyowati, I., Yoswaty, D., Rerian, H., Melina, D., Hasyim, W., ... Yolanda, R. (2016). *Phylogenetic analysis to compare populations of acid tolerant bacteria isolated from the gastrointestinal tract of two different prawn species Macrobrachium rosenbergii and Penaeus monodon*. 9(2). Retrieved from <http://www.bioflux.com.ro/aacl>

Fernandes, M. F., Procópio, S. de O., Teles, D. A., Sena Filho, J. G. de, Cargnelutti Filho, A., & Machado, T. N. (2012). Toxicidade de inseticidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar à bactéria diazotrófica *Herbaspirillum seropedicae*. *Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 55(4), 318–326. <https://doi.org/10.4322/rca.2012.077>

Florentino, A. P., Brienza, C., Stams, A. J. M., & Sánchez-Andrea, I. (2016). *Desulfurella amilsii* sp. nov., a novel acidotolerant sulfur-respiring bacterium isolated from acidic river sediments. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66(3), 1249–1253. <https://doi.org/10.1099/IJSEM.0.000866/CITE/REFWORKS>

Flyvbjerg, B., & Casado, M. T. (2004). Cinco malentendidos acerca de la

investigación mediante los estudios de caso. *Reis*, (106), 33.
<https://doi.org/10.2307/40184584>

Fortune. (2017, April 21). ChemChina Syngenta deal: China's \$43 billion bid for food security. Retrieved June 11, 2022, from <https://fortune.com/2017/04/21/chemchina-syngenta-acquisition-deal/>

Fortune Business Insights. (2022a, February). Agricultural microbials market size, growth global report 2027. Retrieved August 17, 2021, from Agricultural Biologicals Market website: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/agricultural-microbial-market-100412>

Fortune Business Insights. (2022b, May). Biofertilizers market size, share, growth | global analysis [2029]. Retrieved July 27, 2022, from Biofertilizers market website: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/biofertilizers-market-100413>

Fortune Business Insights. (2022c, June). Biopesticides market size, share | growth analysis report [2029]. Retrieved July 27, 2022, from Biopesticides Market website: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/biopesticides-market-100073>

Fox, J. L. (2014). Microbes unite Novozymes and Monsanto. *Nature Biotechnology*, 32(3), 211–211. <https://doi.org/10.1038/NBT0314-211B>

Fraser, E. D. G., & Campbell, M. (2019). Agriculture 5.0: Reconciling production with planetary health. *One Earth*, 1(3), 278–280. <https://doi.org/10.1016/J.ONEEAR.2019.10.022>

Garcia, S. N., Osburn, B. I., & Jay-Russell, M. T. (2020). One Health for food safety, food Security, and sustainable food production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 0, 1. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2020.00001>

- Gavahian, M., Pallares, N., Al Khawli, F., Ferrer, E., & Barba, F. J. (2020). Recent advances in the application of innovative food processing technologies for mycotoxins and pesticide reduction in foods. *Trends in Food Science and Technology*, 106, 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.018>
- George, G., & Bock, A. J. (2011). The Business Model in practice and its implications for entrepreneurship research: *Https://Doi.Org/10.1111/j.1540-6520.2010.00424.X*, 35(1), 83–111. <https://doi.org/10.1111/J.1540-6520.2010.00424.X>
- Gerring, J. (2008). Case selection for case-study analysis: qualitative and quantitative techniques. *The Oxford Handbook of Political Methodology*. <https://doi.org/10.1093/OXFORDHB/9780199286546.003.0028>
- Global Entrepreneurship Monitor. (2022). *Global Entrepreneurship Monitor 2021/2022. Global Report: Opportunity Amid Disruption*. London, UK. Retrieved from <https://www.gemconsortium.org/file/open?fileId=50900>
- Global Industry Analysts. (2020). Global food automation industry. Retrieved April 16, 2022, from https://www.reportlinker.com/p05798615/Global-Food-Automation-Industry.html?utm_source=GNW
- Gosnell, H., Gill, N., & Voyer, M. (2019). Transformational adaptation on the farm: Processes of change and persistence in transitions to ‘climate-smart’ regenerative agriculture. *Global Environmental Change*, 59, 101965. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2019.101965>
- Graff, G. D., De Figueiredo Silva, F., & Zilberman, D. (2019). Venture capital and the transformation of private R&D for agriculture. *2019 Annual Meeting, July 21-23, Atlanta, Georgia*. Atlanta, Georgia: Agricultural and Applied Economics Association. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.291190>
- Grupo ETC. (2020). *Tecno-fusiones comestibles. Mapa del poder corporativo en la cadena alimentaria. Informe producido en noviembre de 2019*. Ciudad de

México. Recuperado en julio. Retrieved from https://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/files/0_etc_platetechnics-26_oct-4web.pdf

Gupta, G., Panwar, J., Akhtar, M. S., & Jha, P. N. (2012). *Endophytic nitrogen-fixing bacteria as biofertilizer*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5449-2_8

Hallmann, J., Quadt-Hallmann, A., Mahaffee, W. F., & Kloepper, J. W. (2011). Bacterial endophytes in agricultural crops. *https://doi.org/10.1139/M97-131*, 43(10), 895–914. <https://doi.org/10.1139/M97-131>

Hamilton, C. E., Bever, J. D., Labbé, J., Yang, X., & Yin, H. (2016). Mitigating climate change through managing constructed-microbial communities in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 216, 304–308. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.10.006>

Hao, W., Li, H., Hu, M., Yang, L., & Rizwan-ul-Haq, M. (2011). Integrated control of citrus green and blue mold and sour rot by *Bacillus amyloliquefaciens* in combination with tea saponin. *Postharvest Biology and Technology*, 59(3), 316–323. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2010.10.002>

Harwood, J. (2019). Could the adverse consequences of the green revolution have been foreseen? How experts responded to unwelcome evidence. *https://doi.org/10.1080/21683565.2019.1644411*, 44(4), 509–535. <https://doi.org/10.1080/21683565.2019.1644411>

Herrero, M., Thornton, P. K., Mason-D'Croz, D., Palmer, J., Benton, T. G., Bodirsky, B. L., ... West, P. C. (2020). Innovation can accelerate the transition towards a sustainable food system. *Nature Food* 2020 1:5, 1(5), 266–272. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0074-1>

Hijri, M. (2016). Analysis of a large dataset of mycorrhiza inoculation field trials on potato shows highly significant increases in yield. *Mycorrhiza*, 26(3), 209–

214. <https://doi.org/10.1007/S00572-015-0661-4/TABLES/1>

Howard, P. H. (2021). *Concentration and power in the food system: Who controls what we eat?* Bloomsbury Publishing.

Huang, J., Li, Y. feng, Ma, Y. ying, Li, Y. sheng, Jin, J., & Lian, T. xiang. (2022). The rhizospheric microbiome becomes more diverse with maize domestication and genetic improvement. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(4), 1188–1202. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63633-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63633-X)

Hugenholtz, P., & Tyson, G. W. (2008, September 24). Microbiology: Metagenomics. *Nature*, Vol. 455, pp. 481–483. Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/455481a>

Hussain, S. S. (2019). Microbe-mediated tolerance in plants against biotic and abiotic stresses. *Microbial Interventions in Agriculture and Environment: Volume 1: Research Trends, Priorities and Prospects*, 173–217. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8391-5_7/COVER/

Huttenhower, C., Gevers, D., Knight, R., Abubucker, S., Badger, J. H., Chinwalla, A. T., ... White, O. (2012). Structure, function and diversity of the healthy human microbiome. *Nature*, 486(7402), 207. <https://doi.org/10.1038/NATURE11234>

Iansiti, M., Toffel, M. W., & Barnett, J. Indigo agriculture: Harnessing nature. , Case 9-620 Harvard Business School 1–29 (2019).

Iansiti, M., Toffel, M. W., & Snively, C. (2018). Indigo Agriculture. *Harvard Business School, Case 9-617*, 1–30.

Imran, & Amanullah. (2022). Soybean quality and profitability improved with peach (*Prunus persica* L) remnants, phosphorus and beneficial microbes. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2068438>.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2068438>

Indigo agriculture. (2020, September 2). Indigo Ag appoints Ron Hovsepian as CEO. Retrieved June 6, 2022, from Press release website: <https://www.indigoag.com/pages/news/indigo-ag-appoints-ron-hovsepian-as-ceo>

Indigo Agriculture. (2017a). Grain Craft & Indigo announce consumer-driven supply agreement for one million bushels of identity reserved wheat. Retrieved July 20, 2021, from News Indigo website: [indigoag.com/pages/news/grain-craft-indigo-supply-agreement](https://www.indigoag.com/pages/news/grain-craft-indigo-supply-agreement)

Indigo Agriculture. (2017b). Indigo launches Indigo Research Partners, an innovative platform designed to evaluate and accelerate adoption of new technologies in agriculture. Retrieved July 20, 2021, from News Indigo website: <https://www.indigoag.com/pages/news/2017/indigo-launches-indigo-partners-tm-an-innovative-platform-designed-to-evaluate-and-accelerate-adoption-of-new-technologies-in-agriculture>

Indigo Agriculture. (2017c, January 9). Indigo's preliminary commercial data demonstrate significant yield gains for growers with plant microbiome product. Retrieved August 29, 2021, from News Indigo website: <https://www.indigoag.com/pages/news/2017/indigos-preliminary-commercial-data-demonstrate-significant-yield-gains-for-growers-with-plant-microbiome-product>

Indigo Agriculture. (2017d, August 29). Indigo announces significant yield gains in winter wheat and offers a price premium for US wheat growers to grow Indigo Wheat™. Retrieved August 30, 2021, from News Indigo website: <https://www.indigoag.com/pages/news/press-release-indigo-wheat>

Indigo Agriculture. (2017e, November 20). Indigo corn™ demonstrates significant yield gains on farms experiencing severe water stress. Retrieved August 30, 2021, from News Indigo website: <https://www.indigoag.com/pages/news/indigo-corn-demonstrates->

significant-yield-gains-on-farms-experiencing-severe-water-stress

Indigo Agriculture. (2018a). Indigo Agriculture raises an additional \$250M and launches digital grain Marketplace. Retrieved July 20, 2021, from News Indigo website: <https://www.indigoag.com/pages/news/indigo-raises-250m-and-launches-digital-marketplace>

Indigo Agriculture. (2018b, March 13). Indigo Cotton™ demonstrates continuous improvement with significant yield gains in second commercial season. Retrieved August 30, 2021, from News Indigo website: <https://www.indigoag.com/pages/news/indigo-cotton-demonstrates-continuous-improvement>

Indigo Agriculture. (2018c, March 20). Indigo receives first organic certification for microbial seed treatment. Retrieved August 29, 2021, from News Indigo website: <https://www.indigoag.com/pages/news/organic-certification-corn>

Indigo Agriculture. (2018d, May 31). Indigo announces partnership with the better cotton initiative, demonstrating commitment to high standards of sustainability in fiber production. Retrieved July 22, 2021, from News Indigo website: <https://www.indigoag.com/pages/news/indigo-partners-with-the-better-cotton-initiative>

Indigo Agriculture. (2018e, August 10). Indigo Wheat™ demonstrates continuous improvement with significant yield gains in second commercial season. Retrieved August 30, 2021, from News Indigo website: <https://www.indigoag.com/pages/news/indigo-wheat-demonstrates-continuous-improvement-with-significant-yield-gains>

Indigo Agriculture. (2019a, February 14). 2018 Indigo corn™ demonstrates yield improvement across 48,000 acres in the U.S. Retrieved August 30, 2021, from 2019 website: <https://www.indigoag.com/pages/news/indigo-corn-demonstrates-yield-improvement-across-48000-us-acres>

- Indigo Agriculture. (2019b, October 10). Ahead of WASDE report, Indigo reports october corn and soybean product forecast. Retrieved August 30, 2021, from News Indigo website: <https://www.indigoag.com/pages/news/ahead-of-wasde-report-indigo-reports-october-corn-and-soybean-product-forecast>
- Indigo Agriculture. (2021a). Indigo Carbon for farmers. Retrieved July 18, 2021, from <https://www.indigoag.com/carbon/for-farmers#what-is>
- Indigo Agriculture. (2021b). Indigo Marketplace for farmers. Retrieved July 18, 2021, from <https://www.indigoag.com/marketplace/for-farmers>
- Indigo Agriculture. (2021c). Indigo Transport for farmers. Retrieved July 18, 2021, from <https://www.indigoag.com/for-farmers/indigo-transport>
- Indigo Agriculture. (2021d, February 8). Maple Leaf Foods, The North Face, Cool Effect, Epiphany Craft Malt join effort to support farmers addressing climate change with Indigo Carbon. Retrieved July 22, 2021, from News Indigo website: <https://www.indigoag.com/pages/news/companies-support-farmers-with-indigo-carbon>
- Ingenbleek, P. T. M. (2015). Price strategies for sustainable food products. *British Food Journal*, 117(2), 915–928. <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2014-0066/FULL/XML>
- Ingram, T. (2014). Association for Molecular Pathology v. Myriad Genetics, Inc.: the product of nature doctrine revisited. *Berkeley Tech. LJ*, 29, 385.
- Ioannou, L. (2019, June 12). This is a \$15 trillion opportunity for farmers to fight climate change. Retrieved July 22, 2021, from CNBC website: <https://www.cnbc.com/2019/06/11/this-is-a-15-trillion-opportunity-for-farmers-to-fight-climate-change.html>
- IPCC. (2019). Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management,

food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. In P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendía, V. Masson-Delmotte, H. Portner, D. Roberts, ... J. Malley (Eds.), *Research Handbook on Climate Change and Agricultural Law*.

IPES-Food, & Grupo ETC. (2021). *Un movimiento de largo plazo por la alimentación: Transformar los sistemas alimentarios para 2045*. Retrieved from www.inboca.es

IPES-Food, & Mooney, P. (2017). Too big to feed. *Health Management Technology*, 30(11), 89–104. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cin20&AN=105242899&site=ehost-live>

Jackman, P., & Gaszner, M. (2018). Patenting the plant microbiome. *Industrial Biotechnology*, 14(3), 123–125.

Jetiyanon, K., Wittaya-Areekul, S., Plianbangchang, P., & Lohitnavy, O. (2017). “Rhizoproduct”, a biofertilizer containing spores of *Bacillus cereus* strain RS87 for early rice seedling enhancement and with potential for partial fertilizer substitution. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 39(1), 109–116. <https://doi.org/10.14456/SJST-PSU.2017.12>

Kaakoush, N. O. (2020). Fecal transplants as a microbiome-based therapeutic. *Current Opinion in Microbiology*, 56, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2020.05.008>

Kaminsky, L. M., Trexler, R. V., Malik, R. J., Hockett, K. L., & Bell, T. H. (2019). The inherent conflicts in developing soil microbial inoculants. *Trends in Biotechnology*, 37(2), 140–151. <https://doi.org/10.1016/J.TIBTECH.2018.11.011>

Kashyap, P. L., Srivastava, A. K., Tiwari, S. P., & Kumar, S. (2018). *Microbes for climate resilient agriculture*. John Wiley & Sons.

- Katiyar, V., & Goel, R. (2004). Siderophore mediated plant growth promotion at low temperature by mutant of fluorescent pseudomonad*. *Plant Growth Regulation* 2004 42:3, 42(3), 239–244. <https://doi.org/10.1023/B:GROW.0000026477.10681.D2>
- Ke, J., Wang, B., & Yoshikuni, Y. (2021). Microbiome engineering: synthetic biology of plant-associated microbiomes in sustainable agriculture. *Trends in Biotechnology*, 39(3), 244–261. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.07.008>
- Kevles, D. J. (1994). Ananda Chakrabarty wins a patent: biotechnology, law, and society, 1972-1980. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 25(1), 111–135.
- Khan, L. M. (2016). Amazon's antitrust paradox. *Yale LJ*, 126, 710.
- Kierul, K., Voigt, B., Albrecht, D., Chen, X. H., Carvalhais, L. C., & Borriss, R. (2015). Influence of root exudates on the extracellular proteome of the plant growth-promoting bacterium bacillus amyloliquefaciens FZB42. *Microbiology (United Kingdom)*, 161(1), 131–147. <https://doi.org/10.1099/mic.0.083576-0>
- Kim, W. C., & Mauborgne, R. (2005). *La estrategia del oceano azul* (H. B. S. Press, Ed.). Bogotá, Colombia: Grupo editorial Norma.
- Knight, R., Vrbanc, A., Taylor, B. C., Aksenov, A., Callewaert, C., Debelius, J., ... Dorrestein, P. C. (2018). Best practices for analysing microbiomes. *Nature Reviews Microbiology*, 16(7), 410–422. <https://doi.org/10.1038/s41579-018-0029-9>
- Köhl, J., Kolnaar, R., & Ravensberg, W. J. (2019). Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. *Frontiers in Plant Science*, 845.
- Kour, D., Lata Rana, K., Nath Yadav, A., Yadav, N., Kumar, V., Kumar, A., ... Saxena, A. K. (2019). Drought-tolerant phosphorus-solubilizing microbes:

biodiversity and biotechnological applications for alleviation of drought stress in plants. *Microorganisms for Sustainability*, 12, 255–308. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6536-2_13

Kour, D., Rana, K. L., Kaur, T., Yadav, N., Halder, S. K., Yadav, A. N., ... Saxena, A. K. (2020). Potassium solubilizing and mobilizing microbes: Biodiversity, mechanisms of solubilization, and biotechnological implication for alleviations of abiotic stress. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Trends of Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture and Biomedicine Systems: Diversity and Functional Perspectives*, 177–202. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820526-6.00012-9>

KPMG. (1999). *Mergers & acquisitions: A global research report*. Retrieved from <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/pdfiles/eqnotes/KPMGM&A.pdf>

Kumar, S., Kundu, M., Das, A., Rakshit, R., Siddiqui, M. W., & Rani, R. (2019). Substitution of mineral fertilizers with biofertilizer: an alternate to improve the growth, yield and functional biochemical properties of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) cv. Camarosa. *https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1643363*, 42(15), 1818–1837. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1643363>

Lago, N. C., Marcon, A., Ribeiro, J. L. D., de Medeiros, J. F., Brião, V. B., & Antoni, V. L. (2020). Determinant attributes and the compensatory judgement rules applied by young consumers to purchase environmentally sustainable food products. *Sustainable Production and Consumption*, 23, 256–273.

Lamboglia, R., Cardoni, A., Dameri, R. P., & Mancini, D. (2018). Business information systems in a networked, smart and open environment. *Lecture Notes in Information Systems and Organisation*, 24, 1–20. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62636-9_1

Laskar, G. (2022, February 10). Synthetic biology in consumer goods. Retrieved

August 22, 2022, from Barclays CIB website: <https://www.cib.barclays/our-insights/3-point-perspective/synthetic-biology-in-consumer-goods.html>

Lata, R. K., Divjot, K., & Nath, Y. A. (2019). Endophytic microbiomes: biodiversity, ecological significance and biotechnological applications. *Research Journal of Biotechnology*, 14(10).

LauritaThomas, & KerovuoJanne. (2018). Plant microbiome innovation: M-trophs. *Https://Home.Liebertpub.Com/Ind*, 14(3), 129–133. <https://doi.org/10.1089/IND.2018.29131.TLA>

Leach, J. E., Triplett, L. R., Argueso, C. T., & Trivedi, P. (2017). Communication in the Phytobiome. *Cell*, 169(4), 587–596. <https://doi.org/10.1016/J.CELL.2017.04.025>

Lederberg, J., & Mccray, A. (2001). Ome sweet omics-a genealogical treasury of words. *The Scientist*, 15(7), 8. Retrieved from <https://link.gale.com/apps/doc/A73535513/AONE?u=anon~982f292b&sid=googleScholar&xid=4b92e704>

Lee, H., Smith, K. G., Grimm, C. M., & Schomburg, A. (2000). Timing, order and durability of new product advantages with imitation. *Strategic Management Journal*, 21(1), 23–30.

Levy, A., Conway, J. M., Dangl, J. L., & Woyke, T. (2018). Elucidating bacterial gene functions in the plant microbiome. *Cell Host & Microbe*, 24(4), 475–485. <https://doi.org/10.1016/J.CHOM.2018.09.005>

Li, Q., Guo, R., Li, Y., Hartman, W. H., Li, S., Zhang, Z., ... Hongqing, W. (2019). Insight into the bacterial endophytic communities of peach cultivars related to crown gall disease resistance. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(9), 1–14.

Li, S., & Kallas, Z. (2021). Meta-analysis of consumers' willingness to pay for

- sustainable food products. *Appetite*, 163, 105239.
<https://doi.org/10.1016/J.APPET.2021.105239>
- Li, Z., & Zhang, H. (2000). Application of microbial fertilizers in sustainable agriculture. *Journal of Crop Production*, 3(1).
https://doi.org/10.1300/J144v03n01_28
- Lindgren, E., Harris, F., Dangour, A. D., Gasparatos, A., Hiramatsu, M., Javadi, F., ... Haines, A. (2018). Sustainable food systems—a health perspective. *Sustainability Science* 2018 13:6, 13(6), 1505–1517.
<https://doi.org/10.1007/S11625-018-0586-X>
- Lindow, S. E. (1996). Role of immigration and other processes in determining epiphytic bacterial populations. In *Aerial plant surface microbiology* (pp. 155–168). Springer.
- Lindow, S. E., & Brandl, M. T. (2003). Microbiology of the phyllosphere. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(4), 1875–1883.
- Lindsey, R., & Luann, D. (2021, March 15). Climate change: Global temperature NOAA. Retrieved November 5, 2021, from Climate. gov Science & information a climate-smart Nation website: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>
- Lindström, K., & Mousavi, S. A. (2020). Effectiveness of nitrogen fixation in rhizobia. *Microbial Biotechnology*, 13(5), 1314–1335.
<https://doi.org/10.1111/1751-7915.13517>
- Lowe, R., Shirley, N., Bleackley, M., Dolan, S., & Shafee, T. (2017). Transcriptomics technologies. *PLOS Computational Biology*, 13(5), e1005457. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PCBI.1005457>
- Lugtenberg, B. J. J., Caradus, J. R., & Johnson, L. J. (2016). Fungal endophytes for sustainable crop production. *FEMS Microbiology Ecology*, 92(12).

- Ma, X., Mau, M., & Sharbel, T. F. (2018). Genome editing for global food security. *Trends in Biotechnology*, 36(2), 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.08.004>
- Madhaiyan, M., Poonguzhali, S., Hari, K., Saravanan, V. S., & Sa, T. (2006). Influence of pesticides on the growth rate and plant-growth promoting traits of *Gluconacetobacter diazotrophicus*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 84(2), 143–154.
- Malla, M. A., Dubey, A., Kumar, A., Yadav, S., Hashem, A., & Allah, E. F. A. (2019). Exploring the human microbiome: The potential future role of next-generation sequencing in disease diagnosis and treatment. *Frontiers in Immunology*, 10(JAN), 2868. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.02868>
- Malninght, T., & Buche, I. (2022). The strategic advantage of incumbency. *Harvard Business Review*. Retrieved from <https://hbr.org/2022/01/the-strategic-advantage-of-incumbency>
- Manning, L. (2016, July 21). Indigo raises \$100m in Agtech's largest funding round, launches first seed coating product. *AgFunder News*. Retrieved from <https://agfundernews.com/indigo-raises-100m.html>
- Marrone, P. (2018). A Conversation with Pam Marrone. *Industrial Biotechnology*, 14(3), 126–128. <https://doi.org/10.1089/ind.2018.29133.pma>
- Marrone, P., & Pitts, K. (2017, August 16). Crop protection: biologicals integrated with chemicals - AFN. Retrieved August 21, 2022, from AgFunder Network Partners website: <https://agfundernews.com/crop-protection-biologicals-integrated-with-chemicals>
- Marschner, H. (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press.
- Marshall, E., & Aillery, M. (2015, November 25). USDA ERS - Climate change,

water scarcity, and adaptation. Retrieved November 5, 2021, from Economic Research Service website: <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2015/november/climate-change-water-scarcity-and-adaptation/>

Martyn-Hemphill, R. (2021, January 26). Leaps by Bayer on adopting an impact lens for corporate venturing. Retrieved August 21, 2022, from AgFunder Network Partners website: <https://agfundernews.com/leaps-by-bayer-on-pursuing-an-impact-lens-for-corporate-agtech-innovation>

Matthews, D. (2003). *Globalising intellectual property rights: the TRIPS Agreement*. Routledge.

Mays, Z. J., & Nair, N. U. (2018). Synthetic biology in probiotic lactic acid bacteria: At the frontier of living therapeutics. *Current Opinion in Biotechnology*, 53, 224–231. <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2018.01.028>

McCammon, S. L., & Mendelsohn, M. (2019). Innovation and the regulation of products of agricultural biotechnology in the United States of America. *Transgenic Research*, 28(2), 183–186. Springer.

McCoy, M. (2012). Monsanto and Alnylam join for agriculture. *Chemical & Engineering News Archive*, 90(36). Retrieved from <https://cen.acs.org/articles/90/i36/Monsanto-Alnylam-Join-Agriculture.html>

Meena, S. S., & Mohanty, A. (2020). Ethical, patent, and regulatory issues in microbial engineering. In *Engineering of Microbial Biosynthetic Pathways* (pp. 133–142). Springer.

Meena, V. S., Mishra, P. K., Bisht, J. K., & Pattanayak, A. (2017). *Agriculturally important microbes for sustainable agriculture: volume 2: applications in crop production and protection*. Springer.

Mendes, L. W., Raaijmakers, J. M., De Hollander, M., Mendes, R., & Tsai, S. M. (2018). Influence of resistance breeding in common bean on rhizosphere

- microbiome composition and function. *ISME Journal*, 12(1), 212–224.
<https://doi.org/10.1038/ismej.2017.158>
- Mishra, J., Tewari, S., Singh, S., & Arora, N. K. (2015). Biopesticides: where we stand? In *Plant microbes symbiosis: applied facets* (pp. 37–75). Springer.
- Mishra, P. K., Bisht, S. C., Ruwari, P., Selvakumar, G., Joshi, G. K., Bisht, J. K., ... Gupta, H. S. (2011). Alleviation of cold stress in inoculated wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings with psychrotolerant *Pseudomonads* from NW Himalayas. *Archives of Microbiology*, 193(7), 497–513.
<https://doi.org/10.1007/S00203-011-0693-X/FIGURES/6>
- Mobgardner, M. (2012). Syngenta to acquire Pasteuria Bioscience. *Chemical & Engineering News Archive*, 90(39). Retrieved from
<https://cen.acs.org/articles/90/i39/Syngenta-Acquire-Pasteuria-Bioscience.html>
- Mooney, P., & Grupo ETC. (2019). *La insostenible agricultura 4.0. Digitalización y poder corporativo en la cadena alimentaria*. CDMX. Retrieved from
https://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/files/la_insostenible_agricultura_4.0_web26oct.pdf
- Mueller, U. G., & Sachs, J. L. (2015). Engineering microbiomes to improve plant and animal health. *Trends in Microbiology*, 23(10), 606–617.
<https://doi.org/10.1016/J.TIM.2015.07.009>
- Mukhongo, R. W., Tumuhairwe, J. B., Ebanyat, P., AbdelGadir, A. A. H., Thuita, M., & Masso, C. (2017). Combined application of biofertilizers and inorganic nutrients improves sweet potato yields. *Frontiers in Plant Science*, 8, 219.
<https://doi.org/10.3389/FPLS.2017.00219/BIBTEX>
- Müller, D. B., Vogel, C., Bai, Y., & Vorholt, J. A. (2016). The plant microbiota: systems-level insights and perspectives. *Http://Dx.Doi.Org/10.1146/Annurev-Genet-120215-034952*, 50, 211–234.

<https://doi.org/10.1146/ANNUREV-GENET-120215-034952>

- Munda, S., Shivakumar, B. G., Rana, D. S., Gangaiah, B., Manjaiah, K. M., Dass, A., ... Lakshman, K. (2018). Inorganic phosphorus along with biofertilizers improves profitability and sustainability in soybean (*Glycine max*)–potato (*Solanum tuberosum*) cropping system. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(2), 107–113.
<https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2016.01.008>
- Naamala, J., & Smith, D. L. (2020). Relevance of plant growth promoting microorganisms and their derived compounds, in the face of climate change. *Agronomy*, 10(8), 1179.
- Nath Yadav, A., & Yadav, A. N. (2020). *Plant microbiomes for sustainable agriculture: current research and future challenges*. 475–482.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-38453-1_16
- Nautiyal, C. S., Bhadauria, S., Kumar, P., Lal, H., Mondal, R., & Verma, D. (2000). Stress induced phosphate solubilization in bacteria isolated from alkaline soils. *FEMS Microbiology Letters*, 182(2), 291–296.
<https://doi.org/10.1111/J.1574-6968.2000.TB08910.X>
- Navas-Molina, J. A., Hyde, E. R., Sanders, J. G., & Knight, R. (2017). The microbiome and big data. *Current Opinion in Systems Biology*, 4, 92–96.
<https://doi.org/10.1016/J.COISB.2017.07.003>
- Naylor, D., Sadler, N., Bhattacharjee, A., Graham, E. B., Anderton, C. R., McClure, R., ... Jansson, J. K. (2020). Soil Microbiomes Under Climate Change and Implications for Carbon Cycling. *https://doi.org/10.1146/Annurev-Environ-012320-082720*, 45, 29–59.
<https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ENVIRON-012320-082720>
- Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., ... Batka, M. (2009). *Climate change: Impact on agriculture and costs of*

adaptation (Vol. 21). Intl Food Policy Res Inst.

Nobbe, F., & Hiltner, L. U. S. (1896). Patent 570 813. *Inoculation of the Soil for Cultivating Leguminous Plants*.

Northrup, D. L., Basso, B., Wang, M. Q., Morgan, C. L. S., & Benfey, P. N. (2021). Novel technologies for emission reduction complement conservation agriculture to achieve negative emissions from row-crop production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(28), e2022666118. https://doi.org/10.1073/PNAS.2022666118/SUPPL_FILE/PNAS.2022666118.SAPP.PDF

Novozymes. (2017, January 5). The BioAg alliance advances new microbial solutions for agriculture . Retrieved July 28, 2021, from Novozymes News website: <https://www.novozymes.com/es/news/news-archive/2017/01/bioag-alliance-pipeline-2017>

O'Brien, K. (2017a). Charlestown ag-tech startup becomes “unicorn” after \$156M round. Retrieved July 20, 2021, from Boston Business Journal website: <https://www.bizjournals.com/boston/news/2017/09/26/charlestown-ag-tech-startup-becomes-unicorn-after.html>

O'Brien, P. A. (2017b). Biological control of plant diseases. *Australasian Plant Pathology*, 46(4), 293–304. <https://doi.org/10.1007/S13313-017-0481-4/TABLES/2>

OECD. (2019). *University-Industry Collaboration*. OECD. <https://doi.org/10.1787/e9c1e648-en>

Oliver, T. H., Boyd, E., Balcombe, K., Benton, T. G., Bullock, J. M., Donovan, D., ... Zaum, D. (2018). Overcoming undesirable resilience in the global food system. *Global Sustainability*, 1. <https://doi.org/10.1017/SUS.2018.9>

- Omer, M. A. B., & Noguchi, T. (2020). A conceptual framework for understanding the contribution of building materials in the achievement of Sustainable Development Goals (SDGs). *Sustainable Cities and Society*, 52, 101869. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101869>
- Omotayo, O. P., & Babalola, O. O. (2021, March 1). Resident rhizosphere microbiome's ecological dynamics and conservation: Towards achieving the envisioned Sustainable Development Goals, a review. *International Soil and Water Conservation Research*, Vol. 9, pp. 127–142. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.08.002>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). Sistemas alimentarios. Retrieved April 15, 2022, from <https://www.fao.org/food-systems/es/>
- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Generación de modelos de negocio* (John Wiley). Nueva Jersey.
- Parkin, M. (2008). *Microeconomics*. Pearson Education.
- Parnell, J. J., Berka, R., Young, H. A., Sturino, J. M., Kang, Y., Barnhart, D. M., & Dileo, M. V. (2016). From the lab to the farm: An industrial perspective of plant beneficial microorganisms. *Frontiers in Plant Science*, 7(AUG2016), 1110. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2016.01110/BIBTEX>
- Patel, R. (2013). The long green revolution. *The Journal of Peasant Studies*, 40(1), 1–63.
- Pedrolli, D. B., Ribeiro, N. V., Squizzato, P. N., de Jesus, V. N., Cozetto, D. A., Tuma, R. B., ... Cerri, M. O. (2019). Engineering microbial living therapeutics: The synthetic biology toolbox. *Trends in Biotechnology*, 37(1), 100–115. <https://doi.org/10.1016/J.TIBTECH.2018.09.005>
- Pereira, L. C., de Carvalho, C., Suzukawa, A. K., Correia, L. V., Pereira, R. C.,

- dos Santos, R. F., ... Fernandes Osipi, E. A. (2020). Toxicity of seed-applied pesticides to *Azospirillum* spp.: an approach based on bacterial count in the maize rhizosphere . *Seed Science and Technology*, 48(2). <https://doi.org/10.15258/sst.2020.48.2.11>
- Pernestål, A., Engholm, A., Bemler, M., & Gidofalvi, G. (2020). How will digitalization change road freight transport? scenarios tested in sweden. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 304, 13(1), 304. <https://doi.org/10.3390/SU13010304>
- Perry, D. (2016a). Introducing Indigo's first commercial product: Improving cotton's water use efficiency for a water constrained world. Retrieved July 20, 2021, from Blog Indigo website: <https://www.indigoag.com/blog/introducing-indigos-first-commercial-product-improving-cottons-water-use-efficiency-for-a-water-constrained-world>
- Perry, D. (2016b). Introducing Indigo. Retrieved July 20, 2021, from Blog Indigo website: <https://www.indigoag.com/blog/introducing-indigo-harnessing-the-power-of-nature-to-help-farmers-feed-the-planet>
- Perry, D. (2017a). Indigo innovation: A model of continuous improvement. Retrieved July 20, 2021, from Blog Indigo website: <https://www.indigoag.com/blog/indigo-innovation-a-model-of-continuous-improvement>
- Perry, D. (2017b). Why we launched Indigo Research Partners. Retrieved July 20, 2021, from Blog Indigo website: <https://www.indigoag.com/blog/why-we-launched-indigo-partners>
- Perry, D. (2018, September 18). Why we launched Indigo Marketplace™. Retrieved July 22, 2021, from Blog Indigo website: <https://www.indigoag.com/blog/why-we-launched-indigo-marketplace>
- Perry, D. (2019). Indigo's partnership with Anheuser-Busch: A major step towards

beneficial agriculture. Retrieved July 20, 2021, from Blog Indigo website:
<https://www.indigoag.com/blog/anheuser-busch-partnership-is-a-major-step-toward-beneficial-agriculture>

Peters, M. A. (2019). Technological unemployment: Educating for the fourth industrial revolution. In *The Chinese Dream: Educating the Future* (pp. 99–107). Routledge.

Peters, M. A., Jandrić, P., & Hayes, S. (2022). Biodigital Technologies and the Bioeconomy: The Global New Green Deal? BT - Bioinformational Philosophy and Postdigital Knowledge Ecologies. In M. A. Peters, P. Jandrić, & S. Hayes (Eds.), *Bioinformational Philosophy and Postdigital Knowledge Ecologies* (pp. 99–111). Cham: Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-95006-4_6

Philip Chen, C. L., & Zhang, C. Y. (2014). Data-intensive applications, challenges, techniques and technologies: A survey on Big Data. *Information Sciences*, 275, 314–347. <https://doi.org/10.1016/J.INS.2014.01.015>

Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P., & Van Der Putten, W. H. (2013). Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nature Reviews Microbiology* 2013 11:11, 11(11), 789–799.
<https://doi.org/10.1038/nrmicro3109>

Picón Berjoyo, A., & Barroso Castro, C. (2004). *La importancia de los costes de cambio en el comportamiento del cliente*.

Pielke, R., & Linnér, B. O. (2019). From green revolution to green evolution: A critique of the political myth of averted famine. *Minerva*, 57(3), 265–291.
<https://doi.org/10.1007/S11024-019-09372-7/FIGURES/3>

Pinski, A., Betekhtin, A., Hupert-Kocurek, K., Mur, L. A. J., & Hasterok, R. (2019). Defining the genetic basis of plant–endophytic bacteria interactions. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(8), 1947.

<https://doi.org/10.3390/ijms20081947>

- Ponta, L., Puliga, G., Manzini, R., & Cincotti, S. (2022). Sustainability-oriented innovation and co-patenting role in agri-food sector: Empirical analysis with patents. *Technological Forecasting and Social Change*, 178, 121595. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2022.121595>
- Porter, M. E. (2011). ¿Qué es estrategia? *Harvard Business Review*, 74(6), 100–117.
- Potere, D. (2019). Indigo's living map of the world's food system. Retrieved July 20, 2021, from Blog Indigo website: <https://www.indigoag.com/blog/indigo-atlas-living-map-of-the-worlds-food-system>
- Pouw, N., Bush, S., & Mangnus, E. (2019). Editorial overview: Towards an inclusive food systems approach for sustainable food and nutrition security. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 41, 93–96. <https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2019.12.003>
- Pozo, M. J., Zabalgogeazcoa, I., Vazquez de Aldana, B. R., & Martinez-Medina, A. (2021). Untapping the potential of plant mycobiomes for applications in agriculture. *Current Opinion in Plant Biology*, 60, 102034. <https://doi.org/10.1016/J.PBI.2021.102034>
- Pray, L., Forum, F., Board, N., & Practice, P. H. (2014). *Sustainable diets: Food for healthy people and a healthy planet: Workshop summary*. Washington, D.C.: National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18578>
- Proctor, L. (2019). Priorities for the next 10 years of human microbiome research. *Nature*, 569(7758), 623–625. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-01654-0>
- Qiu, Z., Egidi, E., Liu, H., Kaur, S., & Singh, B. K. (2019). New frontiers in agriculture productivity: Optimised microbial inoculants and in situ microbiome engineering. *Biotechnology Advances*, 37(6), 107371.

<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.03.010>

- Qu, Q., Zhang, Z., Peijnenburg, W. J. G. M., Liu, W., Lu, T., Hu, B., ... Qian, H. (2020, May 6). Rhizosphere microbiome assembly and its impact on plant growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 68, pp. 5024–5038. American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00073>
- Quaglietti, L., & Wheeler, C. (2022, January 11). The global economic outlook in five charts. Retrieved August 22, 2022, from World Bank Blogs website: <https://blogs.worldbank.org/voices/global-economic-outlook-five-charts-1>
- Raaijmakers, J. M., & Mazzola, M. (2016). Soil immune responses Soil microbiomes may be harnessed for plant health. *Science*, 352(6292), 1392–1393. <https://doi.org/10.1126/science.aaf3252>
- Rabie, G. H., & Almadini, A. M. (2005). Role of bioinoculants in development of salt-tolerance of *Vicia faba* plants under salinity stress. *African Journal of Biotechnology*, 4(3), 210–222.
- Ranjan, K., Bharti, M. K., Siddique, R. A., & Singh, J. (2021). Metatranscriptomics in microbiome study: a comprehensive approach. In *Microbial Metatranscriptomics Belowground* (pp. 1–36). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9758-9_1
- Rathjen, J. R., Ryder, M. H., Riley, I. T., Lai, T. V., & Denton, M. D. (2020). Impact of seed-applied pesticides on rhizobial survival and legume nodulation. *Journal of Applied Microbiology*, 129(2). <https://doi.org/10.1111/jam.14602>
- Reardon, S. (2016). White House goes big on microbiome research. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature.2016.19915>
- Reinhart, K. O., Tytgat, T., Van der Putten, W. H., & Clay, K. (2010). Virulence of soil-borne pathogens and invasion by *Prunus serotina*. *New Phytologist*, 186(2), 484–495.

- Remans, R., Croonenborghs, A., Torres Gutierrez, R., Michiels, J., & Vanderleyden, J. (2007). Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on nodulation of *Phaseolus vulgaris* L. are dependent on plant P nutrition. *New Perspectives and Approaches in Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Research*, 341–351. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6776-1_9
- ReportLinker. (2020, May). Mycorrhiza-based biofertilizer market - growth, trends, and forecast (2020 - 2025). Retrieved July 1, 2022, from Fertilizer Market Trends website: <https://www.reportlinker.com/p05903698/Mycorrhiza-based-Biofertilizer-Market-Growth-Trends-and-Forecast.html>
- Reuter, J. A., Spacek, D. V., & Snyder, M. P. (2015). High-throughput sequencing technologies. *Molecular Cell*, 58(4), 586–597. <https://doi.org/10.1016/J.MOLCEL.2015.05.004>
- Robinson, D., & Medlock, N. (2005). Diamond v. Chakrabarty: a retrospective on 25 years of biotech patents. *Intellectual Property & Technology Law Journal*, 17(10), 12–15.
- Rodrigues, E. P., Rodrigues, L. S., De Oliveira, A. L. M., Baldani, V. L. D., Teixeira, K. R. D. S., Urquiaga, S., & Reis, V. M. (2008). *Azospirillum amazonense* inoculation: Effects on growth, yield and N₂ fixation of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant and Soil*, 302(1–2), 249–261. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9476-1>
- Rodrigues, T. F., Bender, F. R., Sanzovo, A. W. S., Ferreira, E., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2020). Impact of pesticides in properties of *Bradyrhizobium* spp. and in the symbiotic performance with soybean. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36(11). <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02949-5>
- Rodriguez, R., & Durán, P. (2020). Natural holobiome engineering by using native extreme microbiome to counteract the climate change effects. *Frontiers in*

Bioengineering and Biotechnology, 8(568).
<https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00568>

Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations* (5th ed.). Mexico: Simon and Schuster. Retrieved from
https://books.google.com/books/about/Diffusion_of_Innovations_5th_Edition.html?hl=es&id=9U1K5LjUOwEC

Rolfe, S. A., Griffiths, J., & Ton, J. (2019). Crying out for help with root exudates: adaptive mechanisms by which stressed plants assemble health-promoting soil microbiomes. *Current Opinion in Microbiology*, 49, 73–82.
<https://doi.org/10.1016/J.MIB.2019.10.003>

Romo-Lozano, J. L., Montejó, D. A., & Valdés, E. (2021). *Analysis and prioritization of production systems associated with coffee and avocado*. 12(3), 525–539.

Rosenzweig, C., Mbow, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., Krishnapillai, M., ... Portugal-Pereira, J. (2020). Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nature Food* 2020 1:2, 1(2), 94–97. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0031-z>

Rossmann, M., Sarango-Flores, S. W., Chiamonte, J. B., Kmit, M. C. P., & Mendes, R. (2017). Plant microbiome: Composition and functions in plant compartments. In *The Brazilian Microbiome: Current Status and Perspectives* (pp. 7–20). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-59997-7_2

Sabatier, V., Craig-Kennard, A., & Mangematin, V. (2012). When technological discontinuities and disruptive business models challenge dominant industry logics: Insights from the drugs industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(5), 949–962. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2011.12.007>

Saikkonen, K., Nissinen, R., & Helander, M. (2020). Toward comprehensive plant

microbiome research. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 0, 61.
<https://doi.org/10.3389/FEVO.2020.00061>

Sainio, L.-M. (2004). A framework for analysing the effects of new, potentially disruptive technology on a business model case ? Bluetooth. *International Journal of Electronic Business*, 2(3), 255.
<https://doi.org/10.1504/IJEB.2004.005141>

Salisu, I. B., Shahid, A. A., Yaqoob, A., Ali, Q., Bajwa, K. S., Rao, A. Q., & Husnain, T. (2017). Molecular approaches for high throughput detection and quantification of genetically modified crops: A review. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1670. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2017.01670/BIBTEX>

Santos, L. F., & Olivares, F. L. (2021). Plant microbiome structure and benefits for sustainable agriculture. *Current Plant Biology*, 26, 100198.
<https://doi.org/10.1016/J.CPB.2021.100198>

Santos, M., Rodrigues, T., Ferreira, E., Megias, M., Nogueira, M., & Hungria, M. (2020). Method for recovering and counting viable cells from maize seeds inoculated with azospirillum brasilense. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 14(1), 195–204. <https://doi.org/10.22207/JPAM.14.1.21>

Santos, Mariana S., Rondina, A. B. L., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2020). Compatibility of Azospirillum brasilense with pesticides used for treatment of maize seeds. *International Journal of Microbiology*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8833879>

Santos, Mariana Sanches, Rodrigues, T. F., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2021a). The challenge of combining high yields with environmentally friendly bioproducts: A review on the compatibility of pesticides with microbial inoculants. *Agronomy* 2021, Vol. 11, Page 870, 11(5), 870.
<https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11050870>

Santos, Mariana Sanches, Rodrigues, T. F., Nogueira, M. A., & Hungria, M.

(2021b). The challenge of combining high yields with environmentally friendly bioproducts: A review on the compatibility of pesticides with microbial inoculants. *Agronomy*, 11(5), 870.

Santoyo, G. (2021). How plants recruit their microbiome? New insights into beneficial interactions. *Journal of Advanced Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.11.020>

Sarpong, C. K., Zhang, X., Wang, Q., Wang, W., Jamali, Z. H., Yong, T., ... Song, C. (2021). Improvement of plant microbiome using inoculants for agricultural production: A sustainable approach for reducing fertilizer application. *Canadian Journal of Soil Science*, Vol. 101, pp. 1–11. Agricultural Institute of Canada. <https://doi.org/10.1139/cjss-2019-0146>

Savin, I., Chukavina, K., & Pushkarev, A. (2022). Topic-based classification and identification of global trends for startup companies. *Small Business Economics*, 1–31. <https://doi.org/10.1007/S11187-022-00609-6/TABLES/5>

Schiavi, G. S., & Behr, A. (2018). Emerging technologies and new business models: a review on disruptive business models. *Innovation & Management Review*, 15(4), 338–355. <https://doi.org/10.1108/INMR-03-2018-0013/FULL/PDF>

Schlaeppli, K., & Bulgarelli, D. (2015, February 13). The plant microbiome at work. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, Vol. 28, pp. 212–217. The American Phytopathological Society. <https://doi.org/10.1094/MPMI-10-14-0334-FI>

Schmidt, J. E., Kent, A. D., Brisson, V. L., & Gaudin, A. C. M. (2019). Agricultural management and plant selection interactively affect rhizosphere microbial community structure and nitrogen cycling. *Microbiome*, 7(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/S40168-019-0756-9/FIGURES/6>

Schulz, B. J., Rabsch, L., & Junker, C. (2019). Chemical warfare in the plant microbiome leads to a balance of antagonisms and a healthy plant. In S. K.

- Verma & J. F. J. White (Eds.), *Seed Endophytes: Biology and Biotechnology* (pp. 171–189). https://doi.org/10.1007/978-3-030-10504-4_9
- Scott, A. (2015). DSM, Syngenta agree to microbial R&D Pact. *Chemical & Engineering News Archive*, 93(45). Retrieved from <https://cen.acs.org/articles/93/i45/DSM-Syngenta-Agree-Microbial-RD.html>
- Sekar, S., & Kandavel, D. (2002). Patenting microorganisms: towards creating a policy framework. *Journal of Intellectual Property Rights*, 7, 211–221.
- Sessitsch, A., Hardoim, P., Döring, J., Weilharter, A., Krause, A., Woyke, T., ... Reinhold-Hurek, B. (2012). Functional characteristics of an endophyte community colonizing rice roots as revealed by metagenomic analysis. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 25(1), 28–36. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-11-0204>
- Sessitsch, Angela, Brader, G., Pfaffenbichler, N., Gusenbauer, D., & Mitter, B. (2018). The contribution of plant microbiota to economy growth. *Microbial Biotechnology*, 11(5), 801.
- Sessitsch, Angela, & Mitter, B. (2015). 21st century agriculture: Integration of plant microbiomes for improved crop production and food security. *Microbial Biotechnology*, 8(1), 32–33. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12180>
- Sharma, B., Singh, B. N., Dwivedi, P., & Rajawat, M. V. S. (2022). Interference of climate change on plant-microbe interaction: present and future prospects. *Frontiers in Agronomy*, 3, 113. <https://doi.org/10.3389/FAGRO.2021.725804/BIBTEX>
- Shi, S., Richardson, A. E., O'Callaghan, M., DeAngelis, K. M., Jones, E. E., Stewart, A., ... Condon, L. M. (2011). Effects of selected root exudate components on soil bacterial communities. *FEMS Microbiology Ecology*, 77(3), 600–610.

- Singh, A., Agrawal, M., & Marshall, F. M. (2010). The role of organic vs. inorganic fertilizers in reducing phytoavailability of heavy metals in a wastewater-irrigated area. *Ecological Engineering*, 36(12), 1733–1740.
- Singh, Brajesh K., & Trivedi, P. (2017). Microbiome and the future for food and nutrient security. *Microbial Biotechnology*, 10(1), 50–53. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12592>
- Singh, Brajesh Kumar. (2010). Exploring microbial diversity for biotechnology: the way forward. *Trends in Biotechnology*, 28(3), 111–116.
- Singh, R., & Singh, G. S. (2017). Traditional agriculture: a climate-smart approach for sustainable food production. *Energy, Ecology and Environment*, 2(5), 296–316. <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0074-7>
- Singhalage, I. D., Seneviratne, G., Madawala, H. M. S. P., & Wijepala, P. C. (2019). Profitability of strawberry (*Fragaria ananassa*) production with biofilmed biofertilizer application. *Scientia Horticulturae*, 243, 411–413. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2018.08.033>
- Smyth, S. J., Macall, D. M., Phillips, P. W. B., & de Beer, J. (2020). Implications of biological information digitization: Access and benefit sharing of plant genetic resources. *The Journal of World Intellectual Property*, 23(3–4), 267–287. <https://doi.org/10.1111/JWIP.12151>
- Soumare, A., Diedhiou, A. G., Thuita, M., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., Gopalakrishnan, S., & Kouisni, L. (2020). Exploiting biological nitrogen fixation: A route towards a sustainable agriculture. *Plants* 2020, Vol. 9, Page 1011, 9(8), 1011. <https://doi.org/10.3390/PLANTS9081011>
- Spiertz, J. H. J. (2009). Nitrogen, sustainable agriculture and food security: A review. *Sustainable Agriculture*, 635–651. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_39

- Srivastava, S., & Adholeya, A. (2019). Intellectual property: data mapping in the area of biofertilizers. In *Intellectual Property Issues in Microbiology* (pp. 193–221). Springer.
- Srivastava, S., Johny, L., & Adholeya, A. (2021). Review of patents for agricultural use of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 31(2), 127–136. <https://doi.org/10.1007/s00572-021-01020-x>
- Srour, A. Y., Ammar, H. A., Subedi, A., Pimentel, M., Cook, R. L., Bond, J., & Fakhoury, A. M. (2020). Microbial communities associated with long-term tillage and fertility treatments in a corn-soybean cropping system. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1363. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2020.01363/BIBTEX>
- StartupBlink. (2022). *Global Startup Ecosystem Index*. Retrieved from <https://www.startupblink.com/startupecosystemreport>
- Statista. (2016). Eco-friendly actions among U.S. adults by age group 2016 | Statista. Retrieved March 28, 2022, from <https://www.statista.com/statistics/551177/sustainable-actions-among-americans-by-age-group/>
- Stegen, J. C., Bottos, E. M., & Jansson, J. K. (2018). A unified conceptual framework for prediction and control of microbiomes. *Current Opinion in Microbiology*, 44, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2018.06.002>
- Steven McMillan, G., Mauri, A., & Halmilton III, R. D. (2003). The impact of publishing and patenting activities on new product development and firm performance: The case of the US pharmaceutical industry. *International Journal of Innovation Management*, 7(02), 213–221.
- Su, C.-H., Tsai, C.-H., Chen, M.-H., & Lv, W. Q. (2019). US sustainable food market generation Z consumer segments. *Sustainability*, 11(13), 3607.

- Sustainable Brands. (2019, June 13). Indigo to remove 1 'Terraton' CO₂ from atmosphere through regenerative farming . Retrieved June 7, 2022, from <https://sustainablebrands.com/read/defining-the-next-economy/indigo-to-remove-1-terraton-co2-from-atmosphere-through-regenerative-farming>
- Syngenta. (2020). Syngenta adquiere la compañía de biológicos Valagro | Syngenta. Retrieved November 19, 2021, from Noticias website: <https://www.syngenta.com.mx/news/noticias/syngenta-adquiere-la-compania-de-biologicos-valagro>
- Tait, J., & Wield, D. (2021). Policy support for disruptive innovation in the life sciences. *Technology Analysis & Strategic Management*, 33(3), 307–319. <https://doi.org/10.1080/09537325.2019.1631449>
- Tao, R., Wakelin, S. A., Liang, Y., & Chu, G. X. (2017). Organic fertilization enhances cotton productivity, nitrogen use efficiency, and soil nitrogen fertility under drip irrigated field. *Agronomy Journal*, 109(6), 2889–2897. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2017.01.0054>
- Thapa, S., & Prasanna, R. (2018). Prospecting the characteristics and significance of the phyllosphere microbiome. *Annals of Microbiology*, 68(5), 229–245.
- Thiele, I., Heinken, A., & Fleming, R. M. T. (2013). A systems biology approach to studying the role of microbes in human health. *Current Opinion in Biotechnology*, 24(1), 4–12. <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2012.10.001>
- Thijs, S., Sillen, W., Weyens, N., & Vangronsveld, J. (2017). Phytoremediation: State-of-the-art and a key role for the plant microbiome in future trends and research prospects. *International Journal of Phytoremediation*, 19(1), 23–38. <https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1216076>
- Thomas, L., & Singh, I. (2019). Microbial Biofertilizers: Types and Applications. In B. Giri, R. Prasad, Q.-S. Wu, & A. Varma (Eds.), *Biofertilizers for Sustainable*

Agriculture and Environment (pp. 1–19). Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4_1

Tian, Q., Zhang, S., Yu, H., & Cao, G. (2019). Exploring the factors influencing business model innovation using grounded theory: The case of a Chinese high-end equipment manufacturer. *Sustainability (Switzerland)*, 11(5).
<https://doi.org/10.3390/su11051455>

Timmis, K., de Vos, W. M., Ramos, J. L., Vlaeminck, S. E., Prieto, A., Danchin, A., ... Singh, B. K. (2017). The contribution of microbial biotechnology to sustainable development goals. *Microbial Biotechnology*, 10(5), 984–987.
<https://doi.org/10.1111/1751-7915.12818>

Trebilcock, P., & Aldunate, F. (2022, February 1). La red social que apunta a ser el mayor centro de investigación de bioinsumos del planeta 1. Retrieved August 22, 2022, from Biologicals Latam by Redagrícola website:
<https://biologicalslatam.com/issue-01/la-red-social-que-podria-convertirse-en-el-mayor-centro-de-investigacion-de-bioinsumos-del-planeta/>

Trivedi, P., Batista, B. D., Bazany, K. E., & Singh, B. K. (2022). Plant–microbiome interactions under a changing world: responses, consequences and perspectives. *New Phytologist*. <https://doi.org/10.1111/NPH.18016>

Trivedi, P., Schenk, P. M., Wallenstein, M. D., & Singh, B. K. (2017). Tiny Microbes, Big Yields: enhancing food crop production with biological solutions. *Microbial Biotechnology*, 10(5), 999–1003.
<https://doi.org/10.1111/1751-7915.12804>

Turner, T. R., James, E. K., & Poole, P. S. (2013). The plant microbiome. *Genome Biology*, 14(6), 1–10. <https://doi.org/10.1186/gb-2013-14-6-209>

Tyers, M., & Mann, M. (2003, March 13). From genomics to proteomics. *Nature*, Vol. 422, pp. 193–197. Nature Publishing Group.
<https://doi.org/10.1038/nature01510>

- Union of Concerned Scientists. (2019, March 20). Climate Change and Agriculture, a perfect storm in farm Country . Retrieved November 5, 2021, from Reports \$ Multimedia website: <https://www.ucsusa.org/resources/climate-change-and-agriculture>
- United Nations. (2015). The 17 Goals Sustainable Development Goals. Retrieved June 28, 2022, from United Nations website: <https://sdgs.un.org/es/goals>
- Unno, Y., Okubo, K., Wasaki, J., Shinano, T., & Osaki, M. (2005). Plant growth promotion abilities and microscale bacterial dynamics in the rhizosphere of Lupin analysed by phytate utilization ability. *Environmental Microbiology*, 7(3), 396–404. <https://doi.org/10.1111/J.1462-2920.2004.00701.X>
- USPTO. (2014). Nature-Based products. Retrieved July 2, 2022, from https://www.uspto.gov/sites/default/files/documents/mdc_examples_nature-based_products.pdf
- USPTO. (2020, June 25). 2106-Patent Subject Matter Eligibility. Retrieved July 2, 2022, from https://www.uspto.gov/web/offices/pac/mpep/s2106.html#ch2100_d29a1b_139b2_397
- van Bruggen, A. H. C., Goss, E. M., Havelaar, A., van Diepeningen, A. D., Finckh, M. R., & Morris Jr, J. G. (2019). One Health-Cycling of diverse microbial communities as a connecting force for soil, plant, animal, human and ecosystem health. *Science of the Total Environment*, 664, 927–937.
- Van Zanten, H. H. E., Van Ittersum, M. K., & De Boer, I. J. M. (2019). The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Security*, 21, 18–22. <https://doi.org/10.1016/J.GFS.2019.06.003>
- Vandenkoornhuyse, P., Quaiser, A., Duhamel, M., Le Van, A., & Dufresne, A. (2015a). The importance of the microbiome of the plant holobiont. *New Phytologist*, 206(4), 1196–1206. <https://doi.org/10.1111/nph.13312>

- Vandenkoornhuyse, P., Quaiser, A., Duhamel, M., Le Van, A., & Dufresne, A. (2015b). The importance of the microbiome of the plant holobiont. *New Phytologist*, 206(4), 1196–1206. <https://doi.org/10.1111/NPH.13312>
- Vendrell-Herrero, F., Bustinza, O. F., Parry, G., & Georgantzis, N. (2017). Servitization, digitization and supply chain interdependency. *Industrial Marketing Management*, 60, 69–81. <https://doi.org/10.1016/J.INDMARMAN.2016.06.013>
- Verbruggen, E., Veresoglou, S. D., Anderson, I. C., Caruso, T., Hammer, E. C., Kohler, J., & Rillig, M. C. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi- short-term liability but long-term benefits for soil carbon storage? *The New Phytologist*, 197(2), 366–368. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/newphytologist.197.2.366>
- Verma, J. P. (2018). Functional importance of the plant microbiome: Implications for agriculture, forestry and bioenergy: A book review. *Journal of Cleaner Production*, 178, 877–879. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.043>
- Verma, N., & Bhardwaj, A. (2015). Biosensor technology for pesticides—A review. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 175(6), 3093–3119. <https://doi.org/10.1007/S12010-015-1489-2/FIGURES/6>
- Verma, P., Yadav, A. N., Kumar, V., Singh, D. P., & Saxena, A. K. (2017). Beneficial plant-microbes interactions: Biodiversity of microbes from diverse extreme environments and its impact for crop improvement. *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives*, 2, 543–580. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6593-4_22/TABLES/3
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571–586.
- Vorholt, J. A., Vogel, C., Carlström, C. I., & Müller, D. B. (2017). Establishing causality: opportunities of synthetic communities for plant microbiome

research. *Cell Host & Microbe*, 22(2), 142–155.
<https://doi.org/10.1016/J.CHOM.2017.07.004>

Wang, S., O'Brien, T. R., Pava-Ripoll, M., & St Leger, R. J. (2011). Local adaptation of an introduced transgenic insect fungal pathogen due to new beneficial mutations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(51), 20449–20454.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1113824108>

White House. (2016, May 13). Announcing the national microbiome initiative. Retrieved June 30, 2022, from White House President Barack Obama website:
<https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2016/05/13/announcing-national-microbiome-initiative>

Willemstein, L., van der Valk, T., & Meeus, M. T. H. (2007). Dynamics in business models: An empirical analysis of medical biotechnology firms in the Netherlands. *Technovation*, 27(4), 221–232.
<https://doi.org/10.1016/J.TECHNOVATION.2006.08.005>

Wirtz, B. W., Pistoia, A., Ullrich, S., & Göttel, V. (2016). Business Models: origin, development and future research perspectives. *Long Range Planning*, 49(1), 36–54. <https://doi.org/10.1016/J.LRP.2015.04.001>

World Bank. (2020). Global Economic Prospects, June 2020. *Global Economic Prospects, June 2020*. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1553-9>

World Bank. (2021, June). Updated estimates of the impact of COVID-19 on global poverty: Turning the corner on the pandemic in 2021? Retrieved January 25, 2022, from World Bank Blogs website:
<https://blogs.worldbank.org/opendata/updated-estimates-impact-covid-19-global-poverty-turning-corner-pandemic-2021>

World Intellectual Property Organization. (1978). World intellectual property

organization: budapest treaty on the international recognition of the deposit of microorganisms for the purposes of patent Procedure. *International Legal Materials*, 17(2), 285–311. <https://doi.org/10.1017/s0020782900045046>

World Intellectual Property Organization. (2022). Patents. Retrieved June 30, 2022, from <https://www.wipo.int/patents/en/>

Wrzaszcz, W., & Prandecki, K. (2020). Agriculture and the european green deal. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej/Problems of Agricultural Economics*, (4).

Xie, K., Guo, L., Bai, Y., Liu, W., Yan, J., & Bucher, M. (2019). Microbiomics and plant health: an interdisciplinary and international workshop on the plant microbiome. *Molecular Plant*, 12(1). <https://doi.org/10.1016/j.molp.2018.11.004>

Xu, L., Dong, Z., Chiniquy, D., Pierroz, G., Deng, S., Gao, C., ... Coleman-Derr, D. (2021). Genome-resolved metagenomics reveals role of iron metabolism in drought-induced rhizosphere microbiome dynamics. *Nature Communications* 2021 12:1, 12(1), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23553-7>

Yadav, A. N. (2017). Extreme cold environments: A suitable niche for selection of novel psychrotrophic microbes for biotechnological applications. *Advances in Biotechnology & Microbiology*, 2(2). <https://doi.org/10.19080/aibm.2017.02.555584>

Yadav, S., Kaushik, R., Saxena, A. K., & Arora, D. K. (2011). Diversity and phylogeny of plant growth-promoting bacilli from moderately acidic soil. *Journal of Basic Microbiology*, 51(1), 98–106. <https://doi.org/10.1002/JOBM.201000098>

Yoo, Y., Boland, R. J., Lyytinen, K., & Majchrzak, A. (2012). Organizing for innovation in the digitized world. *Organization Science*, 23(5), 1398–1408. <https://doi.org/10.1287/orsc.1120.0771>

- Zamore, P. D., Tuschl, T., Sharp, P. A., & Bartel, D. P. (2000). RNAi: Double-stranded RNA directs the ATP-dependent cleavage of mRNA at 21 to 23 nucleotide intervals. *Cell*, 101(1), 25–33. [https://doi.org/10.1016/s0092-8674\(00\)80620-0](https://doi.org/10.1016/s0092-8674(00)80620-0)
- Żbikowski, K., & Antosiuk, P. (2021). A machine learning, bias-free approach for predicting business success using Crunchbase data. *Information Processing & Management*, 58(4), 102555. <https://doi.org/10.1016/J.IPM.2021.102555>
- Zhang, H., Sun, X., & Dai, M. (2022). Improving crop drought resistance with plant growth regulators and rhizobacteria: Mechanisms, applications, and perspectives. *Plant Communications*, 3(1), 100228. <https://doi.org/10.1016/J.XPLC.2021.100228>
- Zhang, J., Song, X., Wei, H., Zhou, W., Peng, C., & Li, D. (2021). Effect of substituting nitrogen fertilizer with nitrogen-fixing cyanobacteria on yield in a double-rice cropping system in southern China. *Journal of Applied Phycology*, 33(4), 2221–2232. <https://doi.org/10.1007/S10811-021-02455-7/FIGURES/5>
- Zhang, X., Zhou, Y., Li, Y., Fu, X., & Wang, Q. (2017). Screening and characterization of endophytic *Bacillus* for biocontrol of grapevine downy mildew. *Crop Protection*, 96, 173–179. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.02.018>
- Zhong, Y., Yan, W., & Shangguan, Z. (2015). Impact of long-term N additions upon coupling between soil microbial community structure and activity, and nutrient-use efficiencies. *Soil Biology and Biochemistry*, 91, 151–159. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2015.08.030>
- Zorner, P., Farmer, S., & Alibek, K. (2018). Quantifying crop rhizosphere microbiome ecology: the next frontier in enhancing the commercial utility of agricultural microbes. *Https://Home.Liebertpub.Com/Ind*, 14(3), 116–119.

<https://doi.org/10.1089/IND.2018.29132.PZO>