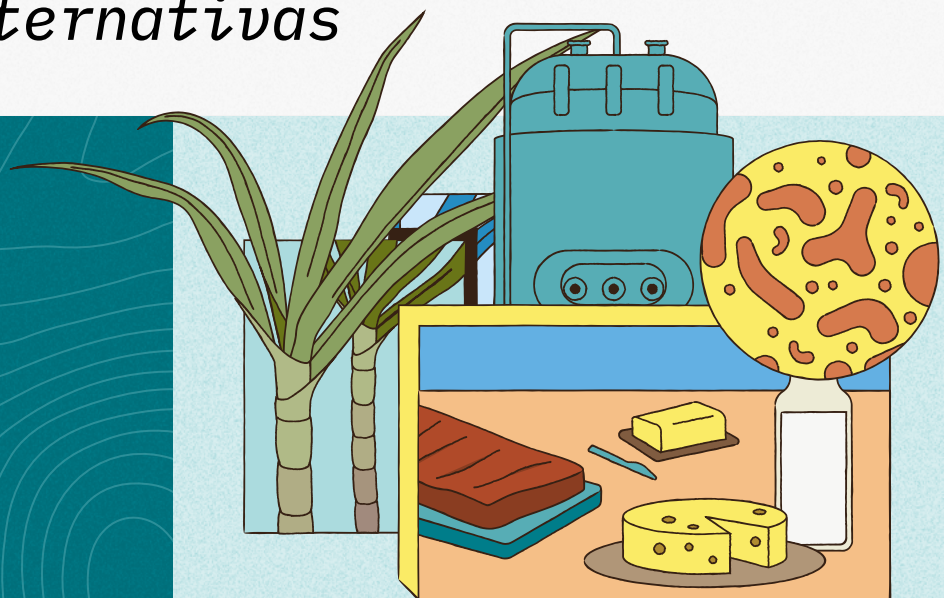




Fermentación en Brasil

El potencial de producción de proteínas alternativas

Imagen: carne vegetal análoga hecha de harina de soya fermentada - Chunk Foods.



Equipo técnico

COMISIÓN DE ESTUDIO

Marina Sucha Heidemann
Stéphanie Massaki
Maria Clara Manzoki
Nicolò Valentini

COLABORADORA

Bruna Leal Maske

COORDINACIÓN GENERAL

Germano Glufke Reis
Sérvio Túlio Prado Júnior

CONSULTORES TÉCNICOS

Carlos Ricardo Soccol
Susan Grace Karp

AUTORES

Marina Sucha Heidemann
Isabela de Oliveira Pereira
Bruna Leal Maske
Stéphanie Massaki
Maria Clara Manzoki
Nicolò Valentini
Sérvio Túlio Prado Júnior
Germano Glufke Reis
Amanda Leitolis
Cristiana Ambiel
Carlos Ricardo Soccol
Susan Grace Karp

REVISORES

Amanda Leitolis, Cristiana Ambiel,
Carlos Ricardo Soccol, Susan Grace Karp

DATOS INTERNACIONALES DE CATALOGACIÓN EN PUBLICACIÓN - CIP

H465 Heidemann, Marina Sucha e Outros
Fermentación en Brasil: el potencial de producción de proteínas alternativas / Marina Sucha Heidemann, Isabela de Oliveira Pereira, Bruna Leal Maske, Stéphanie Massaki, Maria Clara Manzoki, Nicolò Valentini, Sérvio Túlio Prado Júnior, Germano Glufke Reis, Amanda Leitolis, Cristiana Ambiel, Carlos Ricardo Soccol e Susan Grace Karp. – São Paulo: Tikibooks; The Good Food Institute Brasil, 2025.
E-Book: PDF, 52 p.; IL; Color

ISBN 978-85-66241-44-0

1. Alimentos. 2. Cadena de Producción Alimentaria. 3. Tecnología Alimentaria. 4. Innovación. 5. Fermentación. 6. Fermentación Tradicional. 7. Fermentación de Biomasa. 8. Fermentación de Precisión. 9. Tecnología de la Fermentación. 10. Microorganismos. 11. Proteínas Alternativas. 12. Productos Vegetales Análogos. 13. Bioeconomía. 14. Sostenibilidad. I. Título. II. El potencial de producción de proteínas alternativas. III. Heidemann, Marina Sucha. IV. Pereira, Isabela de Oliveira. V. Manzoki, Maria Clara. VI. Valentini, Nicolò. VII. Prado Júnior, Sérvio Túlio. VIII. Reis, Germano Glufke. IX. Leitolis, Amanda. X. Ambiel, Cristiana. XI. Soccol, Carlos Ricardo. XII. Karp, Susan Grace. XIII. IFC/Brasil.

CDU 664

CDD 664

CATALOGACIÓN PREPARADA POR REGINA SIMÃO PAULINO - CRB 6/1154

Resumen ejecutivo



Cortes enteros hechos de harina de soja fermentada - Chunk Foods.

Brasil desempeña un papel fundamental en la producción de alimentos a nivel mundial y puede participar activamente en la construcción de un sistema alimentario más sostenible. Ante la creciente demanda de alimentos y proteínas y los impactos asociados a la actual cadena de producción, como aspectos ambientales, riesgos para la salud, eficiencia productiva y uso de recursos, surge la búsqueda de fuentes alternativas de proteínas de alta calidad, que hagan la cadena de producción de alimentos más eficiente, segura y resiliente.

En este escenario, en virtud del rápido crecimiento y alta productividad de los microorganismos, la tecnología de fermentación destaca como una gran oportunidad para las industrias de alimentos que buscan satisfacer las nuevas demandas de los consumidores por productos más saludables y sostenibles. Los ingredientes producidos a partir de la fermentación pueden contribuir al desarrollo de productos de proteínas alternativas con alto contenido proteico, saludables, con mejores aspectos sensoriales, nutricionales y tecnológicos. Además, esta tecnología se puede utilizar para producir ingredientes específicos para carne cultivada, como es el caso de los medios de cultivo.

Los procesos de fermentación que implican el cultivo de microorganismos con el fin de desarrollar perfiles sensoriales o nutricionales específicos en alimentos o ingredientes se denominan fermentación tradicional.

El cultivo de microorganismos para utilizar su propia biomasa celular como fuente primaria de proteínas se conoce como fermentación de biomasa. Finalmente, la obtención de ingredientes purificados específicos, como aromas, enzimas, proteínas y grasas, para su incorporación a productos vegetales análogos o carne cultivada se denomina fermentación de precisión.

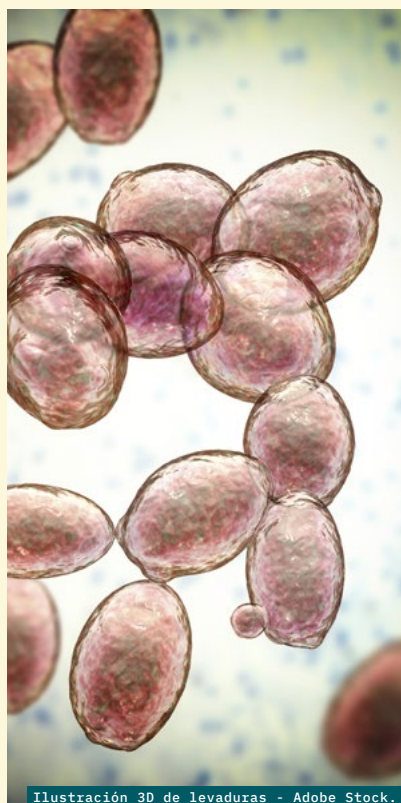


Producto hecho de micelio análogo al pescado - Aqua Cultured Foods.

El mercado global de productos alternativos derivados de la fermentación viene creciendo en los últimos años, alcanzando los 4.100 millones de dólares invertidos entre 2013-2023 (Good Food Institute, 2023). En términos de negocios ya establecidos, actualmente hay 158 *startups* que desarrollan opciones de proteínas alternativas producidas por medio de fermentación. Se pueden explorar muchas oportunidades de desarrollo en todas las etapas de la cadena de los procesos de fermentación, en especial para optimizar los procesos en su conjunto y maximizar la competitividad de los productos resultantes.

Brasil tiene potencial para liderar la producción de proteínas alternativas, alineándose con el crecimiento mundial de esta industria. El país puede participar activamente en la construcción de esta nueva cadena mediante la articulación entre *stakeholders* como instituciones de investigación e industrias, además del aprovechamiento de las fortalezas nacionales y de capacidades ya establecidas. Entre estas fortalezas se incluyen la amplia disponibilidad de materias primas para la fermentación, como, por ejemplo, caña de azúcar, maíz, residuos agroindustriales y subproductos de las industrias de alimentos y bebidas, además de la importante capacidad técnica y productiva, impulsada por las numerosas empresas que utilizan la fermentación a gran escala en los sectores alimentario, químico, de salud y de biocombustibles.

Este documento reúne un conjunto de información sobre los procesos de fermentación, sus aplicaciones en la producción de proteínas alternativas, inversiones, negocios y regulación del sector. Además, aporta resultados inéditos de un mapeo del desarrollo de la tecnología de fermentación aplicada a las proteínas alternativas en Brasil. Con base en este contenido se discuten los potenciales, desafíos, cuellos de botella y oportunidades de la producción a gran escala.



- Biodiversidad natural: cuenta con una gran diversidad de microorganismos, plantas, granos, semillas, etc., que se pueden explotar para usarse en la fermentación;
- Disponibilidad y diversidad de sustratos para usar en la fermentación;
- Las compañías de fermentación ya establecidas podrán adaptarse para la producción de proteínas;
- Potencial de cooperación entre agroindustrias y empresas de producción de proteínas mediante fermentación, recuperando los residuos para usarlos como medio de cultivo, generando una economía circular;
- Reglamentación establecida para proteínas mediante fermentación.

CUADRO 1
Beneficios y ventajas de Brasil para la producción de proteínas mediante fermentación.

Palabras clave: *fermentación tradicional; fermentación de biomasa; fermentación de precisión; alimentos; proteínas alternativas; bioeconomía; sostenibilidad.*

Siglas y abreviaturas

ACV

Análisis del Ciclo de Vida.

ANVISA

Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

ABBI

Associação Brasileira de Bioinovação.

BAL

Bacterias del Ácido Láctico.

CAPEX

Capital Expenditure o Gastos de Capital, en español.

COP

Conferencia de las Partes.

CRISPR

Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats o Conjunto de Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Interespaciadas, en español.

ADN

Ácido Desoxirribonucleico.

EMBO

European Molecular Biology Organization u Organización Europea de Biología Molecular, en español.

EMBRAPA

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

EUA

Estados Unidos de América.

GFI

Good Food Institute.

ODS

Objetivos de Desarrollo Sostenible.

OGM

Organismo Genéticamente Modificado.

pH

Potencial de Hidrógeno.

PIB

Producto Interno Bruto.

RDC

Resolución de la Dirección Colegiada.

ARN

Ácido ribonucleico.

SCO

Single-Cell Oil o aceites unicelulares.

SCP

Single-Cell Protein o proteínas unicelulares.

TEA

Techno-economic assessment, techno-economic analysis o análisis técnico-económico.

TIMP

Técnicas Innovadoras de Mejoramiento de Precisión, del inglés *Precision Breeding Innovation (PBI)*.

UN

United Nations o Naciones Unidas, en español.

Tabla de contenido

1. Introducción.....	7
1.1. El sistema alimentario y las proteínas alternativas.....	8
1.2. Contexto mercadológico nacional e internacional.....	9
2. La tecnología de fermentación y su aplicación en la producción de proteínas alternativas.....	12
2.1. Fermentación tradicional.....	13
2.2. Fermentación de biomasa.....	16
2.3. Fermentación de precisión.....	19
3. La fermentación como solución sostenible.....	25
4. Mapeo de la etapa de desarrollo de la tecnología de fermentación aplicada a las proteínas alternativas en Brasil.....	28
4.1. Panorama general y enfoque.....	29
4.2. Principales hallazgos.....	29
4.3. Oportunidades y desafíos identificados.....	33
5. Consideraciones finales.....	36
6. Glosario.....	40
7. Referencias bibliográficas.....	43

1

Introducción



Producto análogo al pollo hecho de micelio - Typcal.

1.1. El sistema alimentario y las proteínas alternativas

El aumento de la población, junto con los cambios en los estándares alimentarios y la preocupación por el calentamiento mundial, hacen que sea urgente reformular el sistema alimentario mundial. Se estima que la población mundial será de aproximadamente 9.700 millones de personas para el 2050 (Naciones Unidas, 2022), lo que resultaría en una necesidad de un aumento proporcional en la producción de alimentos de hasta un 73% para satisfacer la creciente demanda (Bonny et al., 2015). Sin embargo, también es necesario considerar el impacto ambiental de la producción de alimentos y los sistemas alimentarios, que actualmente representan casi una tercera parte de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (Food and Agriculture Organization, 2021). En Brasil, este sistema representó el 73,7% de las emisiones totales en el 2021, con una contribución mayoritaria relacionada con la producción de carne de vacuno, con el equivalente al 57,2% de las emisiones totales ([Sistema de Estimación de Emisiones y Eliminación de Gases de Efecto Invernadero, 2023](#)). Frente a estos desafíos, se hace imperativo buscar soluciones que concilien la necesidad de alimentar a la creciente población con la mitigación de los impactos ambientales asociados a la producción de alimentos.

Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para el 2030 se ha convertido en un objetivo para enfrentar el calentamiento global. Recientemente, los impactos de los sistemas alimentarios se destacaron en la COP27 y se detallaron en la evaluación global de la COP28 (Naciones Unidas, 2023). Cambiar los métodos de producción no solo optimizaría el uso de la tierra, sino que también reduciría las emisiones de gases de efecto invernadero, permitiendo el mantenimiento de los ecosistemas. En este contexto, formas alternativas de producción de alimentos más sostenibles han atraído la atención de los consumidores (Fasolin et al., 2019), impulsando innovaciones continuas en el sector de las proteínas alternativas.

Las proteínas alternativas incluyen aquellas derivadas de microorganismos, como levaduras, bacterias, microalgas y hongos filamentosos, así

como proteínas vegetales y de cultivo celular. En comparación con las proteínas convencionales, las proteínas alternativas tienen el potencial de reducir el impacto ambiental, disminuir el riesgo de zoonosis y resistencia antimicrobiana, además de contribuir al bienestar animal (Naciones Unidas, 2023b). Además, estas alternativas son capaces de aportar cantidades similares y en algunos casos incluso superiores de proteínas y nutrientes que la carne convencional. Los alimentos vegetales análogos a la carne destacan, por ejemplo, por su alto contenido en fibra en comparación con la carne convencional ([Karatay; Ambiel, 2024](#)). Si bien la soja y el trigo ya son ampliamente utilizados como fuentes de proteínas alternativas, se han explorado otros insumos para brindar una mayor diversidad de productos sustitutos de la carne, el pescado, los huevos, la leche y derivados, fabricados a base de proteínas vegetales y bioprocesos como la fermentación y el cultivo celular.

En concreto, con respecto a la fermentación, desde la antigüedad el ser humano ha aprovechado este proceso natural para elaborar una variedad de productos de mayor o menor grado de complejidad. Inicialmente, la fermentación se utilizó para conservar los alimentos durante más tiempo y mejorar su valor nutricional (Mannaa et al., 2021). Hoy en día, desempeña un papel importante en la ampliación de las opciones de productos ya conocidos, como yogures y quesos, y en la creación de nuevos alimentos, como los análogos de carne a base de micelio¹.



Análogo cárnico hecho de micelio - Nature's Fynd.

¹ Vea el recuadro "¿Qué es el micelio? ¿Y la micoproteína?"

La producción de proteína microbiana mediante procesos de fermentación surge como una solución efectiva y sostenible para satisfacer la creciente demanda de proteínas alternativas. A diferencia de la producción animal, este método ofrece un ciclo de producción más corto y continuo, sin depender en gran medida de recursos naturales como la tierra cultivable y el agua, y puede ser más resistente a eventos ambientales, como períodos de sequía (Durkin et al., 2022). Adicionalmente, es posible utilizar residuos agroindustriales como materia prima para el desarrollo de microorganismos para aumentar la eficiencia ambiental de estos procesos. Con más de 50 cepas de microorganismos ya utilizadas para alimentación, entre las que se incluyen bacterias, microalgas, hongos filamentosos y levaduras (Banks et al., 2022), la producción microbiana ofrece una amplia gama de productos, como proteínas, aminoácidos, aceites, enzimas y vitaminas, con posibilidad de escalado industrial a corto y largo plazo. Así, desde una perspectiva mercadológica, la fermentación aplicada a la producción de proteínas alternativas puede generar innumerables nuevas opciones para los consumidores —con productos sabrosos, nutritivos y sostenibles— y crear oportunidades de negocios.

1.2. Contexto mercadológico nacional e internacional

La industria de proteínas alternativas alcanzó un valor total de 59.100 millones de dólares en el 2023 (Alternative Protein Market, 2023). Las proyecciones actuales estiman que los costos de estas proteínas serán cinco veces más bajos para el 2030 y diez veces más bajos para el 2035. Estas proyecciones se basan en los avances tecnológicos y en la resolución de cuellos de botella para que en el 2030 los productos de proteínas alternativas tengan mejor calidad y cuesten menos de la mitad del costo de producción de los productos de origen animal (Tubbs; Seba, 2019). Específicamente en lo que se refiere a la fermentación, los modelos de análisis técnico-económico actuales estiman que la micoproteína, por ejemplo, puede producirse por USD 3,55/kg y un producto análogo elaborado a partir de esta micoproteína puede producirse por USD 4,03/kg, lo que indica que la alternativa compite económicamente con el precio de los cortes de carne vacuna, especialmente cuando se examinan los costos

con relación al contenido proteico. Estos análisis también resaltan el impacto de la elección del tipo de proceso e indican que el uso de fermentación continua (en oposición a un sistema por lotes) fue necesario para lograr la paridad de costos con la proteína de carne vacuna. Los autores también refuerzan que las potenciales reducciones de costos para lograr la paridad de precios con productos más baratos como el pollo, por ejemplo, pueden lograrse mediante avances en parámetros específicos del microorganismo, como el contenido de proteína, la concentración de biomasa alcanzada (g/L) y la velocidad específica de crecimiento (Risner et al, 2023).

En ese sentido, la tecnología de fermentación es una alternativa prometedora para la industria alimentaria debido a la amplia gama de insumos y a la variedad de productos que genera, desde los ya conocidos como extractos de levadura, utilizados para agregar sabor a los productos análogos de carne y quesos o para aumentar el valor nutricional de los productos (Kale; Mishra; Annapure, 2022), hasta nuevos productos como los análogos de carne y lácteos elaborados a partir de proteína microbiana.

Según el informe de GFI (Good Food Institute, 2023a), el sector de fermentación para la producción de proteínas alternativas ha recibido importantes inversiones, totalizando 515 millones de dólares en el 2023, con una inversión acumulada de 4.100 millones invertidos desde el 2014. Actualmente, 158 empresas utilizan tecnología de fermentación para producir proteínas alternativas, 80 de las cuales se dedican a la fermentación de biomasa, 73 a la fermentación de precisión, y 5 a la fermentación tradicional.

Con el fin de impulsar el desarrollo de este mercado en crecimiento, las empresas especializadas en el procesamiento de carnes, leche y sus derivados, y aquellas de alimentos y bebidas, están estableciendo colaboraciones estratégicas con empresas de proteínas de fermentación. Estas empresas ya cuentan con importantes recursos financieros, una infraestructura sólida y un acceso consolidado a la cadena de distribución. Las asociaciones contribuyen a los avances tecnológicos, al mejoramiento en la fabricación y a la introducción efectiva de ingredientes y productos de fermentación en el mercado. Un ejemplo de ello es

la asociación de la multinacional [Nestlé con Perfect Day](#), quienes se han unido para crear una bebida láctea sin ingredientes de origen animal, elaborada a partir de proteína de suero de leche producida por la *startup*, mediante la fermentación de precisión. Además de Nestlé, otros gigantes multinacionales como Kraft Heinz, Cargill, Danone, ABInBev, General Mills y Tyson participan en el sector de la fermentación ya sea por medio de inversiones, asociaciones o I+D y producción, lo que demuestra el potencial y la importancia de este mercado emergente (Good Food Institute, 2023a).

En el escenario brasileño, hasta agosto del 2024, al menos nueve *startups* nacionales están desarrollando negocios y productos de proteínas alternativas utilizando la tecnología de fermentación. Tres de ellas se centran actualmente en la producción de proteínas de la leche mediante fermentación de precisión: a [Updairy](#), a [Ark Bio Solutions](#) y [Future Cow](#). Y aun, utilizando la fermentación de precisión [Biolinker](#) trabaja en la producción de factores de crecimiento para carne cultivada. Otros tres utilizan la fermentación de biomasa para obtener ingredientes y productos proteicos: [Tekohá](#), [Hyph](#) y [Typcal](#), que [anunció recientemente o desenvolvimiento de um análogo de peito de frango à base de micélio](#)², con solo dos ingredientes además del micelio en la formulación y obteniendo un producto con contenido proteico satisfactorio, cero grasa y con fibras. La *startup* participa en la Asociación de Proteínas Fúngicas ([Fungi Protein Association](#)), que tiene como objetivo promover el conocimiento de las proteínas a base de hongos y las políticas públicas respecto a esta nueva tecnología. A su vez, [ProVerde](#) utiliza la fermentación tradicional para desarrollar ingredientes proteicos a base de subproductos de la industria de alimentos, con miras a su aplicación en análogos de carne. Por último, la *startup* [BioInFood](#) ése centra en el desarrollo de levaduras personalizadas, ingredientes y procesos para demostrar otras oportunidades de negocio como brindar servicios e insumos a esta cadena de producción de productos de proteínas alternativas mediante la fermentación. Todas estas iniciativas ilustran el creciente potencial y la diversificación del campo de la fermentación en Brasil, en línea con las tendencias mundiales de innovación en la industria alimentaria.



1.3. Demandas regulatorias

Para desarrollar la industria de proteínas alternativas en el escenario mundial, es necesario establecer regímenes regulatorios e instrumentos de gobernanza apropiados. La regulación de las proteínas alternativas está evolucionando en todo el mundo, y muchos gobiernos están formulando e implementando nuevas políticas para la aprobación de productos. Adicionalmente, la implementación de regulaciones reduce el nivel de riesgo asociado con las inversiones, ya sea por parte de empresas ya consolidadas en el sector, ya sea por parte de nuevos inversores interesados en *startups*, lo que abre posibilidades de negocios.

Actualmente, la industria alimentaria utiliza la fermentación microbiana para procesar y desarrollar ingredientes, aprovechando al máximo esta tecnología. Esta tecnología también se emplea en la producción de saborizantes, edulcorantes y espesantes presentes en diversos alimentos y bebidas. Para garantizar la seguridad de los nuevos productos, la mayoría de los gobiernos establecen sistemas regulatorios bien definidos. Algunos países evalúan nuevos productos de fermentación mediante la implementación de regulaciones específicas, exigiendo autorización previa para su comercialización. En Estados Unidos, por ejemplo, se aplica una regulación más amplia (Good Food Institute, 2022b).

² Véase el recuadro “¿Qué es el micelio? ¿Y la micoproteína?”

Dos iniciativas mundiales destacadas para construir la regulación de la fermentación fueron la formación de Fungi Protein Association, en el 2022, y de Precision Fermentation Alliance, en el 2023. La primera incluye más de 30 *startups*, entre ellas Quorn y [ENOUGH](#), y la empresa brasileña Typcal. La segunda cuenta con la participación de 13 *startups* de fermentación de precisión, como EVERY y Perfect Day. Ambas iniciativas también contaron con el apoyo de The Good Food Institute y tienen como objetivo buscar políticas públicas, el compromiso de los consumidores y el establecimiento de una regulación para los productos obtenidos por medio de procesos fermentativos. Además, la aceleradora de [ProVeg International](#) también apoya a Fungi Protein Association. Estas asociaciones son agentes clave para intercambiar conocimiento, en el compromiso de apoyo institucional, en la articulación de normas regulatorias y en la concienciación de las personas sobre los avances y beneficios de la fermentación en la producción de alimentos.



Actualmente, el Ministerio de Salud es la principal autoridad responsable de regular y evaluar la seguridad alimentaria en Brasil. Este desempeña la función, por medio de la Agencia Nacional de

Vigilancia Sanitaria (ANVISA), autónoma, que evalúa la seguridad de los aditivos e ingredientes en alimentos y regula el etiquetado. Brasil está reemplazando gradualmente muchas de sus normas alimentarias por las normas oficiales del Mercosur, que, a su vez, están influenciadas por las normas europeas y norteamericanas.

La ANVISA publicó recientemente la Resolución RDC n.º 839, de 14 de diciembre del 2023, que regula el registro de nuevos alimentos e ingredientes sin historia de consumo seguro en el país, incluidos los originados por cultivo celular y fermentación. La resolución incluye alimentos obtenidos de plantas, animales, minerales, microorganismos, hongos, algas o de forma sintética. Este avance coloca a Brasil en el escenario mundial de la aplicación de proteínas alternativas, creando oportunidades para atraer inversiones en nuevas formas sostenibles de producción de alimentos. El documento contiene las etapas de evaluación de exposición y de riesgo, caracterización, estudios de posibles interacciones, efectos adversos para la salud, especificación de composición, finalidad alimentaria/terapéutica, calidad nutricional, toxicidad, entre otros.

Según el documento, los nuevos alimentos y nuevos ingredientes que se constituyan, aislen o produzcan a base de microorganismos deberán caracterizarse con el nombre científico y por el origen del organismo, acreditando que se trata de un cultivo reconocido internacionalmente. En el caso de la fermentación de precisión, si los ingredientes y alimentos **contienen OGM o derivados de OGM** deberán cumplir los requisitos establecidos en la Ley n.º 11.105, de 24 de marzo del 2005, de la Comisión Técnica Nacional de Bioseguridad, CTNBio.

La publicación por parte de Anvisa fue prerequisite para las próximas etapas del proceso regulatorio, que definirán las normas para el registro de productos, incluidas las reglas de etiquetado, los estándares de identidad y calidad que cumplir y las reglas para la inspección de unidades fabriles, todas bajo responsabilidad del Ministerio de Agricultura. Más detalles sobre el escenario brasileño y mundial de las políticas públicas que implican proteínas alternativas se pueden encontrar en el informe [State of Global Policy](#) de The Good Food Institute.

2

La tecnología de fermentación y su aplicación en la producción de proteínas alternativas



Producto cárnico análogo hecho de micelio - Meati.

La fermentación se ha utilizado en la producción de alimentos durante milenios, principalmente como técnica de producción y conservación de alimentos, como se mencionó anteriormente. En este proceso, los microorganismos consumen materias primas y nutrientes, generando a partir de ellos macromoléculas, como proteínas y grasas, además de moléculas producidas por medio del metabolismo microbiano, como saborizantes (alcoholes, ácidos orgánicos), péptidos, aminoácidos, entre otros.

La producción de proteínas alternativas e ingredientes alimentarios por medio de procesos de fermentación depende del establecimiento de un bioproceso que siempre implica dos etapas principales: *upstream* y *downstream*. En la etapa *upstream* se selecciona y se desarrolla el microorganismo, seguida de su inoculación y el cultivo en biorreactores. A su vez, la etapa de *downstream* se compone de la recuperación y, cuando es necesaria, la purificación del producto de interés (Gupta, 2023).

El corazón de estos procesos son los biorreactores, que son los tanques en los que los microorganismos consumen los nutrientes disponibles y se multiplican a lo largo de un proceso controlado. Están cuidadosamente diseñados para proporcionar el entorno ideal para la fermentación considerando las condiciones óptimas de temperatura, aireación, agitación, pH, etc., dando como resultado la obtención del producto deseado (Arora; Rani; Ghosh, 2018).



El escalado es una de las etapas más desafiantes en el desarrollo de estos bioprocesos, ya que se espera que no haya pérdida de rendimiento con relación a la escala de laboratorio, lo que requiere estrategias específicas para cada diseño de biorreactor o producto y proceso (Mello et al., 2024). La efectividad de este aumento de escala está relacionada con variables que ejercen una influencia significativa en el rendimiento microbiano. Esto incluye factores que pueden verse afectados por el aumento del volumen de cultivo, como la accesibilidad del sustrato utilizado para alimentar a los microorganismos, así como el control preciso de factores como temperatura, pH, humedad, presión, aireación y agitación en el medio de cultivo.

Los siguientes temas detallarán las diferentes formas de utilizar la tecnología de fermentación en la producción de proteínas alternativas. Cada una de ellas implica desafíos específicos en su procesamiento y requiere algunos avances científicos y tecnológicos para ganar escala e integrarse al mercado.

2.1. Fermentación tradicional

Como se mencionó anteriormente, la fermentación es un proceso que se emplea ancestralmente en la producción de alimentos como el pan, el yogur y la cerveza, y que ahora está ganando otras innovaciones para obtener productos de proteínas alternativas. En ese sentido, la fermentación tradicional puede utilizarse para crear nuevos productos e ingredientes a base de plantas mediante la acción de uno o más microorganismos vivos, que pueden ser bacterias, levaduras u hongos filamentosos (llamados “cultivos iniciadores”). En este proceso, se fermentan ingredientes derivados de plantas, como la soja u otros sustratos vegetales para generar productos con sabores distintivos, perfiles nutricionales mejorados y texturas modificadas (Figura 1).

Entre los tres enfoques tecnológicos para la fermentación, el tradicional se considera el más sencillo y el que requiere menos inversión en infraestructura. Esto se debe a que los procesos normalmente son de fermentación en estado sólido³

³ Proceso biotecnológico en el que se cultivan microorganismos en un medio sólido, donde el agua está presente en cantidades muy bajas, generalmente por debajo del 20 % en masa (Jin et al., 2019).

y pueden ocurrir en invernaderos simples con temperatura controlada o, a mayor escala, en biorreactores de baja complejidad y bajo costo, como tambor rotativo o de bandejas.

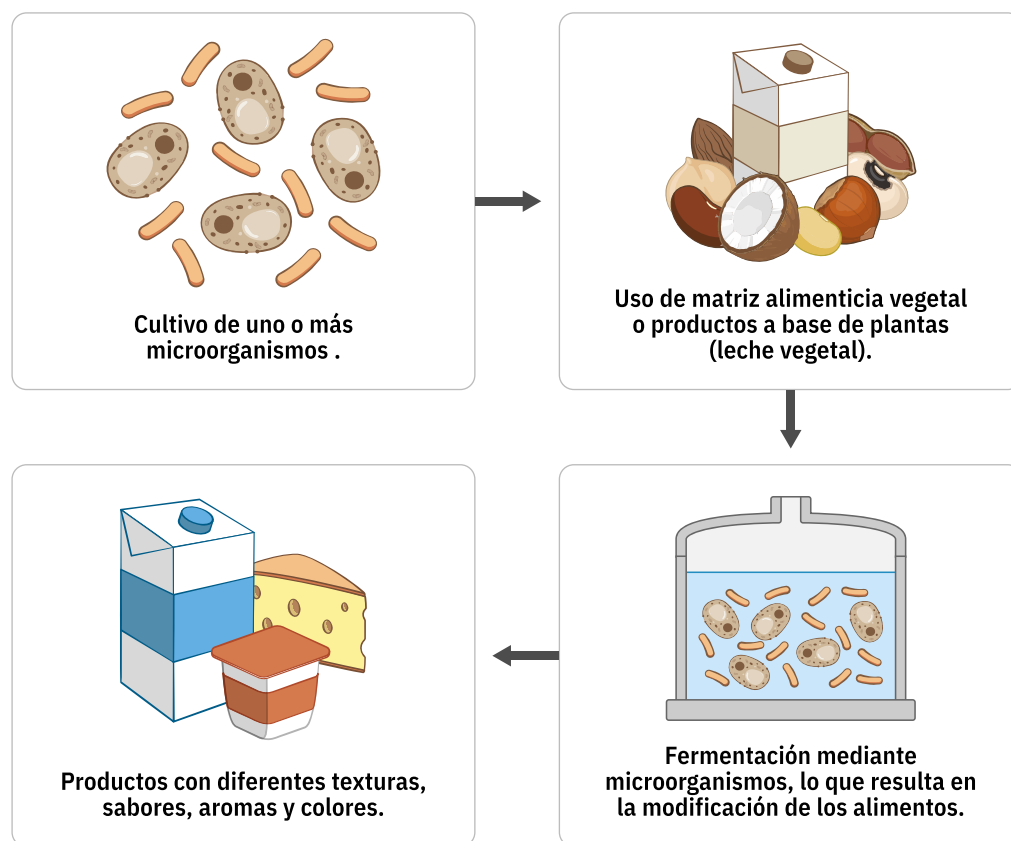


FIGURA 1
Fermentación tradicional.

El tempeh es un ejemplo clásico de un producto proteico vegetal producido mediante fermentación tradicionalmente a partir de soja en grano entera cocida y fermentada por el hongo *Rhizopus oligosporus*. Este producto también está ganando nuevas versiones, como las producidas por [Mun Alimentos](#) por ejemplo, utilizando otros granos como frijoles de ojo negro y arroz negro, además de soja, y entregando productos de conveniencia (congelados y listos para el consumo) con sugerencias de consumo en comidas, sándwiches y también productos de indulgencia como esfihas rellenas de tempeh.

La elaboración de quesos y yogures a base de leches vegetales también son ejemplos de cómo explorar el uso de la fermentación tradicional para obtener productos lácteos análogos. Los productos se obtienen utilizando bacterias lácticas (BAL), que modifican las leches vegetales, dándoles un sabor similar al de los productos lácteos convencionales (Harper et al., 2022). Es el caso de los yogures y quesos elaborados a partir de la leche de anacardo de la empresa [VidaVeg](#), por ejemplo.

Pensando en el desarrollo y mejoramiento de ingredientes de origen vegetal, algunos estudios con proteína de guisante (Shi et al, 2021) y proteína de soja (Behrens; Roig; Silva, 2004) demuestran que el uso de la fermentación con BAL disimuló sabores y aromas indeseables y aumentó la aceptación de los productos análogos formulados con estos ingredientes. Comercialmente, empresas como [Chunk Foods](#) y [Planetarians](#) usan la fermentación tradicional y los subproductos de estos procesos

para crear productos vegetales análogos de carne exclusivos y cortes enteros.

El producto final de la fermentación tradicional suele estar compuesto por el sustrato utilizado para el crecimiento de los microorganismos y el propio microorganismo que allí se cultivó. Esta presencia de los agentes de la fermentación en el producto final contribuye a una mejora del perfil nutricional al aumentar nutrientes como proteínas y fibras procedentes de la propia biomasa celular de los microorganismos. Profundizando en el perfil nutricional de estos productos, varios estudios han constatado evidencias de los beneficios para la salud que aporta el consumo de alimentos fermentados. Este creciente interés está impulsado por el hallazgo de que los alimentos sometidos a fermentación pueden presentar una calidad nutricional superior, incluido el perfil de proteínas, aminoácidos, vitaminas, grasas, ácidos grasos y una mayor biodisponibilidad de nutrientes y mejor digestibilidad (Adebo et al., 2022). Además, los productos de fermentación tradicional pueden contener microorganismos aún vivos, que tienen efectos beneficiosos en el organismo del consumidor (Dahiya; Nigam, 2022). Por lo tanto, existe la posibilidad de producir alimentos funcionales probióticos (más información en el Cuadro 2).

El desarrollo de alimentos que no solo proporcionan una experiencia sensorial agradable, sino que también contribuyen a la promoción de la salud, mediante la incorporación de microorganismos funcionales, es un campo abierto para la innovación en esta tecnología y puede ser una opción para satisfacer la creciente demanda de productos con atractivo para la salud en vegetales análogos ([Lupetti; Casselli, 2024](#)).

Los cultivos iniciadores utilizados en la fermentación tradicional incluyen microorganismos de los géneros *Saccharomyces*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus* y *Enterococcus*. La diversificación y optimización de estos microorganismos utilizados con vistas al mercado de productos vegetales análogos representa también una oportunidad de investigación y desarrollo con gran potencial. La compañía británica Myconeos Limited, por ejemplo, se especializa en el desarrollo de nuevas cepas de hongos para aplicaciones alimentarias y trabaja en la creación de

nuevas cepas diseñadas para lograr niveles similares de rendimiento en productos vegetales análogos a los productos lácteos. Recientemente [la empresa publicó un descubrimiento científico](#) lo que abre posibilidades para el uso de especies de *Penicillium cameberti* y *Penicillium roqueforti* optimizadas para el desarrollo de Brie y Camembert veganos.



Quesos vegetales análogos hechos de nuez - Miyoko's Creamery.

Brasil sobresale por su gran diversidad de nueces, como la nuez de Brasil y el anacardo, además de oleaginosas como el cacahuete y la soja, y granos como el maíz, el arroz, el frijol y la quinua, lo que lo convierte en un país privilegiado para explorar estos sustratos en la producción de alimentos fermentados. Además, el conocimiento establecido en la investigación y desarrollo de productos fermentados convencionales puede ser utilizado para desarrollar estos productos vegetales, permitiendo el estudio del comportamiento de cultivos tradicionales sobre estos diferentes sustratos.

Probióticos y paraprobióticos: los microorganismos y sus beneficios para la salud.

Los probióticos son microorganismos vivos que, cuando se consumen en cantidades adecuadas, proporcionan beneficios para la salud de quienes los consumen. Los alimentos probióticos de origen vegetal están dirigidos a un público que busca no solo una dieta vegana, sino también productos funcionales (Latif et al., 2023). Para ser considerado un alimento fuente de probiótico, el alimento debe tener una cantidad suficiente de microorganismos que tengan beneficios científicamente comprobados y es necesario garantizar el contenido de células viables para que se pueda verificar el efecto en el organismo. Sin embargo, investigaciones científicas han informado que los microorganismos probióticos no viables, conocidos como paraprobióticos, también pueden proporcionar beneficios para la salud (Almada et al., 2016; Piqué et al., 2019; Taverniti; Guglielmetti, 2011).

Los paraprobióticos son células o fracciones microbianas muertas (no viables), pero que aun así pueden influir positivamente en el organismo y brindar beneficios para la salud de quienes los consumen. Este es un campo aún en estudio, principalmente en lo que respecta a la acción paraprobiótica en los alimentos y no al consumo de estos microorganismos de forma aislada (Siciliano y otros, 2021).

2.2. Fermentación de biomasa

Mientras que la fermentación tradicional se remonta a la ancestralidad, la tecnología de fermentación de biomasa surgió en la era posmoderna. Se basa en el rápido crecimiento de microorganismos, como bacterias, levaduras, microalgas y hongos, con un alto contenido proteico, lo que permite una producción eficiente de proteínas a gran escala (Aggelopoulos et al., 2014). Este proceso también se lleva a cabo dentro de biorreactores, que crean un entorno favorable para el crecimiento microbiano. En esta tecnología, el propio microorganismo es el producto de interés, y al final de la fermentación se le denomina biomasa (Figura 2). Después de la fermentación, la biomasa se recupera y se lava, si es necesario, se puede realizar un tratamiento térmico para reducir el contenido de ARN o inactivar el microorganismo. Finalmente, la biomasa se acondiciona hasta obtener la forma final del ingrediente, ya sea polvo o una biomasa húmeda. Usando estos ingredientes es posible crear una variedad de productos que imitan los productos cárnicos tradicionales ([Quorn](#)), tal como se reestructuró ([Nature's Fynd](#)) y cortes enteros análogos de pollo ([Bosque Foods](#)), buey ([Meati](#)), tocino ([Hyph](#)), mariscos ([Aqua Cultured Foods](#)), análogos lácteos como [cream cheese](#) y [yogures](#), o incluso ingredientes proteicos ([Typcal](#)), adecuados para su uso en esta categoría de alimentos, pero también en pastas y otros alimentos. El polvo de levadura seca y los extractos de levadura también son ejemplos de ingredientes que pueden usarse de manera similar, aumentando el contenido de proteínas y mejorando el sabor de productos vegetales análogos.

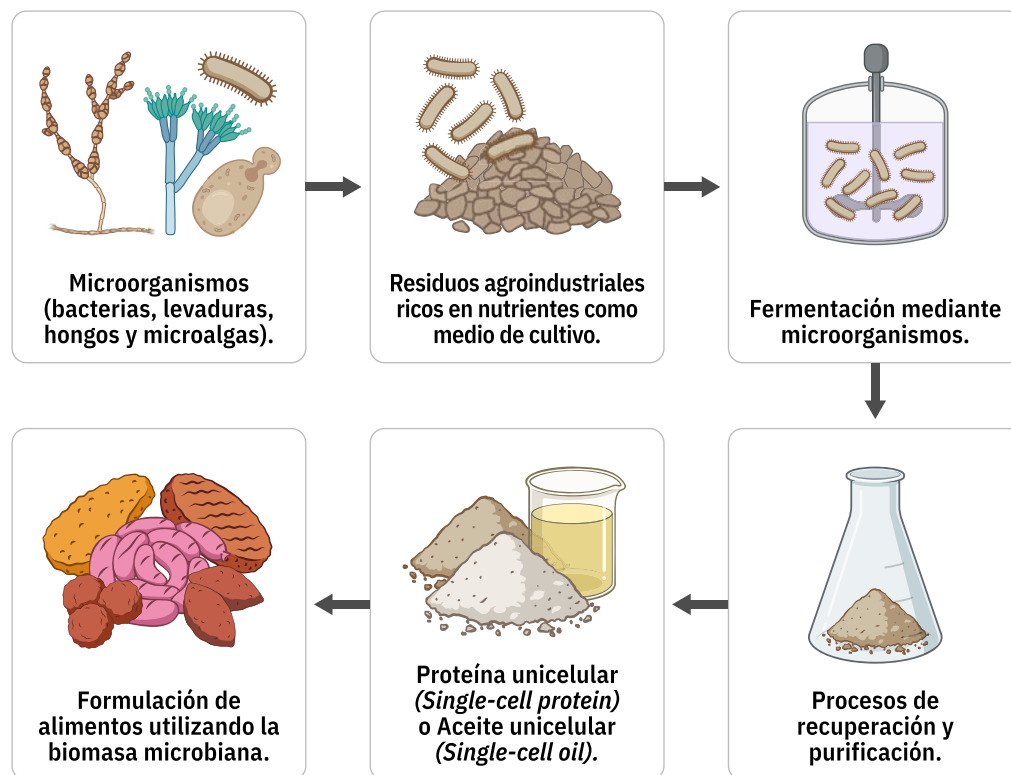


FIGURA 2
Fermentación de biomasa.

Dependiendo del microorganismo elegido para el proceso fermentativo, los productos de la fermentación de biomasa son proteínas unicelulares (del inglés SCP, *Single-Cell Protein*) o aceites/grasas unicelulares (del inglés SCO, *Single-Cell Oil*). Los microorganismos clasificados como proteínas unicelulares y aceites unicelulares tienen niveles muy elevados de proteínas y aceites en su composición, respectivamente. Algunos ejemplos de especies utilizadas como fuente de proteína incluyen levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*, con un amplio historial de consumo y utilización, y es empleada como levadura nutricional, fermento biológico y también como fuente de extractos utilizados como agente saborizante en formulaciones de alimentos, así como hongos filamentosos como *Fusarium venenatum*, utilizado por Quorn, y *Fusarium flavolapis*, utilizado por Nature's Fynd. A su vez, la levadura *Yarrowia lipolytica* y hongos del género *Mortierella* son ejemplos de microorganismos que acumulan cantidades significativas de lípidos (Ochsenreither et al, 2016).

Uno de los principales agentes utilizados en la fermentación de biomasa son los hongos filamentosos. El micelio es la parte estructural básica de estos hongos. Así como los animales están formados por órganos y tejidos (que son un conjunto de células), los hongos están formados por micelio, hecho por una maraña de estructuras fibrilares (llamadas hifas) que son filamentos de células de estos microorganismos. Así, desde la estructura encargada del sostén y la nutrición, que crece dentro del sustrato de forma similar a una raíz (llamada micelio vegetativo), hasta los hongos y la estructura similar al algodón que vemos en el crecimiento de los mohos (también llamado micelio aéreo), todo está hecho de micelio.

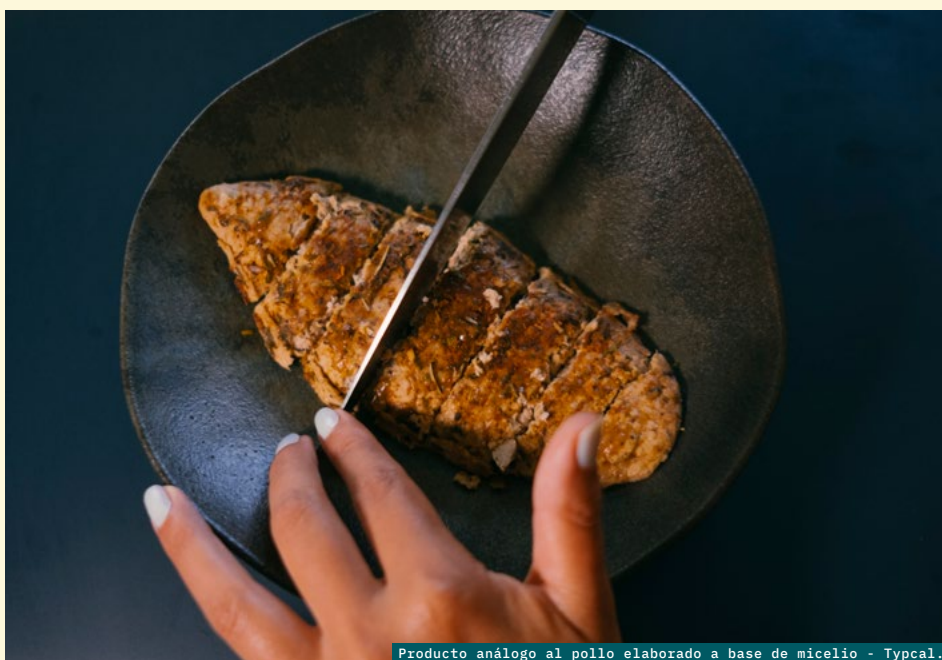
A su vez, micoproteína es el nombre que se le da a la proteína que compone la biomasa del hongo. El término proviene del uso del prefijo griego “mico” que

CUADRO 3
¿Qué es el micelio?
¿Y la micoproteína?

significa hongo. Algunas empresas utilizan este nombre, micoproteína, para designar el ingrediente principal en la formulación de productos obtenidos a partir de hongos. Por tanto, podemos decir que el micelio contiene micoproteína.



Como se mencionó anteriormente, el micelio es la parte del hongo filamentoso que se desarrolla dentro del sustrato, asemejándose a la “raíz” del hongo (en el caso del cultivo en estado sólido). Esta estructura en fibras confiere a los productos una textura muy similar a la de la carne, imitando de forma satisfactoria los productos cárnicos. Además, el micelio es una fuente rica de proteínas y fibras, y no contiene grasa, lo que añade calidad nutricional al producto.



CUADRO 4 Análogos de carne elaborados a partir de micelio.

Además de producir alimentos ricos en proteínas, la fermentación de biomasa ofrece una oportunidad única para transformar los desechos de las industrias de alimentos y bebidas en productos de alto valor agregado (Gupta; Lee; Chen, 2018). Esta práctica de aprovechamiento de residuos contribuye al avance de la economía circular, además de reducir costos de proceso ya que el precio de estos insumos es inferior al de los sustratos que se utilizan tradicionalmente.

Además de la economía circular y de presentar un enorme potencial para replicar características sensoriales deseables de los productos convencionales, la producción de biomasa ofrece una alternativa que no solo es sostenible, sino también nutritiva.

En general, los microorganismos son ricos en proteínas, fibras y micronutrientes, además de tener un bajo contenido de grasa (Choi; Yu; Lee, 2022). En la Tabla 1 se presentan los contenidos de proteína, fibra y micronutrientes en los cuatro tipos de microorganismos utilizados en la fermentación de biomasa: bacterias, microalgas, hongos y levaduras. Las flechas indican la cantidad relativa de macro y micronutrientes presentes en los microorganismos, y el número de flechas representa la cantidad, que varía desde una flecha (↑) para una cantidad menor hasta tres flechas (↑↑↑) para una cantidad mayor.

Microorganismos	Proteínas	Fibras	Micronutrientes
Bacterias	↑↑↑	↑	↑↑
Microalgas	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑
Hongos filamentosos (micelio)	↑↑	↑↑↑	↑↑
Levaduras	↑↑	↑↑	↑↑

Fuente: Adaptado de Graham y Ledesma-Amaro (2023).

TABLA 1
Contenido relativo promedio de nutrientes de los microorganismos utilizados en la fermentación de biomasa.

Em relação às proteínas, as bactérias podem apresentar as maiores quantidades. Além do alto teor também podem ser uma fonte de proteínas completas: muitas espécies de microrganismos contêm aminoácidos essenciais, que são aqueles que precisamos adquirir através da dieta. Já em relação às fibras, destaca-se a alta quantidade de fibras insolúveis em microalgas, e os betaglucanos e monoligossacarídeos presentes em fungos filamentosos, que apresentam benefícios à saúde intestinal. Por fim, as microalgas se destacam em termos de disponibilidade de micronutrientes, que geralmente incluem vitaminas do complexo B, C e E, zinco, selênio, ferro e cobre (Demirgul et al., 2022; Leblanc et al., 2011; Ślusarczyk; Adamska; Czerwik-Marcinkowska, 2021).

2.3. Fermentación de precisión

El último enfoque de la tecnología de fermentación que vamos a presentar es también el más reciente que se ha utilizado para obtener ingredientes alimenticios. Utilizada inicialmente en la producción de productos farmacéuticos, como la insulina, y en la fabricación de insumos para alimentos, como la quimosina (enzima fundamental en la producción de queso), ácido cítrico y aromas, la tecnología de fermentación de precisión ha experimentado avances significativos. Hoy en día, esta técnica también se utiliza para

obtener proteínas de origen animal, entre otros insumos esenciales para la industria de proteínas alternativas. Estos insumos, que pueden ser proteínas de la leche, del huevo, colágeno, aceites y enzimas, son producidos por microorganismos recombinantes y, después de la fermentación, son aislados y purificados para su posterior aplicación en alimentos (Knychala et al., 2024) (Figura 3).

Para ello, el primer paso es identificar el gen responsable de producir la molécula de interés, que puede ser de origen animal o vegetal (Cuadro 5). Este gen se inserta, entonces, en un vector de expresión o directamente en el genoma del microorganismo, que al replicarse comienza a producir la molécula. Las células microbianas actúan, entonces, como pequeñas “fábricas” durante el proceso de fermentación (Good Food Institute, 2023a).

Estas modificaciones genéticas se llevan a cabo mediante técnicas de biología molecular, como la tecnología del ADN recombinante o el enfoque CRISPR⁴. Estas técnicas permiten la inserción de un gen de un organismo donante, es decir, una secuencia de ADN que codifica la síntesis de la molécula específica, en un microorganismo huésped que se multiplica más rápido. De esta forma, se pueden producir grandes cantidades de esta molécula en biorreactores en un corto período de tiempo (Augustin et al., 2023). En resumen, un microorganismo, como una bacteria, que reciba un gen para codificar una proteína animal podrá empezar a producir grandes cantidades de proteína animal sin tener que obtenerla a través de la cadena convencional utilizando animales.

Algunos ejemplos de microorganismos utilizados en la fermentación de precisión son bacterias como *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Corynebacterium glutamicum*, y *Lactococcus lactis*, levaduras, principalmente *Saccharomyces cerevisiae*, *Komagataella phaffii*, y *Kluyveromyces sp*, además de hongos filamentosos, como *Trichoderma reesei*, *Aspergillus oryzae* (Eastam; Leman, 2024) (conoce más sobre cada uno de estos microorganismos y su uso en la Tabla 2).

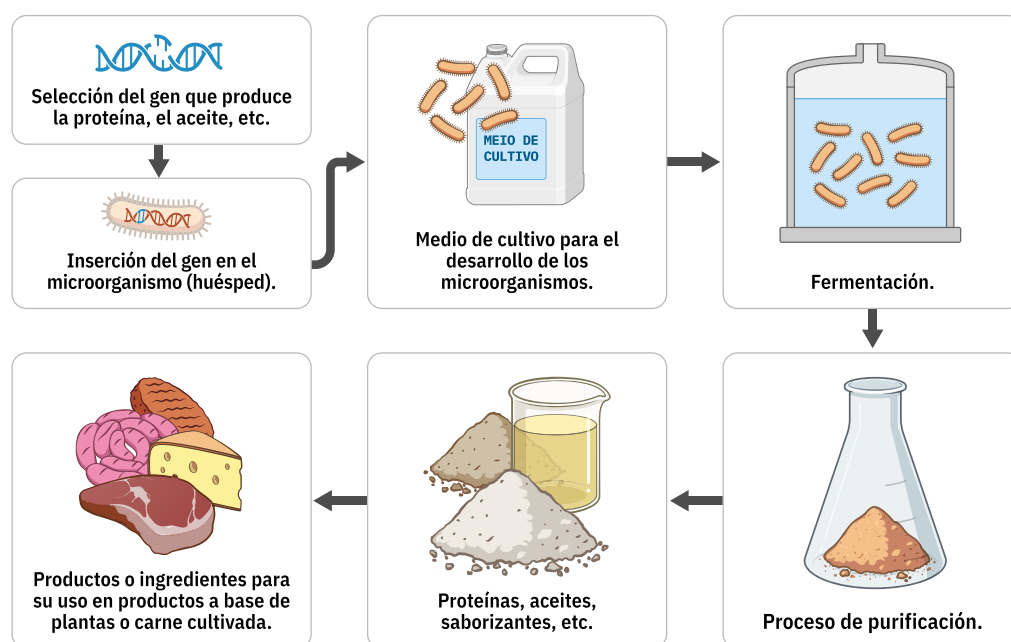


FIGURA 3
Fermentación de precisión.

4 CRISPR - Conjunto de Repetições Palindrômicas Curtas Regularmente Espaçadas

CUADRO 5

El primer paso para desarrollar un proceso de fermentación de precisión: el desafío de elegir la molécula objetivo.

La selección y el diseño del objetivo son el punto de partida para el proceso de fermentación de precisión. La molécula, o moléculas, de interés se denominan objetivo. El objetivo puede ser una proteína, un lípido, un compuesto de sabor, un aroma, una enzima, un factor de crecimiento, un pigmento o cualquier otro ingrediente.

Uno de los desafíos más básicos a la hora de seleccionar estos objetivos es simplemente determinar qué moléculas contribuyen más a las propiedades específicas de los productos de origen animal.

Algunos ejemplos notables de ingredientes ya producidos mediante fermentación de precisión en el contexto de proteínas alternativas son el uso de proteínas hemo como ingrediente para producir un conjunto de propiedades sensoriales en el producto vegetal análogo de carne, como lo hace la empresa [Impossible Foods](#), que incorpora leghemoglobina de soja producida por fermentación de precisión para mejorar el sabor, la jugosidad y la apariencia de la hamburguesa vegetal producida por la empresa. Otras proteínas recombinantes, como la caseína y el suero de leche, también son objetivos importantes debido a su funcionalidad única en los productos lácteos. Estas proteínas se pueden combinar con ingredientes derivados de plantas para crear un producto final. Por ejemplo, el azúcar, el aceite de coco y el aceite de girasol se combinan con suero de leche recombinante producido por fermentación para elaborar la base del helado de [Perfect Day](#). También podemos mencionar la elección de proteínas de la clara de huevo como objetivo, como lo hizo [Every](#), que aportan ingredientes con funcionalidades específicas importantes para formulaciones alimenticias como la formación de espuma, resultante de la presencia de ovomucina, globulina y ovoalbúmina.

Si bien el desarrollo de cepas, la optimización de la materia prima y los medios de cultivo pueden contribuir sustancialmente a la viabilidad del proceso, la selección del objetivo es un factor crítico para lograr la viabilidad económica. Esto se debe a que, en función de la elección del objetivo se determina la demanda, la cuota de mercado y el coste necesario para alcanzar la paridad de precios, determinado por ingredientes similares que ya existen en el mercado.

Fuente: [The Science Of...](#) (2024)



Producto vegetal análogo a hamburguesa con hemo proteína obtenida por fermentación - Impossible.



Helado hecho con proteína de leche obtenida mediante fermentación de precisión - Perfect Day.

TABLA 2
Tipos de microorganismos utilizados para la fermentación de precisión.

	Bacterias	Levaduras	Hongos filamentosos
Principales especies utilizadas	<i>Corynebacterium glutamicum</i> , <i>E. coli</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Lactococcus lactis</i>	<i>Komogaetella phaffii</i> (<i>Pichia pastoris</i>), <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Kluyveromyces lactis</i>	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> y <i>Trichoderma reesei</i>
Características	Crecimiento rápido; Títulos bajos, pero alto rendimiento	Capacidad de plegamiento de la proteína*; Ausencia de metabolitos secundarios (micotoxinas); Títulos intermedios.	Capacidad de plegamiento de la proteína*; Mayores títulos; Alta capacidad de secreción de proteínas; Muchos metabolitos secundarios requieren represión/eliminación de vías.
Tiempo de fermentación	<48 horas	3-6 días	5-10 días
Títulos	0,5-3 g/L	1-22 g/L	5-100 g/L

* Las propiedades funcionales de las proteínas dependen de la estructura espacial resultante de este plegamiento y del doblado del filamento proteico sobre sí mismo (Deckers et al., 2020).
Fuente: Adaptado de [Eastham and Leman \(2024\)](#).

Los pasos de recuperación y purificación de los ingredientes de interés son fundamentales, y uno de los principales generadores de costos del proceso de fermentación de precisión, además de afectar significativamente los rendimientos del proceso. La complejidad varía dependiendo de si la molécula se produce intracelularmente o se secreta en el medio de cultivo. Si se produce intracelularmente, también es necesaria la ruptura de las células microbianas para liberar el contenido intracelular que contiene la proteína objetivo, así como la separación de los residuos celulares. A continuación, se emplean técnicas de separación, entre ellas la centrifugación, la filtración, la precipitación y la cromatografía, que permiten obtener la proteína objetivo con un cierto grado de pureza. Finalmente, se realiza la concentración de la molécula objetivo, normalmente mediante filtración o cromatografías adicionales (Augustin et al., 2023).

Este enfoque de la fermentación es más complejo que los que presentamos anteriormente. No solo porque incluye procesos de *downstream* más complejos, sino también por la etapa inicial de desarrollo de la cepa. En esta tecnología, es necesario comprender los microorganismos que se utilizarán en el proceso de fermentación, así como sus genomas y funciones metabólicas, y es necesario emplear tecnologías avanzadas, como inteligencia artificial, bioinformática y biología de sistemas, para identificar, manipular y optimizar los microorganismos y el proceso de fermentación (Teng et al., 2021).

Todos estos aspectos presentados alimentan uno de los principales desafíos de la fermentación de precisión: mejorar la viabilidad económica de la producción. Para competir con proteínas de origen animal, investigadores y empresas deben aumentar

el título (cantidad de una molécula objetivo expresada con relación al volumen total de líquido producido durante el *upstream* que contiene el agente —la principal referencia de eficiencia de *upstream*—) y el rendimiento (la proporción de la masa de la proteína purificada final con relación a su masa al inicio de la purificación —la principal referencia de eficiencia de *downstream*—) de las moléculas objetivo y de la biomasa proteica.

	Enfoques de tecnología de fermentación aplicados a proteínas alternativas		
	Tradicional	Biomasa	Precisión
¿Está el microorganismo presente en el producto final?	Sí y puede tener actividad biológica beneficiosa cuando el producto no se somete a procesos térmicos.	Sí, siempre en forma inactiva.	No.
¿Qué proteína contiene el producto/ingrediente obtenido?	La proteína de origen vegetal utilizada para la fermentación y la proteína del microorganismo utilizado para fermentar.	El contenido proteico del microorganismo.	Una proteína purificada idéntica (o similar) a la de origen animal.
¿Requiere procesos de purificación?	No.	No es necesario, pero se puede optar por desarrollar un ingrediente con una proteína microbiana concentrada.	Sí.
Principales ejemplos de productos	Bebidas vegetales fermentadas, tempeh, productos vegetales análogos a quesos y carnes.	Productos a base de micelio análogos a la carne (pollo, tocino) y al <i>cream cheese</i> .	Proteínas de suero de leche, caseína, proteínas de huevo, colágeno, hemoproteínas, enzimas.
Diferencial tecnológico	Mejora sensorial y nutricional de ingredientes vegetales; y desarrollo de la categoría de productos fermentados vegetales análogos a los lácteos y quesos	Obtención de ingredientes proteicos en bioprocesos con tecnologías ya bien establecidas, con alta productividad y eficiencia, y con la posibilidad de utilizar subproductos.	Producir de forma eficiente ingredientes <i>animal-free</i> con funcionalidades específicas esenciales en formulaciones alimenticias.
Sugerencias de lectura	Fact Sheet: Fermentación Tradicional	Fact Sheet: Fermentación de Biomasa	Fact Sheet: Fermentación de Precisión

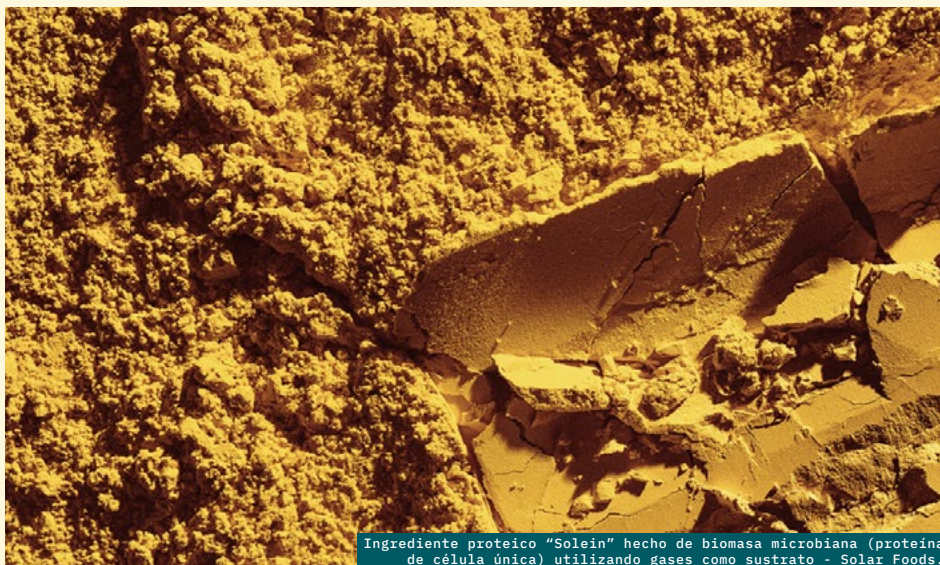
TABLA 3
Comprende las diferencias entre cada uno de los enfoques de tecnología de fermentación para producir proteínas alternativas.

CUADRO 6
Proteínas obtenidas del aire.

Recientemente, se anunció el desarrollo de un enfoque innovador para la producción de proteínas usando la fermentación de microorganismos alimentados con aire. En otras palabras, estos microorganismos utilizan componentes del aire como fuente de carbono para su crecimiento y formación de biomasa microbiana.

La empresa [Air Protein](#) está produciendo proteínas a partir de dióxido de carbono (CO₂), mientras que [Solar Foods](#) utiliza tanto CO₂ como hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂) obtenidos del aire. Ambas producen un ingrediente proteico que se incorpora a la producción de diversos productos alimenticios.

Este es un nuevo enfoque para la producción de alimentos de manera sostenible, ya que no requiere sustratos de origen agrícola, lo que reduce el uso de tierra y minimiza el de otros recursos, además de mitigar gases contaminantes de la atmósfera, como el CO₂.



Ingrediente proteico "Solein" hecho de biomasa microbiana (proteína de célula única) utilizando gases como sustrato - Solar Foods.

3

La fermentación como solución sostenible



Producto análogo al atún obtenido por fermentación de biomasa - Aqua Cultured Foods.

La fermentación en el contexto de la producción de alimentos de proteínas alternativas representa un modelo de producción que sigue una lógica circular, en la que los flujos residuales de una cadena pueden ser insumos valiosos para otras y donde el objetivo es desarrollar procesos productivos más eficientes y con menor consumo de insumos y energía, fuertemente apoyados en la biotecnología. Esto incluye esta tecnología en el concepto de bioeconomía, definida como toda actividad económica que utiliza bioprocesos y genera bioproductos que contribuyen a soluciones eficientes en el uso de los recursos biológicos (Centro de Gestión y Estudios Estratégicos, 2021).

Todos los enfoques tecnológicos de fermentación tienen el potencial de ser escalables y eficientes en la producción, con reducción de los impactos ambientales, del uso de la tierra y del consumo de agua. Los estudios de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) demuestran que la fermentación de biomasa y precisión pueden reducir significativamente la demanda de suelo y el uso de la tierra en comparación con la producción convencional de proteínas, así como reducir el consumo de agua en comparación con otras fuentes de proteínas. Los datos indican que la proteína producida por fermentación de biomasa puede tener entre un 53% y un 100% menos de impacto ambiental, dependiendo del producto de referencia y de la fuente de energía asumida para su producción (Durkin et al., 2022; Järviö et al., 2021) y una reducción del 83,9% en el consumo de agua potable (Durkin et al., 2022). Otros indican que, en comparación con la producción de carne de rumiantes, la micoproteína tiene un potencial significativo para reducir el uso de agua y tierra, alcanzando potencialmente una reducción del 90%, además de una disminución de hasta el 80% en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Hashempour-Baltork et al. 2020; Rubio; Xiang; Kaplan, 2020). Un estudio más reciente de Kobayashi et al. (2023) afirma que los impactos ambientales de la producción de proteína microbiana producida con subproductos de avena en comparación con otros productos de soja convencionales, por ejemplo, resultan en una reducción de más del 60% en el uso de la tierra.

Perfect Day, una de las pioneras en el desarrollo de proteínas alternativas mediante fermentación de precisión, [desarrolló un ACV](#) del ingrediente que producen, y los resultados demuestran que, en

comparación con la proteína total de la leche, su proteína de suero de leche: emite entre un 91% y un 97% menos de GEI, reduce entre un 29% y un 60% la demanda de energía, y reduce en un 96% a un 99% el consumo de agua.

Cabe resaltar que todos estos estudios indican que estas reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero están intrínsecamente relacionadas con la fuente energética utilizada en el proceso productivo, apuntando al uso de fuentes renovables como una solución. En ese sentido, [Brasil destaca como referencia en bioenergía](#), con una de las matrices energéticas más limpias del planeta. Mientras que el mundo tiene, en promedio, el 84% de la energía primaria generada por fuentes fósiles, Brasil tiene el 43% de su matriz energética generada por fuentes renovables ([Toledo, 2020](#)), y cuando analizamos la matriz eléctrica esta cifra asciende al 84,25% proveniente de fuentes renovables ([Matriz Eléctrica Brasileña..., 2024](#)). Los datos del [Informe de Tecnología e Innovación del 2023](#) de United Nations Conference on Trade And Development (UNCTAD, 2023), muestran que Brasil ocupa el segundo lugar en bioenergía, por delante de Estados Unidos y solo detrás de China.

Después de la fuente de energía, el segundo contribuyente mayoritario destacado en estos ACV es la fuente de carbono utilizada en el medio, la glucosa. En el ACV de la proteína de suero de leche de [Perfect Day](#) mencionado anteriormente, por ejemplo, la fase de producción de proteína (fermentación) contribuyó con un 25% a las emisiones totales de GEI, debido a la etapa de producción de glucosa mediante la hidrólisis del almidón, que contribuye por sí sola con un 83% de las emisiones en esta fase de fermentación. En ese sentido, [ser el mayor productor mundial de azúcar de caña, incluidos resultados récord de cosecha de 713,2 millones de toneladas de caña en 2023/24](#), también puede ser un diferencial brasileño, ya que estos azúcares del jugo de caña (sacarosa) son fermentables y no requieren proceso de hidrólisis.

Además, otra solución para reducir los impactos del ciclo de vida de esta cadena es el uso y valorización de subproductos y residuos como materias primas para procesos de fermentación, o incluso utilizar recursos y materias primas disponibles localmente para reducir las

distancias de transporte (Good Food Institute, 2022a; Koutinas et al. 2014; Smetana et al. 2018). En ese sentido, Brasil también destaca ya que cada año se generan miles de millones de toneladas de residuos agroindustriales, tanto de alimentos mínimamente procesados (frutas y verduras) como de aquellos que pasan por procesamiento para separar fracciones de interés, ya sea para alimentación o bioenergía (Woiciechowski et al., 2013). En la Tabla 4 se muestran algunos de los principales cultivos procesados en Brasil y sus principales residuos.

Cultivo	Producción anual (millones de toneladas)	Tipo de residuo	Producción de residuos (millones de toneladas)
Caña de azúcar	685,851	Bagazo	1742
Soja	147,681	Salvado	41,73
Maíz	111,641	Salvado	2,44
Total	945,17	-	218,1

Fuente: Ajustes na Área... (2023) (1); Vilella e Hofsetz (2019) (2); Projeções para o... (2024) (3); Anec Eleva Previsões... (2024) (4).

Estos residuos, como el salvado, las cáscaras, la paja, el bagazo y los restos de frutas y semillas, son excelentes sustratos para el crecimiento de microorganismos al aportar nutrientes para su desarrollo. Dependiendo del tipo de residuo agroindustrial utilizado, se deben aplicar diferentes procesos para el pretratamiento de la biomasa y liberación de los nutrientes que conformarán el medio de cultivo de fermentación, cubriendo un área de estudios en la que [Brasil es, sin duda, un pionero](#).

Como se trata de una tecnología en desarrollo, los datos de ACV son aún algo limitados y pueden no representar el potencial real de reducir los impactos de esta cadena, ya que las ganancias de escala y mayores inversiones en investigación y desarrollo pueden generar ganancias de eficiencia mayores que las previstas en los ACV actuales. Cabe resaltar aun la necesidad de ampliar los estudios con datos representativos de la cadena productiva brasileña para abordar el potencial real de producción sostenible de proteínas mediante la fermentación en el país.

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)


La fermentación para la producción de proteínas alternativas responde a varios ODS, como la seguridad alimentaria y la gestión de residuos.

PRODUCCIÓN SOSTENIBLE


Los procesos de fermentación tienen menor emisión de efecto invernadero y consume menos agua en comparación con la producción convencional de proteínas.

PRODUCCIÓN EFICIENTE


Independientemente del tipo de fermentación, la producción de proteínas es eficiente, a la vez que reduce los impactos ambientales, como el uso de tierras y la contaminación.

ECONOMÍA CIRCULAR


La producción de proteínas mediante la fermentación permite reutilizar residuos agroindustriales como medio de cultivo de microorganismos, retroalimentando e integrando la cadena.

TABLA 4
Ejemplos de cultivos procesados en Brasil y sus principales residuos.

FIGURA 4
Fermentación como solución sostenible.

4

Mapeo de la etapa de desarrollo de la tecnología de fermentación aplicada a las proteínas alternativas en Brasil



Carne análoga desmenuzada obtenida a través de fermentación - Chunk Foods.

4.1. Panorama general y enfoque

En una asociación del The Good Food Institute Brasil con investigadores de la Universidade Federal do Paraná y de la Fundação Getulio Vargas, se desarrolló a lo largo de 2024 un mapeo para identificar las potencialidades, oportunidades y desafíos para el desarrollo del ecosistema y de la cadena de producción de proteínas a partir de la fermentación en el país. Los datos de este mapeo se recopilaban usando enfoques cuantitativos y cualitativos como se describe a continuación:

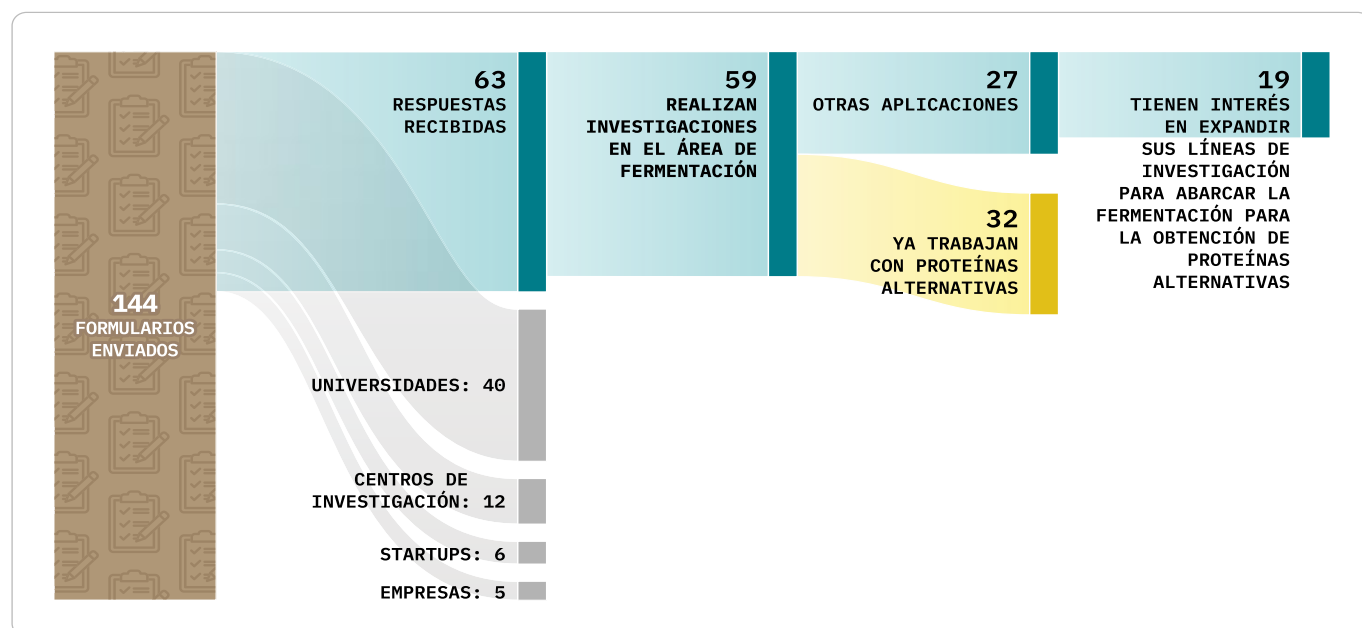
1. Motores de búsqueda (Google), bases de datos públicas ([Plataforma Sucupira](#)) y la propia base de datos de GFI ([Alternative Protein Company Database](#)) se encuestaron 240 instituciones, incluidas universidades, *startups*, centros de investigación y empresas relevantes en el área de proteínas alternativas.
2. De estas 240 instituciones, fue posible obtener los datos de contacto específicos (correo electrónico) de 144 personas vinculadas a ellas, como coordinadores de cursos, colaboradores e investigadores. Estos profesionales recibieron un [cuestionario en línea](#) en el cual se abordaron las más variadas preguntas incluyendo productos desarrollados, líneas de investigación, proximidad de la institución con el tema de proteínas alternativas, infraestructura instalada para ensayos de laboratorio y escalado, captación de fondos, contacto con proveedores, dificultades enfrentadas, entre otras.

3. De los contactos específicos obtenidos, se seleccionaron 18 para una recopilación de información más profunda mediante consultas y entrevistas.

Los datos obtenidos del mapeo generaron un amplio análisis del escenario de la tecnología de fermentación aplicada a proteínas alternativas en Brasil, que servirá como soporte para el desarrollo de las actividades de GFI Brasil en esta área. En virtud de la relevancia de la información para otros actores del ecosistema de proteínas alternativas, los principales resultados obtenidos en este estudio se compartirán en los temas siguientes, además de las oportunidades y desafíos identificados con base en el análisis del escenario mapeado.

4.2. Principales hallazgos

De los 144 envíos del cuestionario, se obtuvieron 63 respuestas divididas entre 40 universidades, 12 centros de investigación, 5 empresas y 6 *startups*. De estos, 59 respondieron que están activos en el desarrollo de investigaciones en el área de la fermentación, y la mayoría (54%) ya trabaja con proteínas alternativas (32 encuestados) y el 46% trabaja con la fermentación para otras aplicaciones (27 encuestados). De este 46%, una gran parte (71%) dice estar interesada en ampliar sus líneas de investigación para incluir la fermentación para obtener proteínas alternativas.



Se observó que, entre las instituciones que actúan en el área de proteínas alternativas, el 43,8% realiza solo un tipo de fermentación y cuenta con una infraestructura más específica dedicada a este único enfoque. De las instituciones con este perfil, el 18,8% solo realiza fermentación de biomasa, el 12,5% solo fermentación tradicional y el 12,5% solo fermentación de precisión. Las instituciones con un perfil de investigación más diversificado, es decir, activas en la realización de dos o más tipos de fermentación, representan el 56,62% del total. De estas, alrededor de un tercio (37,5%) realiza fermentación de biomasa o tradicional y fermentación de precisión y disponen de una infraestructura más completa y versátil para desarrollar líneas de investigación más amplias. El 18,8% restante de instituciones realiza investigaciones con fermentación tradicional y de biomasa. Estos resultados demuestran la amplitud de actuación de las instituciones brasileñas mapeadas, en términos técnicos y de infraestructura, dentro del tema de la fermentación, y la mayoría es capaz de realizar investigaciones en los tres diferentes enfoques tecnológicos.

También se mapearon las capacidades instaladas de biorreactores (Figura 5) y los resultados demostraron un predominio de infraestructura de investigación a escala de laboratorio (biorreactores de 1-10L) presente en el 70% de todas las instituciones evaluadas. Infraestructuras de este tipo permiten evaluar la mayor parte de las variables del proceso, como la tasa de agitación, el control de temperatura y del pH, pero son insuficientes para identificar el criterio de escalado ideal y permitir en consecuencia la transición a escalas de producción industrial.

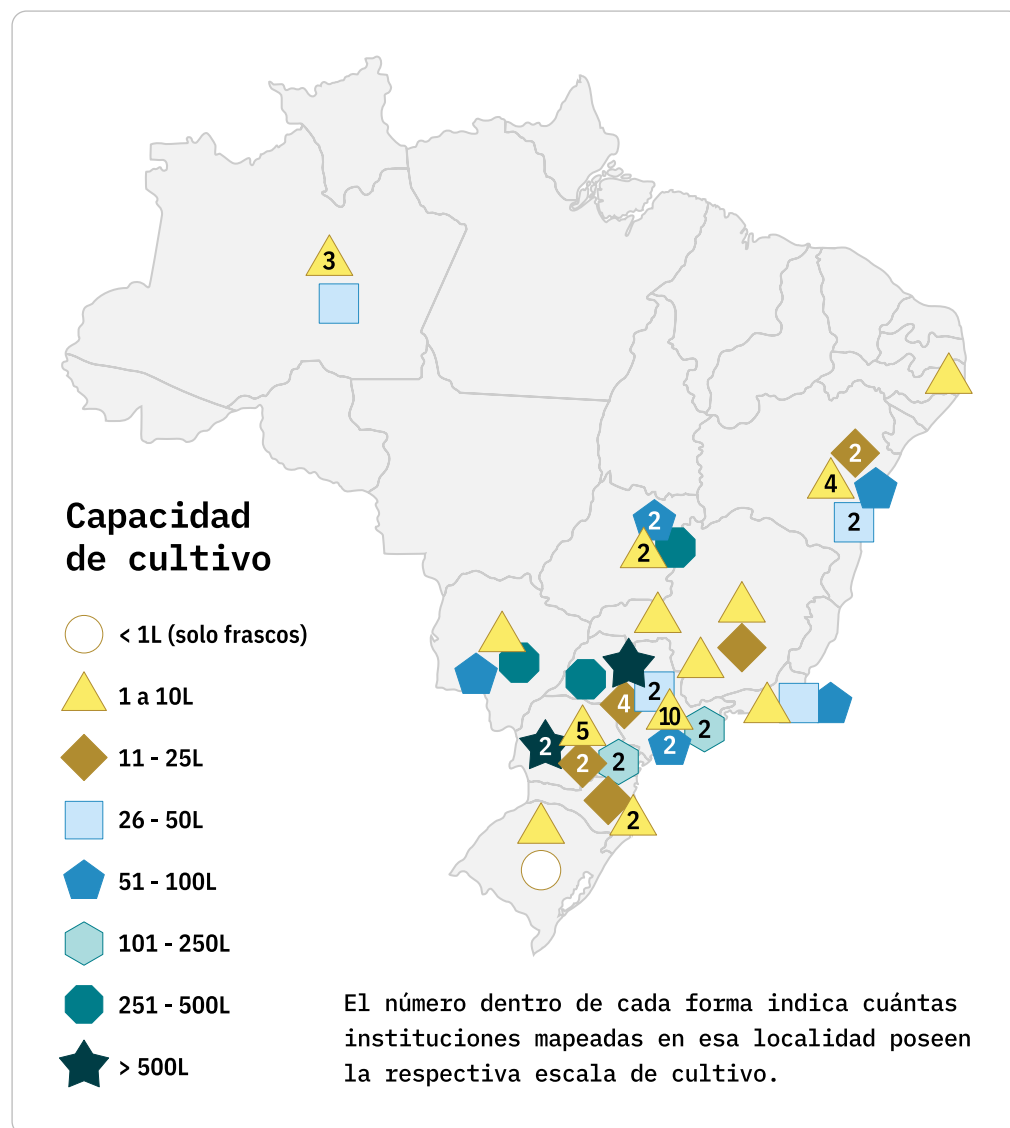
Las infraestructuras piloto de escalado (por encima de 11L) mapeadas en el estudio se concentran en centros de investigación, institutos tecnológicos e instituciones privadas. Solo seis instituciones afirmaron tener biorreactores con volúmenes superiores a 100 litros, lo que puede representar un desafío para quienes buscan escalar sus procesos. El establecimiento de la escala piloto colabora con una visión realista de los rendimientos del proceso, del análisis del gasto energético y de los costos — por lo que se denomina escala “demostrativa”— la producción a esta escala es esencial para realizar el

estudio de viabilidad del proceso, necesario para las empresas que buscan financiación y para permitir que las tecnologías pasen a la fase de producción a escala industrial.

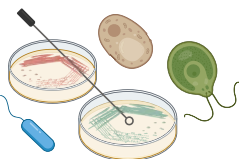
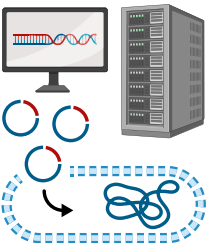
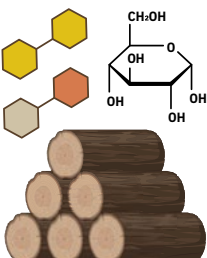
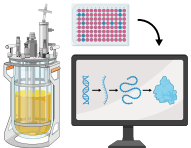
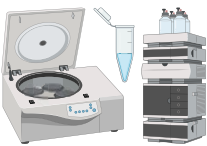
Con base en los datos del estudio, se constató que la industria de tecnología en proteínas alternativas por medio de fermentación en Brasil está en formación, y se caracteriza por una alta fragmentación de *players* y por un alto potencial de diferenciación de productos. Las empresas mapeadas son en su mayoría *startups* en etapas tempranas de desarrollo. En las entrevistas, se observó que la mayoría de las *startups* se encuentra en la etapa de prueba de concepto, ensayos de laboratorio y desarrollo de productos, mientras que unas pocas se encuentran en la etapa piloto o en inicio de producción industrial. Las empresas con líneas de ingresos o incluso en *break-even* enfrentan desafíos de escalabilidad debido a la falta de inversiones y proyecciones más estables en términos de demanda. Además, las *startups* manifestaron tener dificultades para encontrar estructuras para escalar sus productos. Es importante resaltar que, entre las instituciones con infraestructura piloto disponible, solo tres cuentan con la certificación *food grade*. Este resultado es probablemente un reflejo de los objetivos de las instituciones con este perfil, que en su mayoría no están centradas en la investigación o producción de alimentos o no buscan comercializar los productos de investigación. La certificación adecuada de estas infraestructuras y la viabilización del acceso de las *startups* a las estructuras existentes son puntos cruciales para que los negocios evolucionen y para que el ecosistema de producción de proteínas alternativas mediante fermentación se desarrolle en el país. Tales adaptaciones pueden facilitar, por ejemplo, la transición de *startups* por el desafiante “valle de la muerte”⁵. Durante esta etapa, muchas de ellas fracasan debido a la falta de recursos o a la incapacidad de demostrar la viabilidad comercial de su producto o servicio.

5 El término se refiere al periodo crítico en la vida de una *startup* o de un proyecto, en el cual la empresa enfrenta grandes dificultades financieras y operativas para transformar una idea innovadora en un producto comercialmente viable.

FIGURA 5
Mapeo de la
capacidad instalada
de instituciones
brasileñas para la
investigación con
cultivo microbiano.



El mapeo también destacó el papel esencial de las universidades en este ecosistema. Representan casi dos tercios de las instituciones mapeadas y desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de la investigación en el país, impulsando el desarrollo científico y tecnológico del sector. En cuanto al potencial científico y a las líneas de investigación desarrolladas (Tabla 5), los resultados demostraron una concentración de investigaciones que implican el uso de subproductos para la producción de medios de cultivo en curso en aproximadamente el 90% de las instituciones mapeadas. También fue posible identificar las líneas de investigación menos exploradas por los investigadores brasileños mapeados, como aquellas que implican procesos de *downstream* y son desarrolladas por solo el 29% de los investigadores que trabajan con fermentación de biomasa y fermentación tradicional, aunque son el objetivo de investigación para el 64% de los activos en fermentación de precisión. Es esencial desarrollar nuevos enfoques para la purificación y secado de proteínas que reduzcan el costo y aumenten el rendimiento y la sostenibilidad de los procesos de *downstream* para viabilizar la producción de proteínas alternativas mediante fermentación de precisión. Otro punto destacado es que solo el 36% de los investigadores mapeados están trabajando en la prospección de nuevos microorganismos y en la exploración de la biodiversidad microbiana de los biomas brasileños. Esta podría ser una gran oportunidad para explorar y valorizar la gran biodiversidad que existe en el país (Figura 5).

Tema de investigación	Fermentación de precisión	Fermentación de biomasa y tradicional	
	Prospección de nuevos microorganismos	na	36%
	Uso de análisis ómico para la búsqueda de moléculas target	57%	na
	Desarrollo de chasis microbianos para fermentación de precisión	86%	na
	Optimización de la clonación/ expresión heteróloga	86%	na
	Uso de residuos industriales/ agroindustriales como componentes del medio de cultivo	93%	86%
	Optimización de componentes o cantidades de componentes de medio sintético	50%	43%
	Optimización de las condiciones de fermentación	100%	93%
	Estudios de ingeniería metabólica	79%	na
	Optimización de las operaciones de <i>downstream</i> (procesos de separación, purificación, etc.)	64%	29%

na: no se aplica. El tema no se incluyó en el formulario de este enfoque tecnológico.

TABLA 5
Porcentaje de instituciones brasileñas mapeadas que realizan investigaciones sobre cada tema de la cadena del procesos de fermentación.



En la biodiversidad
Prospección de nuevos microorganismos en la biodiversidad brasileña.



En la agroindustria
Residuos agroindustriales abundantes y de bajo costo que investigar con el propósito de medios de cultivo para la fermentación.



CUADRO 7
Oportunidades de investigación en Brasil.

4.3. Oportunidades y desafíos identificados

Brasil tiene un enorme potencial para sobresalir e influir en el avance de la tecnología de fermentación para proteínas alternativas en el mundo, en especial por su protagonismo en biodiversidad y agricultura, y por su capital humano. Entre sus fortalezas se pueden destacar: la abundante biodiversidad de microorganismos y la disponibilidad de materias primas para la fermentación. Algunos ejemplos de materias primas son la caña de azúcar, el maíz, los residuos agroindustriales y los subproductos de las industrias de alimentos y bebidas, como los que proceden de la industria cervecera (levadura o bagazo de malta). Además, el país cuenta con una importante capacidad técnica y productiva, impulsada por las empresas que utilizan la fermentación a gran escala para diferentes fines comerciales, como en los sectores alimentario, químico, de salud y de biocombustibles.

A pesar de la similitud de los procesos de fermentación desarrollados en diferentes tipos de industrias del país, la producción de proteínas alternativas que utiliza esta tecnología presenta características únicas que hacen de la formación de profesionales especializados en esta área una de las iniciativas cruciales para el desarrollo de la industria. El conocimiento en microbiología industrial, escalado de bioprocesos, construcción y operación de biorreactores, procesos de separación y purificación de bioproductos, técnicas asépticas, conocimientos de biología molecular y bioquímica, y desarrollo de formulaciones y productos finales, por ejemplo, son esenciales para la ejecución de bioprocesos de fermentación. El mapeo realizado demostró que los profesionales que participan en el ámbito de fermentación son principalmente biólogos, ingenieros de bioprocesos, ingenieros químicos y biotecnólogos, con creciente presencia de ingenieros de alimentos en el caso de instituciones que realizan investigaciones en proteínas alternativas. La diversidad de profesionales refleja la multidisciplinariedad de la cadena de fermentación, cuyo desarrollo aún depende de otros profesionales como ingenieros mecánicos, mecatrónicos y eléctricos que trabajan produciendo equipos y sensores para biorreactores, y este último elemento representa una

línea de investigación aún poco explorada en Brasil. Nuevos modelos de biorreactores *high throughput* han surgido como herramientas poderosas para la validación de procesos de fermentación, además del uso de herramientas de Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático para la optimización de procesos.

Brasil también tiene la oportunidad de movilizar alianzas asertivas con las industrias, para superar los desafíos tecnológicos y optimizar la producción. Ejemplos como la cooperación de las industrias de alcohol para viabilizar equipos industriales de fermentación para la producción de proteínas alternativas demuestran cómo podemos aprovechar la *expertise* y la infraestructura ya instaladas en el país para destacar también en la producción de alimentos elaborados a partir de proteínas alternativas obtenidas por fermentación (véase el Cuadro 8). El concepto de economía circular también se puede aplicar a esta cadena, conectando agroindustrias e industrias alimentarias con empresas de fermentación para aportar sus subproductos como sustratos para el desarrollo de microorganismos.

Recientemente, la regulación nacional de nuevos alimentos ha facilitado la entrada de Brasil en el sector de proteínas mediante fermentación, ya que asegura su producción y comercialización nacional, creando oportunidades tanto para las empresas ya establecidas en este segmento como para nuevos participantes. Esta regulación también minimiza los riesgos para los inversores, una vez que los productos alternativos se vuelven confiables y seguros, incentivando oportunidades de negocios tanto para empresas consolidadas como para nuevos inversores en *startups*. Pueden movilizar capital nacional o extranjero según sea necesario.

Con base en el mapeo y en estudios internos realizados en GFI Brasil, el desarrollo de esta industria enfrenta dos desafíos centrales: atraer recursos financieros para su crecimiento y producir productos competitivos en términos de precio y calidad. Esto requiere inversiones en investigación, desarrollo de insumos, optimización de procesos, estudios de escalado y viabilidad económica.

La movilización de recursos puede ocurrir por medio de donaciones o patrocinios privados, inversiones privadas y fomento público. Estrategias de visibilidad, competitividad y anticipación regulatoria son ejemplos de motivadores de las inversiones privadas, que en su mayoría están impulsadas por la viabilidad económica y financiera de los modelos de negocios presentados. Para este sector en Brasil, esto implica directamente la necesidad de crear infraestructura compartida para la producción de proteínas alternativas mediante fermentación. Esto se debe a que uno de los mayores desafíos en la expansión de la capacidad de fermentación de Brasil radica en la falta de infraestructura a escala piloto que sirva de base para el escalado industrial, como se destacó en el tema anterior de este documento, lo que limita las oportunidades de escalado, estudios de viabilidad económica con datos a escala representativa, además de la viabilidad de pruebas de productos e ingredientes por parte de posibles socios e inversores.

Por último, el desarrollo de productos competitivos implica superar el desafío de la aceptación por parte del consumidor. En ese sentido, las características cruciales que pueden influir en la actitud del consumidor son el precio (Newton et al., 2024), los aspectos sensoriales y la salubridad (Good Food Institute, 2021). El desafío del precio tiende a mitigarse a medida que se adoptan procesos e insumos de menor costo, así como al escalar la producción mediante el aumento del consumo y las economías de escala. Para lograr la calidad sensorial y nutricional del producto, es necesario invertir en investigación y desarrollo de insumos y procesos. Cabe recordar el potencial ampliamente discutido en este documento respecto a la generación de ingredientes que promuevan mejoras sensoriales y nutricionales en productos vegetales análogos mediante la fermentación.

La producción de proteínas mediante fermentación puede implicar costos elevados, incluidos equipos, infraestructura y operaciones. Y este costo puede variar para cada tipo de fermentación, considerando las etapas de *upstream* y *downstream*. En la fermentación de precisión, los procesos de purificación elevan los costos de equipos, mientras que en la fermentación tradicional los costos de *upstream* tienden a ser menores debido a la menor complejidad de los biorreactores utilizados, por ejemplo. Las opciones más allá de la construcción de una nueva planta y adquisición de nuevos equipos incluyen asociaciones con Contract Manufacturing Organizations (CMO), donde se externaliza la producción, o incluso se realizan adaptaciones (retrofit) de instalaciones y equipos de una industria existente.

La inversión en CMO en el sector de proteínas alternativas en Brasil es una gran oportunidad también para el país, no solo para satisfacer la demanda interna de las *startups* brasileñas, sino también una demanda global por este tipo de infraestructura, considerando las ventajas competitivas que el país ya presenta, como la amplia disponibilidad de sustratos de bajo costo y una cadena bien establecida.

CUADRO 8

Oportunidades para las industrias de fermentación y bioprocesos en el desarrollo de infraestructuras industriales.

En Brasil, donde la industria de la fermentación en algunos sectores ya está bien establecida, es posible que parte de la infraestructura existente se adapte a procesos de fermentación para la producción de proteínas alternativas. Esto podría reducir el CAPEX⁶ inicial hasta en un 70% y reducir el tiempo de construcción hasta en 6 meses, dependiendo de la cantidad de ajustes necesarios a los equipos y las instalaciones (Good Food Institute, 2023b).

Varias industrias paralelas con instalaciones podrían ser candidatas adecuadas para la adaptación a la fermentación de biomasa, pero tres se presentan con el mayor potencial de conversión o capacidad de adaptación:



Cervecerías: Las similitudes significativas de procesos y las condiciones ventajosas del mercado indican la disponibilidad de instalaciones y equipos inactivos o fuera de servicio.



Plantas de etanol: El edificio adjunto proporciona acceso directo a la fuente más barata de materia prima necesaria para la fermentación, lo que reduce el riesgo de la cadena de suministro y los costos operativos ([Amyris](#) y [Lesaffre](#) son ejemplos de ello). Además, en Brasil aun es posible reducir los impactos ambientales del proceso mediante el uso de fuentes de energía renovables ya producidas en estas instalaciones.



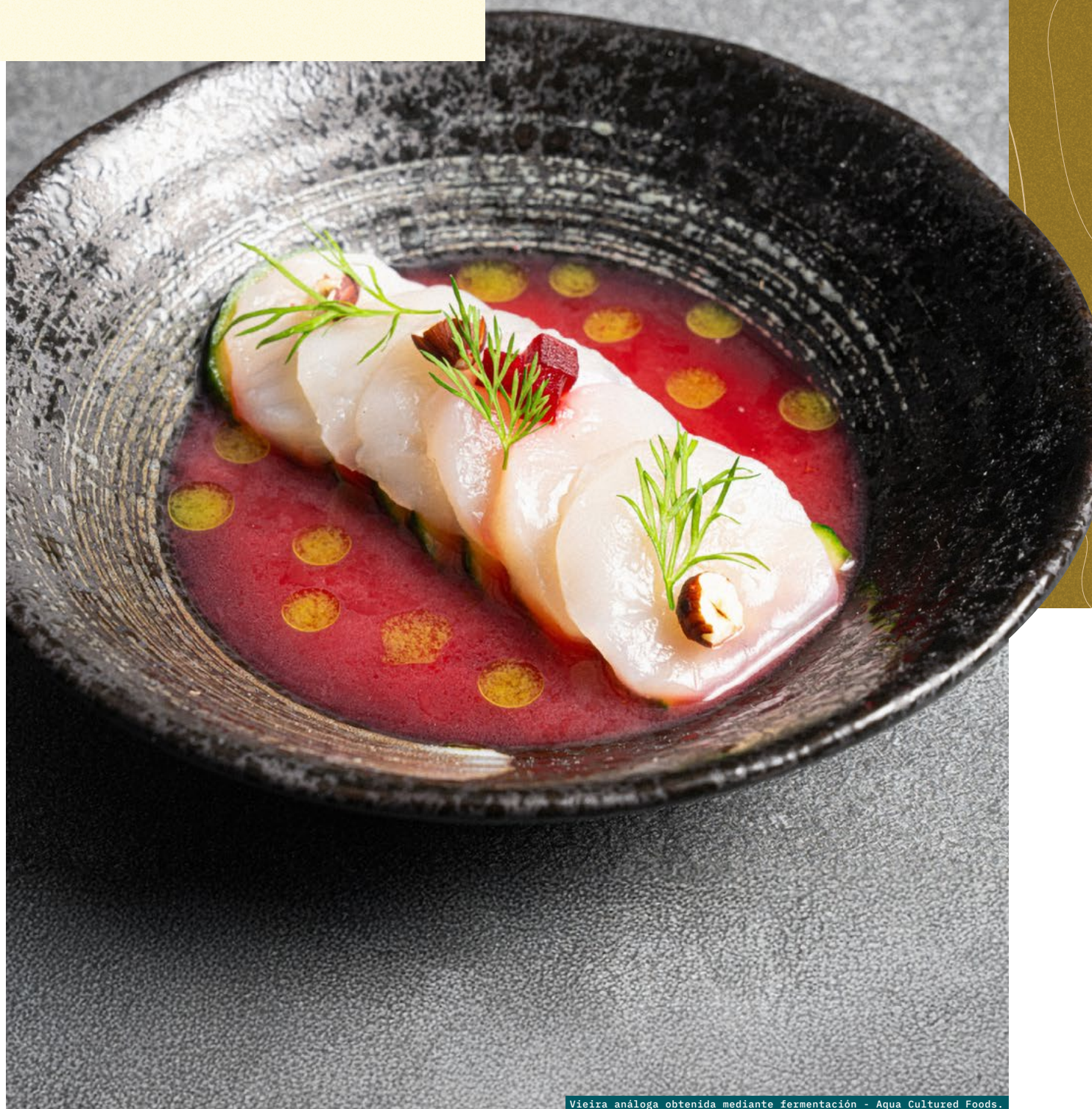
Vinícolas: Hay estudios de caso en Estados Unidos que demuestran el potencial de aprovechar el 75% del tiempo de inactividad de los equipos a lo largo del año, debido a la estacionalidad de la producción de vino, especialmente en vinícolas que usan fermentadores de acero inoxidable (y, por lo tanto, esterilizables).

Conozca más en: [Manufacturing capacity landscape and scaling strategies for fermentation-derived protein.](#)

⁶ El término CAPEX (Capital Expenditure o Gastos de Capital, en español) se refiere a las inversiones de una empresa en activos fijos.

5

Consideraciones finales



Vieira análoga obtenida mediante fermentación - Aqua Cultured Foods.

Para asegurar la viabilidad de las industrias de proteínas obtenidas mediante fermentación, es esencial contar con una cadena de suministro sólida y un ecosistema emprendedor sólido. Esto implica la colaboración entre agroindustrias, industrias alimentarias, empresas de fermentación y otros *stakeholders*. Universidades, *startups* y empresas lideran la innovación, mientras que los inversores y las agencias gubernamentales brindan apoyo financiero y regulatorio, creando una red colaborativa y la cooperación entre estos diversos actores para impulsar la industria de las proteínas obtenidas mediante fermentación.

En Brasil, aunque hay un crecimiento significativo en el interés por las proteínas alternativas, los datos de inversión aún muestran brechas en comparación con otros países. Si bien naciones como Estados Unidos y algunos países europeos han visto un aumento sustancial en las inversiones en proteínas alternativas, Brasil aún enfrenta desafíos en este sentido. Esta disparidad en la inversión podría representar un obstáculo para el pleno desarrollo de la industria de proteínas alternativas en el país, lo que pone de relieve la necesidad de un enfoque más proactivo para atraer inversiones y estimular la innovación en el sector. Lograr inversión y financiación para la investigación y el escalado de tecnologías de fermentación abre las puertas a grandes oportunidades.

Según el estudio de Moraes, Claro y Rodrigues (2023) con consulta a expertos en proteínas alternativas, los factores importantes que impulsan la innovación en este sector son los incentivos fiscales, el acceso a la financiación y los costos de oportunidades. Muchas de las barreras y facilitadores que se identifican en este estudio se presentan como cuestiones de interés público, lo que demanda que organizaciones y *stakeholders* desarrollen una comprensión colectiva sobre los temas más sensibles y urgentes que requieren acción.

Invertir en investigación y desarrollo para generar nuevas tecnologías para los procesos de fermentación puede generar retornos significativos en la próxima década (Visão de Futuro..., 2018). Brasil tiene un gran potencial de innovación en este sector. Con una estrategia centrada y colaborativa, Brasil estará bien

posicionado para convertirse en un líder global en este mercado emergente, replicando casos exitosos de desarrollo y liderazgo del país en sectores similares como los biocombustibles, y reafirmando su liderazgo en el desarrollo de la bioeconomía.

Por lo tanto, para el avance y desarrollo de este nuevo enfoque en la tecnología de fermentación, se recomienda difundir información bien fundamentada sobre las tecnologías de fermentación para la producción de proteínas alternativas, con el fin de educar a la población y aumentar la aceptación de los consumidores. También es necesaria una inversión continua en investigación y desarrollo, con colaboraciones interdisciplinarias, para lograr el compromiso y hacer avanzar esta nueva cadena mundial de valor. Además, la implementación de alianzas entre instituciones de investigación, como universidades, *startups* y empresas, permite que las tecnologías trasciendan los laboratorios y lleguen al comercio de manera efectiva y segura. La escalabilidad de la tecnología será clave para obtener nuevos productos que sean accesibles y satisfactorios para el consumidor.



Carne análoga hecha de micelio - Meati.



Difundir contenidos técnicos y promover foros de discusión y talleres con diversos actores del ecosistema, abordando las tecnologías de fermentación para la producción de proteínas alternativas con fundamentos científicos, explicando sus beneficios e identificando las potencialidades y las ventajas competitivas del país en este sector;



Incentivar y financiar la investigación y el desarrollo en el área de fermentaciones para producción de proteínas en Brasil en universidades y centros de investigación. Resaltando temas ya identificados para superar algunos cuellos de botella tecnológicos:

- Prospección de nuevos sustratos nacionales de bajo costo, como subproductos industriales/agroindustriales, que diversifiquen y reduzcan la competencia por las fuentes de carbono y nitrógeno ya en uso;
- Desarrollo de rutas tecnológicas para la generación eficiente y segura de hidrolizados celulósicos/hemicelulósicos para su uso en la producción de alimentos;
- Prospección de nuevos microorganismos y desarrollo de chasis microbianos con potencial de producción a escala, también capaces de utilizar diversas fuentes de carbono además de azúcares (alcoholes, ácidos orgánicos, metano, CO₂, por ejemplo) permitiendo la diversificación de sustratos y no competencia con la producción de alimentos y otras cadenas;
- Optimización de bioprocesos y reducción en el uso de recursos como energía y agua;
- Reciclaje del medio y uso de subproductos del proceso, desarrollando procesos basados en el concepto de economía circular;
- Desarrollo de procesos de *downstream* más eficientes, con menor costo y menor uso de recursos (energía, agua) para fermentación de precisión;
- Estudios de ACV y TEA (*Techno-economic analysis*) con datos de la cadena brasileña para entender los potenciales y puntos de mejoramiento de la cadena.



Incentivar el establecimiento de alianzas entre instituciones que cuentan con infraestructura para pruebas piloto e instituciones que no la tienen, para establecer colaboraciones que permitan hacer pruebas de concepto y analizar la escalabilidad de los procesos, especialmente en el caso de *startups* que están atravesando el llamado “valle de la muerte”;

CUADRO 9

Call to action: ¿Qué se puede hacer para impulsar este ecosistema?

Las recomendaciones enumeradas a continuación son puntos clave identificados para desarrollar la cadena de valor de la fermentación para la producción de proteínas en Brasil.



Financiar, por medio de subsidios públicos y privados, el desarrollo de la cadena de valor de la fermentación para la producción de proteínas alternativas en Brasil, involucrando a profesionales de múltiples áreas;



Involucrar a las industrias de fermentación y CMO ya establecidas en Brasil, ampliando la capacidad instalada disponible en el país para la producción de proteínas por medio de la fermentación;



Involucrar a las agroindustrias y a las industrias de alimentos y bebidas en la cadena de fermentación para la producción de proteínas, y establecer modelos de cooperación para la concesión de sus residuos y subproductos para su uso como insumos para medios de cultivo para fermentación, a fin de incluir la producción de alimentos en el concepto de economía circular y biorrefinerías.

Glosario

Alimentos de origen animal

Productos provenientes de animales. En este informe, el término se utiliza para referirse a alimentos derivados de animales, como carne de res, cerdo, cordero, aves, mariscos, huevos y productos lácteos.

Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

Evaluación de los impactos ambientales de un producto a lo largo de todas las etapas de su producción, desde la extracción de materias primas hasta su eliminación, para registrar los impactos ambientales de la producción en su conjunto.

Biomasa

Materia orgánica producida mediante fermentación, que consiste en el propio microorganismo.

Biomasa lignocelulósica

Material vegetal compuesto principalmente de tres componentes: celulosa, hemicelulosa y lignina.

Biorreactor

Equipo utilizado en procesos de fermentación para controlar las condiciones ideales para el crecimiento y producción de microorganismos, como temperatura, humedad, pH, etc.

Break even

También conocido en las empresas como “punto de equilibrio”, es el punto en el que los ingresos igualan los costos y gastos de un negocio durante un período. No es más que el momento exacto en el que la balanza del negocio está completamente equilibrada, es decir, no hay pérdida ni ganancia.

CAPEX

El término CAPEX (*Capital Expenditure* o Gastos de Capital, en español) se refiere a las inversiones que una empresa realiza en activos fijos. El CAPEX representa el capital utilizado por las empresas para comprar, implementar, expandir o reemplazar activos físicos como edificios, equipos, maquinaria, instalaciones y otros activos.

Carne cultivada

Carne producida directamente de células animales. Esto se hace extrayendo células de un animal vivo y cultivándolas en biorreactores. Las células se pueden diferenciar en músculos, grasas u otros tipos de células para crear productos que tengan la misma estructura tridimensional, perfil nutricional y propiedades organolépticas o similares a la carne convencional.

Cepa

Se refiere a un linaje específico de microorganismos que se utilizan para realizar la fermentación.

CRISPR

Tecnología de edición genética que permite la modificación precisa de secuencias de ADN en organismos vivos.

Cultivos iniciadores o Starter

Se refiere a microorganismos específicos añadidos intencionalmente a un medio de fermentación para iniciar y controlar el proceso.

Debris celulares

Son fragmentos o residuos celulares resultantes del proceso de ruptura de los microorganismos tras la fermentación.

Downstream

Se refiere a las etapas posteriores al proceso de fermentación, incluida la recuperación, purificación y formulación de productos deseados, como proteínas, tras la fermentación.

Economía circular

Es un modelo sostenible que tiene como objetivo minimizar el desperdicio y optimizar el uso de los recursos, promoviendo la reutilización, el reciclaje y la recuperación de materiales o residuos.

Expertise

Habilidad, conocimiento y experiencia especializada en un área específica.

Fermentación

Proceso biológico que convierte el medio de cultivo rico en nutrientes, como azúcares, en alcohol, ácidos, gases, proteínas, etc., realizado generalmente por microorganismos como bacterias, levaduras u hongos.

Fermentación de biomasa

Proceso de fermentación que tiene como objetivo multiplicar microorganismos y, posteriormente, utilizar el propio microorganismo (es decir, la biomasa celular) como fuente de proteínas y otros constituyentes de interés alimentario.

Fermentación tradicional

Proceso en el que se añaden microorganismos a una matriz de origen vegetal o animal, con el objetivo de mejorar las características sensoriales, incrementar el valor nutricional y mejorar la biodisponibilidad de las proteínas por medio de su multiplicación y de la generación de compuestos metabólicos.

Fermentación de precisión

Proceso que utiliza microorganismos genéticamente modificados para producir ingredientes funcionales específicos, incluyendo proteínas, vitaminas y moléculas de sabor. Estos podrían usarse en nuevos alimentos de origen vegetal para mejorar el sabor o la textura, y en carne cultivada para permitir un crecimiento más eficiente, por ejemplo.

High throughput

El Cribado de Alto Rendimiento es un método de descubrimiento científico que utiliza robótica, *softwares* de procesamiento/control de datos, dispositivos de manipulación de líquidos y detectores sensibles, que permiten a un investigador realizar rápidamente un mayor número de pruebas y acelerar el logro de resultados y procesos optimizados.

Insumos

Elementos utilizados como materias primas para producir alimentos.

Leghemoglobina

Proteína de tipo hemo que se encuentra en los nódulos de las raíces de las plantas leguminosas, como la soja. Se utiliza en hamburguesas de origen vegetal para imitar el sabor y la jugosidad de la carne convencional.

Machine learning

O Aprendizaje automático, es una rama de la Inteligencia Artificial que se centra en crear sistemas que puedan aprender de los datos. En lugar de estar programados con reglas específicas para realizar una tarea directamente, estos sistemas se entrenan utilizando datos y algoritmos que les permiten mejorar su rendimiento para lograr su objetivo. En otras palabras, el *Machine Learning* permite que las computadoras aprendan a partir de los datos, sin necesidad de programar explícitamente esa tarea.

Micelio

Estructura de los hongos filamentosos formada por largos filamentos de células (hifas) que se ramifican y se entrelazan.

Micoproteína

Término que define la proteína derivada de los hongos, con origen en el griego, donde “mico” significa hongo.

Neofobia

Miedo o aversión a nuevas experiencias, como negarse a probar nuevos alimentos.

Organismos genéticamente modificados (OGM)

Son organismos cuyo material genético ha sido alterado de una manera que no ocurre naturalmente mediante el cruce o recombinación natural.

Producción convencional

Se refiere a la producción animal tradicional, que implica desde la reproducción de animales, la alimentación, el desarrollo hasta el sacrificio.

Producto convencional

Se refiere a productos de origen animal, como la carne, la leche y los huevos.

Productos derivados de la fermentación

Productos obtenidos mediante procesos microbianos, es decir, mediante el cultivo de microorganismos como bacterias, levaduras, microalgas y hongos filamentosos.

Propiedades organolépticas

Propiedades sensoriales como sabor, aroma, textura, humedad, sensación en la boca, apariencia y color.

Proteínas alternativas

Fuentes de proteínas no convencionales (como la proteína animal), a menudo de origen vegetal, de cultivo celular o de fermentación.

Purificación

Proceso de separación y eliminación de impurezas, tales como otros componentes celulares y subproductos, para obtener una proteína purificada de alta calidad.

Resolución RDC n.º 839 (14 de diciembre del 2023, ANVISA)

Resolución que establece la comprobación de la seguridad y la autorización de uso de nuevos alimentos y nuevos ingredientes.

Seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria se refiere a garantizar que todas las personas tengan acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, seguros y nutritivos que satisfagan sus necesidades y preferencias alimentarias para una vida activa y saludable.

Single-Cell Oil (SCO)

Aceites producidos a partir de microorganismos unicelulares, como bacterias, levaduras o algas.

Single-Cell Protein (SCP)

Proteínas producidas a partir de microorganismos unicelulares, como bacterias, levaduras o algas.

Stakeholders

Las partes interesadas en la fermentación de proteínas alternativas incluyen productores, consumidores, grupos de interés específico (defensa del medio ambiente, reducción del sufrimiento animal, promoción de la salud integral, etc.), reguladores y la industria alimentaria.

Startup

Es una empresa de base tecnológica, con un modelo de negocios repetible, escalable y sostenible, que vive en un escenario de riesgos e incertidumbres. Puede operar en diferentes áreas y mercados y utiliza la tecnología como base de sus operaciones. Se crea para resolver dolores o problemas que hasta entonces eran irresolubles o para mejorar soluciones antiguas que ya no son tan eficientes. Esto hace que el desafío para quienes crean el negocio sea mucho mayor. Otra gran diferencia está en los objetivos: mientras una empresa tradicional busca una rentabilidad y valor estables a largo plazo, el objetivo de las *startups* es captar inversiones que les permitan consolidar su modelo de negocio, crecer y aumentar las ganancias de manera exponencial.

Upstream

Se refiere a la fase inicial del proceso de producción, que comprende etapas como la selección de microorganismos, la optimización de las condiciones de cultivo y la preparación de la biomasa (organismos vivos utilizados en el proceso de fermentación). En la producción de proteínas, esta etapa también puede incluir ingeniería genética para mejorar la expresión y producción de la proteína deseada. El término “*upstream*” resalta la parte del proceso que ocurre antes de la fermentación propiamente dicha.

Valle de la muerte

Se refiere al período crítico en la vida de una *startup* o de un proyecto, en el que la empresa enfrenta grandes dificultades financieras y operativas para transformar una idea innovadora en un producto comercialmente viable.

Vectores de expresión

O plásmidos son secuencias circulares de ADN que se utilizan como vehículo para transportar secuencias de ADN extrañas al interior de una célula huésped. Permiten la producción de proteínas diferentes a las que normalmente genera la célula, por medio del ADN externo. Son vectores de clonación con todos los elementos genéticos que permiten la expresión de proteínas recombinantes.

Referencias bibliográficas

ADEBO, J. A. et al. Fermentation of cereals and legumes: Impact on nutritional constituents and nutrient bioavailability. *Fermentation*, Basel, v. 8, n. 2, p. 63, 2022. DOI: 10.3390/fermentation8020063.

AGGELOPOULOS, T. et al. Solid state fermentation of food waste mixtures for single cell protein, aroma volatiles and fat production. *Food chemistry*, London, v. 145, p. 710-716, 2014. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.07.105.

AJUSTES NA ÁREA de milho e soja resultam em uma produção de 295,45 milhões de toneladas na safra 2023/2024. Conab, Brasília, DF, 14 maio 2024. Disponible en: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5531-ajustes-na-area-de-milho-e-soja-resultam-em-uma-producao-de-295-45-milhoes-de-toneladas-na-safra-2023-2024>. Consultado el: 7 jun. 2024.

ALMADA, C. N. et al. Paraprobiotics: Evidences on their ability to modify biological responses, inactivation methods and perspectives on their application in foods. *Trends in Food Science & Technology*, Amsterdam, v. 58, p. 96-114, 2016.

ALMEIDA, A. D. A.; CONTO, L. C. Lúpulo no Brasil: Uma cultura promissora em ascensão. *Food Science Today*, v. 3, n. 1, n. 1-6. 2024. DOI: 10.58951/fstoday.2024.001

ALTERNATIVE PROTEIN MARKET. Precision Business Insights, [s. l.], 2023. Disponible en: <https://www.precisionbusinessinsights.com/market-reports/alternative-protein-market#:~:text=Alternative%20Protein%20Market%20size%20was,through%20the%20way%20of%20fermentation>. Consultado el: 1 fev. 2024.

ALVIM, J. C. et al. Biorrefinarias: Conceitos, classificação, matérias primas e produtos. *Journal of bioenergy and food science*, Florianópolis, v. 1, n. 3, p. 61-77, 2014. DOI: 10.18067/jbfs.v1i3.22.

ANEC ELEVA PREVISÕES de exportação de soja, farelo e milho em junho. Forbes Agro, [s. l.], 11 jun. 2024. Disponible en: <https://forbes.com.br/forbesagro/2024/06/anec-eleva-previsoes-de-exportacao-de-soja-farelo-e-milho-em-junho/>. Consultado el: 14 jun. 2024.

ANUPONG, W. et al. Sustainable bioremediation approach to treat the sago industry effluents and evaluate the possibility of yielded biomass as a single cell protein (SCP) using cyanide tolerant *Streptomyces tritici* D5. *Chemosphere*, Amsterdam, v. 304, 135248 Oct. 2022. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.135248.

ARORA, S.; RANI, R.; GHOSH, S. Bioreactors in solid state fermentation technology: Design, applications and engineering aspects. *Journal of Biotechnology*, Amsterdam, v. 269, p. 16-34, Mar. 2018. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2018.01.010.

AUGUSTIN, M. A. et al. Innovation in precision fermentation for food ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Abingdon, v. 64, n. 18, 2023. DOI: 10.1080/10408398.2023.2166014.

AYIVI, R. D. et al. Lactic Acid Bacteria: Food Safety and Human Health Applications. *Dairy*, Basel, v. 1, n. 3, p. 202-232, 2020. DOI: 10.3390/dairy1030015.

BALA, S. et al. Transformation of Agro-Waste into Value-Added Bioproducts and Bioactive Compounds: Micro/Nano Formulations and Application in the Agri-Food-Pharma Sector. *Bioengineering*, Basel, v. 10, n. 2, 1522023, Feb. 2023. DOI: 10.3390/bioengineering10020152.

BANKS, M. et al. Industrial production of microbial protein products. *Current Opinion in Biotechnology*, Amsterdam, v. 75, 102707, June 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2022.102707>.

BANOVIC, M.; GRUNERT, K. G. Consumer acceptance of precision fermentation technology: A cross-cultural study. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, Amsterdam, v. 88, 103435, Aug. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103435>.

BEHRENS, J. H.; ROIG, S. M.; SILVA, M. Fermentation of soymilk by commercial lactic cultures: development of a product with market potential. *Acta Alimentaria*, v. 33, n. 2, p. 101-109, 2004. DOI: 10.1556/aalim.33.2004.2.2.

BONNY, S. P. F. et al. What is artificial meat and what does it mean for the future of the meat industry? *Journal of Integrative Agriculture*, Amsterdam, v. 14, n. 2, p. 255-263, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60888-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60888-1).

CAPES DESTACA A necessidade de investimentos públicos e privados em ciência. Capes, Brasília, DF, 25 mar. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/assuntos/noticias/ciencia-precisa-de-investimentos-publicos-e-privados-destaca-capes>. Consultado el: 7 jun. 2024.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Bioeconomia no Brasil e no mundo: panorama da produção científica. Brasília, DF: CGEE, 2021. Boletim Temático da Bioeconomia. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/6917123/CGEE_OBio_bol-tem-bio.pdf. Consultado el: 8 nov. 2024.

CHOI, K. R.; YU, H. E.; LEE, S. Y. Microbial food: microorganisms repurposed for our food. *Microbial biotechnology*, Hoboken, v. 15, n. 1, p. 18-25, 2022. DOI: 10.1111/1751-7915.13911.

DAHIYA, Divakar; NIGAM, Poonam Singh. Probiotics, prebiotics, synbiotics, and fermented foods as potential biotics in nutrition improving health via microbiome-gut-brain axis. *Fermentation*, Basel, v. 8, n. 7, p. 303, 2022. DOI: 10.3390/fermentation8070303.

DECKERS, M. et al. Genetically modified microorganisms for industrial food enzyme production: An overview. *Foods*, Basel, v. 9, n. 3, 326, 2020. DOI: 10.3390/foods9030326.

DEMIRGUL, F. et al. Amino acid, mineral, vitamin B contents and bioactivities of extracts of yeasts isolated from sourdough. *Food Bioscience*, Berlin, v. 50, Part A, 102040, 2022. DOI: 10.1016/j.fbio.2022.102040. Disponível em: <https://www.rethinkx.com/food-and-agriculture>. Consultado el: 6 fev. 2024.

DIWAN, B.; GUPTA, P. Lignocellulosic Biomass to Fungal Oils: A Radical Bioconversion Toward Establishing a Prospective Resource. In: YADAV, A. et al. (ed.). *Recent Advancement in White Biotechnology Through Fungi*. Berlin: Springer, 2019. p. 407-440. DOI: 10.1007/978-3-030-14846-1_14.

DURKIN, A. et al. Can closed-loop microbial protein provide sustainable protein security against the hunger pandemic? *Current Research in Biotechnology*, Amsterdam, v. 4, p. 365-376, 2022. DOI: 10.1016/j.crbiot.2022.09.001.

EASTHAM, J. L.; LEMAN, A. R. Precision fermentation for food proteins: ingredient innovations, bioprocess considerations, and outlook – a mini-review. *Current Opinion in Food Science*, Amsterdam, v. 58, 101194, Aug. 2024. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799324000729?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=8df835b2392e27ef. Consultado el: 8 nov. 2024.

ETTINGER, J. Nestlé Swaps Out Cow's Milk for Perfect Day's Precision Fermentation in Cowabunga. *Green Queen*, [s. l.], 2022. Disponible en: <https://www.greenqueen.com.hk/nestle-perfect-day-precision-fermentation-cowabunga/>. Consultado el: 1 fev. 2024.

FASOLIN, L. H. et al. Emergent food proteins—Towards sustainability, health and innovation. *Food Research International*, Amsterdam, v. 125, 108586, Nov. 2019. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108586.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Methods for Estimating Greenhouse Gas – Emissions from Food Systems – Part III: Energy Use in Fertilizer Manufacturing, Food Processing, Packaging, Retail and Household Consumption. Rome: Food and Agriculture Organization, 2021. p. 71.

GLIENKE, C. et al. Microbiological Collections in Brazil: Current Status and Perspectives. *Diversity*, Basel, v. 16, n. 2, 1162024, Jan 2024. DOI: 10.3390/d16020116.

GOOD FOOD INSTITUTE BRASIL. O consumidor brasileiro e o mercado plant-based. [S. l.]: GFI Brasil, 2021. Disponible en: <https://gfi.org.br/wp-content/uploads/2021/02/O-consumidor-brasileiro-e-o-mercado-plant-based.pdf>. Consultado el: 19 fev. 2024.

GOOD FOOD INSTITUTE BRASIL. Série Tecnológica das Proteínas Alternativas: fermentação e processos fermentativos. São Paulo: Tiki Books; GFI Brasil, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.22491/fermentacao-processos>. Consultado el: 19 fev. 2024.

GOOD FOOD INSTITUTE. 2022 State of the Industry Report – Fermentation: Meat, seafood, eggs and dairy. Washington, DC: GFI, 2022a. Disponible en: <https://gfi.org/wp-content/uploads/2023/01/2022-Fermentation-State-of-the-Industry-Report-1.pdf>. Consultado el: 2 mar. 2024.

GOOD FOOD INSTITUTE. 2023 State of the Industry Report – Fermentation: Meat, seafood, eggs and dairy. Washington, DC: GFI, 2023a. Disponible en: <https://gfi.org/resource/fermentation-state-of-the-industry-report/>. Consultado el: 16 abr. 2024.

GOOD FOOD INSTITUTE. Manufacturing capacity landscape and scaling strategies for fermentation-derived protein. Washington, DC: GFI, 2023b. Disponible en: <https://gfi.org/resource/fermentation-manufacturing-capacity-analysis/>. Consultado el 29 de abril de 2024.

GOOD FOOD INSTITUTE. The State of Global Policy on Alternative Proteins. Washington, DC: GFI, 2022b. Disponible en: https://gfi.org/wp-content/uploads/2023/01/State-of-Global-Policy-Report_2022.pdf. Consultado el: 19 fev. 2024.

GRAHAM, A. E.; LEDESMA-AMARO, R. The microbial food revolution. *Nature Communications*, London, v. 14, n. 1, 2231, 2023. DOI: 10.1038/s41467-023-37891-1.

GUPTA, G. K. Microbial enzyme bioprocesses in biobleaching of pulp and paper: technological updates. *Microbial Bioprocesses Applications and Perspectives Progress in Biochemistry and Biotechnology*, Amsterdam, p. 319-337, 2023. DOI: 10.1016/B978-0-323-95332-0.00009-0.

- GUPTA, S.; LEE, J. J. L.; CHEN, W. N. Analysis of Improved Nutritional Composition of Potential Functional Food (Okara) after Probiotic Solid-State Fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, [s. l.], v. 66, n. 21, p. 5373-5381, 2018. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b00971.
- HAMELIN, L.; CELLIER, C. Life Cycle Assessment of animal-free whey protein production by fermentation. [S. l.: s. n.], Dec. 2022. LCA Report Version, v. 1. Disponible en: <https://bonvivant-food.com/wp-content/uploads/2023/09/Copy-of-LCA-Report-VF-Bon-Vivant-Confidential.pdf>. Consultado el: 20 abr. 2024.
- HARPER, A. R. et al. Fermentation of plant-based dairy alternatives by lactic acid bacteria. *Microbial Biotechnology*, Hoboken, v. 15, n. 5, p. 1404-1421, 2022. DOI: 10.1111/1751-7915.14008.
- HASHEMPOUR-BALTORK, F. et al. Mycoproteins as safe meat substitutes, *Journal of Cleaner Production*, v. 253, 119958, April 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.119958.
- JÄRVIÖ, N. et al. An attributional life cycle assessment of microbial protein production: a case study on using hydrogen-oxidizing bacteria. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 776, 145764, July 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.145764.
- KALE, P.; MISHRA, A.; ANNAPURE, U. S. Development of vegan meat flavour: A review on sources and techniques. *Future Foods*, Basel, v. 5, 100149, 2022. DOI: 10.1016/j.fufo.2022.100149.
- KARATAY, G. G. B.; AMBIEL, C. Aspectos nutricionais dos alimentos vegetais análogos à carne no mercado brasileiro: resumo técnico. São Paulo: Tikibooks; The Good Food Institute Brasil, 2024.
- KIM, J. et al. Properties of alternative microbial hosts used in synthetic biology: towards the design of a modular chassis. *Essays in Biochemistry*, London, v. 60, n. 4, p. 303-313, Nov. 2016. DOI: 10.1042/EBC20160015.
- KNYCHALA, M. M. et al. Precision Fermentation as an Alternative to Animal Protein, a Review. 2024. Preprint, [s. l.], 1 May 2024. DOI: 10.20944/preprints202405.0005.v1.
- KOBAYASHI, Y. et al. Life-cycle assessment of yeast-based *single-cell protein* production with oat processing side-stream. *Science of The Total Environment*, Amsterdam, v. 873, 16231815, May 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162318.
- LACERDA, D. Cientistas descobrem novas leveduras e homenageiam pesquisadores brasileiros. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 26 set. 2023. Disponible en: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/cientistas-descobrem-novas-leveduras-e-homenageiam-pesquisadores-brasileiros>. Consultado el: 7 fev. 2024.
- LATIF, A. et al. Probiotics: mechanism of action, health benefits and their application in food industries. *Frontiers in Microbiology*, Lausanne, v. 17, 14:1216674, Aug. 2023. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1216674.
- LEBLANC, J. G. et al. B-Group vitamin production by lactic acid bacteria—current knowledge and potential applications. *Journal of Applied Microbiology*, Oxford, v. 111, n. 6, p. 1297-1309, 2021. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2011.05157.x.
- LIMA, P. A. A natureza do produto e modelos de negócio na bioeconomia: estudo de caso Amyris. 2019. Dissertação (Mestrado na Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

LUPETTI, C.; CASSELLI, R. Olhar 360° sobre o consumidor brasileiro e o mercado plant-based 2023/2024. São Paulo: Tikbooks; The Good Food Institute, 2024. E-book. Disponible en: <https://gfi.org.br/wp-content/uploads/2024/05/Pesquisa-de-Consumidor-2023-2024-GFI-Brasil.pdf>. Consultado el: 8 nov. 2024.

MADHUSHAN, K. W. A. et al. Microbial production of amino acids and peptides. In: KUMAR, R. (ed.). Biorationals and Biopesticides: pest management. Berlin: De Gruyter, 2024. p. 295-334. DOI: 10.1515/9783111204819-015.

MAGALHÃES, C. E. B. et al. Candida tropicalis able to produce yeast single cell protein using sugarcane bagasse hemicellulosic hydrolysate as carbon source. Biotechnology Research and Innovation, Amsterdam, v. 2, n. 1, p. 19-21, 2018. DOI: 10.1016/j.biori.2018.08.002.

MANNA, M. et al. Evolution of food fermentation processes and the use of multi-omics in deciphering the roles of the microbiota. Foods, Basel, v. 10, n. 11, 2861, 2021. DOI: 10.3390/foods10112861.

MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA alcança 200 GW. Aneel, Brasília, DF, 7 mar. 2024. Disponible en: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/matriz-eletrica-brasileira-alcanca-200-gw>. Consultado el: 8 nov. 2024.

MELLO, A. F. M. et al. Strategies and engineering aspects on the scale-up of bioreactors for different bioprocesses. Systems Microbiology and Biomanufacturing, Berlin, v. 4, p. 365-385, 2024. DOI: 10.1007/s43393-023-00205-z.

MILANEZ, A. Y.; SOUZA, J. A. P. D.; MANCUSO, R. V. Panoramas setoriais 2030: sucroenergético. In: BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Panoramas setoriais 2030: desafios e oportunidades para o Brasil. Rio de Janeiro: BNDES, 2017. p. 107-121.

MORAES, C. C.; CLARO, P. B.; RODRIGUES, V. P. Why can't the alternative become mainstream? Unpacking the barriers and enablers of sustainable protein innovation in Brazil. Sustainable Production and Consumption, Amsterdam, v. 35, p. 313-324, 2023. DOI: 10.1016/j.spc.2022.11.008.

NEWTON, P. et al. Price above all else: An analysis of expert opinion on the priority actions to scale up production and consumption of plant-based meat in Brazil. Frontiers in Sustainable Food Systems, [s. l.], v. 8, 2024. DOI: 10.3389/fsufs.2024.1303448.

NG'ONG'OLA-MANANI, T. A. et al. Sensory evaluation and consumer acceptance of naturally and lactic acid bacteria-fermented pastes of soybeans and soybean-maize blends. Food science & nutrition, Hoboken, v. 2, n. 2, p. 114-131, 2014. DOI: 10.1002/fsn3.82.

NIELSEN, M. B.; MEYER, A. S.; ARNAU, J. The Next Food Revolution Is Here: Recombinant Microbial Production of Milk and Egg Proteins by Precision Fermentation. Annual Review of Food Science and Technology, San Mateo, v. 15, 2023. DOI: 10.1146/annurev-food-072023-034256.

OCHSENREITHER, K. et al. Production Strategies and Applications of Microbial Single Cell Oils, Frontiers in Microbiology, Lausanne, v. 7, 2016. DOI: 10.3389/fmicb.2016.01539.

PAIVARINTA, E. et al. Replacing animal-based proteins with plant-based proteins changes the composition of a whole Nordic diet—a randomised clinical trial in healthy Finnish adults. Nutrients, Basel, v. 12, n. 4, 943, 2020. DOI: 10.3390/nu12040943.

PIQUÉ, N.; BERLANGA, M.; MIÑANA-GALBIS, D. Health Benefits of Heat-Killed (Tyndallized) Probiotics: An Overview. *International Journal of Molecular Sciences*, Basel, v. 20, n. 10, 2534, 2019.

PROJEÇÕES PARA O ciclo 2024 da soja seguem sem grandes alterações. Abiove, [s. l.], 9 maio 2024. Disponível em: <https://abiove.org.br/projecoes-para-o-ciclo-2024-da-soja-seguem-sem-grandes-alteracoes/#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20do%20farelo%20de,%C3%B3leo%20em%2011%20milh%C3%B5es%2Ft.&text=O%20processamento%20do%20m%C3%AAs%20de,amostral%20de%2089%2C8%25>. Consultado el: 7 jun. 2024.

REGONESI, G. BIOREACTORS: A Complete Review. Istanbul: MicroalgaeX Innovation Center, Aug. 2023. Technical Report. DOI: 10.13140/RG.2.2.11630.79685.

REIS, G. G. et al. Livestock value chain in transition: Cultivated (cell-based) meat and the need for breakthrough capabilities. *Technology in Society*, Amsterdam, v. 62, 101286, Aug. 2020. DOI: 10.1016/j.techsoc.2020.101286.

RICE, D. et al. Transforming Plant-Based Alternatives by Harnessing Precision Fermentation for Next Generation Ingredients. Amsterdam: Elsevier BV, 2024.

RISNER D. et al. A techno-economic model of mycoprotein production: achieving price parity with beef protein. *Frontiers in Sustainable Food System*, [s. l.], v. 7, 1204307, 2023. DOI: 10.3389/fsufs.2023.1204307.

RUBIO, N.R., XIANG, N. & KAPLAN, D.L. Plant-based and cell-based approaches to meat production. *Nat Commun*, 11, 6276, 2020. DOI: 10.1038/s41467-020-20061-y.

SCHWEIGGERT-WEISZ, U. et al. Food proteins from plants and fungi. *Current Opinion in Food Science*, Amsterdam, v. 32, p. 156-162, Apr. 2020. DOI: 10.1016/j.cofs.2020.08.003.

SHI, Y. et al. Lactic acid fermentation: A novel approach to eliminate unpleasant aroma in pea protein isolates. *LWT*, Amsterdam, v. 150, 111927, Oct. 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111927.

SICILIANO, R. A. et al. Paraprobiotics: A New Perspective for Functional Foods and Nutraceuticals. *Nutrients*, Basel, v. 13, n. 4, 1225. DOI: 10.3390/nu13041225.

SILLMAN, J. et al. A life cycle environmental sustainability analysis of microbial protein production via power-to-food approaches. *International Journal of Life Cycle Assessment*, Berlin, v. 25, n. 11, p. 2190-2203, 2020. DOI: 10.1007/s11367-020-01771-3.

SINGH, S. et al. Cultured meat production fuelled by fermentation. *Trends in Food Science & Technology*, Amsterdam, v. 120, p. 48-58, 2022. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.12.028.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Estimativa de emissões de gases de efeito estufa dos sistemas alimentares no Brasil. [S. l.]: SEEG, 2023. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2023/10/SEEG-Sistemas-Alimentares.pdf>. Consultado el: 8 nov. 2024.

SLUSARCZYK, J.; ADAMSKA, E.; CZERWIK-MARCINKOWSKA, J. Fungi and algae as sources of medicinal and other biologically active compounds: A review. *Nutrients*, Basel, v. 13, n. 9, 3178, 2021. DOI: 10.3390/nu13093178.

TAVERNITI, V.; GUGLIELMETTI, S. The immunomodulatory properties of probiotic microorganisms beyond their viability (ghost probiotics: Proposal of paraprobiotic concept). *Genes & Nutrition*, London, v. 6, p. 261-274, 2011.

TENG, T. S. et al. Fermentation for future food systems. *EMBO Reports*, [s. l.], v. 22, e52680, 2021. DOI: 10.15252/embr.202152680.

THE SCIENCE OF fermentation (2024). Good Food Institute, Washington, DC, 2024. Disponible en: <https://gfi.org/science/the-science-of-fermentation/#h-target-selection-and-design>. Consultado el: 8 nov. 2024.

TOLEDO, T. Matriz Energética Brasileira. Flourish, [s. l.], 15 Oct. 2020. Disponible en: <https://public.flourish.studio/story/592426/>. Consultado el: 8 nov. 2024.

TUBB, C.; SEBA, T. Rethinking Food and Agriculture 2020-2030. [S. l.], RethinkX, 2019.

UNITED NATIONS. Global Sustainable Development Report Advance – unedited version, n. 1–24, June 2023b. [S. l.]: UN, 2023. Disponible en: <https://sdgs.un.org/gsdr/gsdr2023>. Consultado el: 20 abr. 2024.

UNITED NATIONS. Outcome of the first global stocktake. New York: UN, 2023a. Disponible en: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2023_L17_adv.pdf. Consultado el: 20 abr. 2024.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. Technology and Innovation Report 2023: Opening green windows – Technological opportunities for a low-carbon world. [S. l.]: UNCTAD, 2023. Disponible en: https://unctad.org/system/files/official-document/tir2023_en.pdf. Consultado el: 8 nov. 2024.

UNITED NATIONS. What's cooking? An assessment of the potential impacts cooking of selected novel alternatives to conventional animal products. Nairobi: UN, 2023b. Disponible en: <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/44236>. Consultado el: 20 abr. 2024.

UNITED NATIONS. World Population Prospects 2022. New York: UN, 2022. Disponible en: www.un.org/development/desa/pd/. Consultado el: 20 abr. 2024.

UPCRAFT, T. et al. Protein from renewable resources: mycoprotein production from agricultural residues. *Green Chemistry*, [s. l.], v. 23, 5150, June 2021. DOI: 10.1039/d1gc01021b.

VILELLA, J.; HOFSETZ, K. Bagaço de cana-de-açúcar no Brasil: produção e disponibilidade no cenário atual. 2019. In: CONGRESSO DE PROJETOS DE APOIO À PERMANÊNCIA DE ESTUDANTES DE GRADUAÇÃO DA UNICAMP, 2., 2019, Campinas. Anais eletrônicos [...] Campinas: Galoá, 2019. Disponible en: <https://proceedings.science/permanencia-2019/trabalhos/bagaco-de-cana-de-acucar-no-brasil-producao-e-disponibilidade-no-cenario-atual?lang=pt-br>. Consultado el: 14 Jun. 2024.

VISÃO DE FUTURO do agro brasileiro. Embrapa, Brasília, DF, 2018. Disponible en: <https://www.embrapa.br/en/visao-de-futuro>. Consultado el: 8 nov. 2024.

WATROUS, M. Alternative Protein Investments Decline in Line with Market Trends. *Food Business News*, Washington, DC, 2023. Disponible en: <https://www.foodbusinessnews.net/articles/23717-alternative-protein-investments-decline-in-line-with-market-trends>. Consultado el: 8 fev. 2024.

WOICIECHOWSKI, A. L. et al. Emprego de resíduos agroindustriais em bioprocessos alimentares. In: BICAS, J. L.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R.; PASTORE, G. M. (ed.). Biotecnologia de alimentos. Rio de Janeiro: Atheneu, 2013. v. 1, p. 143-171. DOI: 10.13140/RG.2.1.1508.7529.

ZOLLMAN THOMAS, O.; BRYANT, C. Don't have a cow, man: consumer acceptance of animal-free dairy products in five countries. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, [s. l.], v. 5, 678491, 2021. DOI: 10.3389/fsufs.2021.678491.

The Good Food Institute Brasil

Alexandre Cabral

VICEPRESIDENTE EJECUTIVO

Alysson Soares

GERENTE DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Amanda Leitolis, Ph.D.

ESPECIALISTA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Ana Carolina Rossettini

GERENTE DE DESARROLLO

Ana Paula Rossettini

ANALISTA DE RECURSOS HUMANOS

Bruno Filgueira

ANALISTA DE RELACIONES CORPORATIVAS

Camila Nascimento

ANALISTA DE OPERACIONES Y FINANZAS

Camila Lupetti

ESPECIALISTA EN RELACIONES CORPORATIVAS

Cristiana Ambiel, MS.

DIRECTORA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Fabio Cardoso

ESPECIALISTA EN COMUNICACIÓN

Gabriela Garcia, MS.

ANALISTA DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Gabriel Mesquita

ANALISTA ESG DE RELACIONES CORPORATIVAS

Graziele Karatay, Ph.D.

ESPECIALISTA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Guilherme de Oliveira

ESPECIALISTA EN RELACIONES CORPORATIVAS

Gustavo Guadagnini

PRESIDENTE

Isabela Pereira

ANALISTA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Julia Cadete

ANALISTA DE OPERACIONES

Karine Seibel

GERENTE DE OPERACIONES Y RECURSOS HUMANOS

Lorena Pinho, Ph.D.

ESPECIALISTA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Luciana Fontinelle, Ph.D.

ESPECIALISTA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Livia Brito, MS.

ANALISTA DE COMUNICACIÓN

Manuel Netto

ANALISTA DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Mariana Bernal, MS.

ANALISTA DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Mariana Demarco, MS.

ANALISTA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Natalia Figueiredo

ANALISTA DE COMUNICACIÓN

Patrícia Santos

ASISTENTE EJECUTIVA

Raquel Casselli

DIRECTORA DE RELACIONES CORPORATIVAS

Sabrina Yamamoto

BECARIA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Vinicius Gallon

GERENTE DE COMUNICACIÓN



Todo el trabajo desarrollado por GFI está disponible de forma gratuita a la sociedad y solo pudimos lograrlo porque tenemos el apoyo de nuestra familia de donantes. Operamos de manera a maximizar las donaciones de nuestra comunidad de colaboradores, siempre luchando por la mayor eficiencia en el uso de los recursos.

-  [GFI.ORG.BR](https://gfi.org.br)
-  GFIBR@GFI.ORG
-  [INSTAGRAM](#)
-  [TIKTOK](#)
-  [YOUTUBE](#)
-  [LINKEDIN](#)

Ayuda a construir una cadena de alimentos más justos, seguros y sostenibles.

Dona a GFI Brasil