



C3-BIOECONOMY

Circular and Sustainable Bioeconomy

ISSN: 2660-9126

International Journal of Circular and Sustainable Bioeconomy

Funded by


Published by

 **UCOPress**
Editorial Universidad de Córdoba

Nº5 (2024)



Índice

EDITORIAL	3
Valorización sostenible de residuos orgánicos en la bio-economía circular: Análisis exploratorio y aplicación del modelo Lean Canvas	11
El Camino hacia la Sostenibilidad: Proceso de Construcción del Libro Blanco de BioEconomía Sustentable de Ecuador y su Estrategia de Posicionamiento.....	33
Economía circular del suero de leche: bioproceso para su conversión en bioestimulantes y biofertilizantes agronómicos	53
Evaluación y caracterización in vitro de la pulpa de aceituna como ingrediente en piensos de caprino lechero.....	69
MONOGRÁFICO: La bioeconomía circular, clave para el desarrollo territorial sostenible.....	87
Proyecto Water2REturn: caso práctico del modelo de economía circular en mataderos.....	111
Bioinsumos y bioeconomía circular contra el cambio climático. Alianza para la productividad, regeneración de suelos y captura de carbono en la agricultura de México, Biofábrica Siglo XXI	125



EDITORIAL



Mar Cátedra Cerón

Consejera Técnica de la Secretaría General de Agricultura, Ganadería y Alimentación de la Junta de Andalucía

En este número de la revista C3- Bioeconomy, cuatro destacados estudios científicos nos brindan una perspectiva enriquecedora y clara sobre temas esenciales vinculados a la sostenibilidad, la bioeconomía y la economía circular, como respuesta a un escenario global cada vez más atento a los retos ambientales y económicos.

El primer artículo, "Valorización sostenible de residuos orgánicos en la bioeconomía circular: Análisis exploratorio y aplicación del modelo Lean Canvas", explora los desafíos que enfrentan los emprendedores medioambientales en el sector de valorización de residuos orgánicos, centrándose en la producción de compost. Analiza aspectos como la legislación vigente y el mercado potencial, y utiliza el modelo Lean Canvas para evaluar los componentes clave de una posible iniciativa emprendedora en este ámbito.

El segundo artículo, "El Camino hacia la Sostenibilidad: Proceso de Construcción del Libro Blanco de BioEconomía Sustentable de Ecuador y su Estrategia de Posicionamiento", describe el desarrollo del Libro Blanco de Bioeconomía Sustentable de Ecuador, abordando desde su concepción inicial hasta la ejecución de su estrategia de comunicación. Se destacan pilares clave como la sostenibilidad, la conservación de la biodiversidad, la innovación tecnológica

y el crecimiento económico, posicionándolo como una herramienta estratégica para enfrentar los desafíos del contexto actual.

El tercer artículo, "Economía circular del suero de leche: bioproceso para su conversión en bioestimulantes y biofertilizantes agronómicos", presenta un enfoque biotecnológico basado en la economía circular para valorizar el suero de leche, un residuo con alta carga orgánica, convirtiéndolo en un bioestimulante/biofertilizante de alto valor añadido para el sector agrícola. Esta propuesta no solo mejora la sostenibilidad agrícola, sino que también ofrece una solución innovadora para gestionar este residuo de manera eficiente.

Finalmente, el cuarto artículo, "Evaluación y caracterización in vitro de la pulpa de aceituna como ingrediente en piensos de caprino lechero", analiza el uso de la pulpa de aceituna, un subproducto agroalimentario de la industria del olivar, como ingrediente en alimentación animal, destacando su potencial en la transición hacia la bioeconomía.

Este número también incluye un monográfico que analiza la bioeconomía circular como una oportunidad para el desarrollo territorial, destacando la necesidad de un enfoque participativo e integrador. Recoge los debates y conclusiones del Foro de Bioeconomía Circular celebrado en Sevilla en noviembre de 2023, que reunió a más de 350 participantes de diversos sectores y regiones. Entre los temas abordados están las políticas y estrategias regionales, los casos de éxito, los retos, las oportunidades, los modelos de negocio y el papel de la cooperación entre actores clave. También se subraya la importancia de la sensibilización social, la formación y la investigación para impulsar este modelo sostenible en los territorios rurales.

Además, este 5º número de la revista incluye dos casos de éxito que destacan soluciones sostenibles e innovadoras en sectores clave.

El primero de estos casos, "Proyecto Water2REturn: caso práctico del modelo de economía circular en mataderos", aborda el impacto ambiental de los mataderos, transformando plantas de tratamiento de aguas residuales en biorrefinerías que producen agua regenerada, energía y materias primas agrícolas, fomentando la economía circular. Se analiza cómo la reutilización del agua y la recuperación de recursos se convierten en soluciones esenciales

frente a desafíos globales, especialmente en industrias como los mataderos, que consumen grandes cantidades de agua y generan residuos ricos en nutrientes. Mediante esta iniciativa se trataron 50 m³ de aguas residuales diarias, produciendo agua regenerada, energía y materias primas para productos agrícolas, demostrando su contribución a la sostenibilidad agroalimentaria.

El segundo caso, "Bioinsumos y bioeconomía circular contra el cambio climático. Alianza para la productividad, regeneración de suelos y captura de carbono en la agricultura de México", se centra en el sector agrícola, mostrando cómo la regeneración de suelos y el uso de bioinsumos en cultivos mejoran la productividad, reducen emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y promueven la captura de carbono, con un enfoque sostenible basado en alianzas público-privadas. Aborda cómo la agricultura, a pesar de ser una fuente significativa de emisiones de GEI, puede convertirse en una solución clave frente al cambio climático mediante la regeneración del suelo, esencial para secuestrar carbono y mejorar la productividad agrícola.

Reciban un cordial saludo.

Mar Cátedra Cerón
Consejera Técnica de la Secretaría General de Agricultura, Ganadería y
Alimentación de la Junta de Andalucía



EDITORIAL



Mar Cátedra Cerón

Technical Adviser to the General Secretariat for Agriculture, Livestock and Food of the Junta de Andalucía

In this issue of the C3-Bioeconomy magazine, four outstanding scientific studies provide us with an enriching and clear perspective on essential topics related to sustainability, bioeconomy, and circular economy, as a response to a global scenario increasingly attentive to environmental and economic challenges.

The first article, *"Sustainable Valorization of Organic Waste in the Circular Bioeconomy: Exploratory Analysis and Application of the Lean Canvas Model,"* explores the challenges faced by environmental entrepreneurs in the organic waste valorization sector, focusing on compost production. It examines aspects such as current legislation and potential markets, using the Lean Canvas model to evaluate the key components of a potential entrepreneurial initiative in this field.

The second article, *"The Road to Sustainability: Building Process of Ecuador's Sustainable Bioeconomy White Paper and Its Positioning Strategy,"* describes the development of Ecuador's Sustainable Bioeconomy White Paper, covering its initial conception through the implementation of its communication strategy. Key pillars such as sustainability, biodiversity conservation, technological innovation, and economic growth are highlighted, positioning it as a strategic tool to address the challenges of the current context.

The third article, "*Circular Economy of Whey: Bioprocess for Its Conversion into Agronomic Biostimulants and Biofertilizers*," presents a biotechnological approach based on circular economy principles to valorize whey, a waste product with high organic content. The process converts it into a high-value-added biostimulant/biofertilizer for the agricultural sector. This proposal not only enhances agricultural sustainability but also provides an innovative solution to efficiently manage this waste.

Finally, the fourth article, "*In Vitro Evaluation and Characterization of Olive Pulp as an Ingredient in Dairy Goat Feed*," analyzes the use of olive pulp, an agro-industrial byproduct from the olive oil industry, as an ingredient in animal feed. It highlights its potential role in the transition toward a bioeconomy.

This issue also includes a monographic study that examines circular bioeconomy as an opportunity for territorial development, emphasizing the need for a participatory and inclusive approach. It compiles the discussions and conclusions from the Circular Bioeconomy Forum held in Seville in November 2023, which brought together more than 350 participants from various sectors and regions. Topics addressed include regional policies and strategies, success stories, challenges, opportunities, business models, and the role of cooperation among key stakeholders. The monograph also highlights the importance of social awareness, education, and research in promoting this sustainable model in rural areas.

Additionally, this 5th issue of the magazine features two success stories showcasing sustainable and innovative solutions in key sectors.

The first, "*Water2REturn Project: A Practical Case of the Circular Economy Model in Slaughterhouses*," addresses the environmental impact of slaughterhouses by transforming wastewater treatment plants into biorefineries that produce regenerated water, energy, and agricultural raw materials, promoting a circular economy. The analysis highlights how water reuse and resource recovery become essential solutions to global challenges, particularly in industries such as slaughterhouses, which consume large amounts of water and generate nutrient-rich waste. This initiative treated 50 m³ of wastewater daily, producing

regenerated water, energy, and raw materials for agricultural products, demonstrating its contribution to agri-food sustainability.

The second case, *"Bioinputs and Circular Bioeconomy Against Climate Change: An Alliance for Productivity, Soil Regeneration, and Carbon Capture in Mexican Agriculture,"* focuses on the agricultural sector, showing how soil regeneration and the use of bioinputs in crops improve productivity, reduce greenhouse gas (GHG) emissions, and promote carbon capture through a sustainable approach based on public-private partnerships. It addresses how agriculture, despite being a significant source of GHG emissions, can become a key solution to climate change through soil regeneration, which is essential for carbon sequestration and improving agricultural productivity.

Sincerely,

Mar Cátedra Cerón

Technical Adviser to the General Secretariat for Agriculture, Livestock and Food
of the Junta de Andalucía



Valorización sostenible de subproductos orgánicos en la bioeconomía circular: Análisis exploratorio basado en el modelo Lean Canvas

Nuria Toledano ¹ y Manuel Jesús Díaz ²

Autor de Correspondencia: dblanco@uhu.es

Resumen:

El emprendimiento medioambiental, y en concreto los que trabajan en el sector de valorización de subproductos orgánicos, a menudo se enfrentan con dificultades para poner en marcha sus iniciativas. En este trabajo, se analizan las problemáticas ligadas a la producción de compost como iniciativa, teniendo en cuenta la legislación al respecto y el mercado potencial. Asimismo, haciendo uso del modelo Lean Canvas, se analizan los componentes principales para validar comercialmente una hipotética iniciativa comercial en esta área. Este trabajo busca ser una herramienta útil para quienes impulsan proyectos medioambientales, estudiantes interesados en la creación de empresas y profesionales especializados en técnicas sostenibles dentro del ámbito de la economía circular. En el estudio se destaca que, a pesar de los desafíos significativos en la valorización de subproductos orgánicos a través del compostaje, con un adecuado modelo de negocio, esta práctica se presenta como una opción beneficiosa en términos ambientales, agronómicos y económicos.

Palabras clave: Emprendimiento sostenible, Economía circular, Modelo Lean Canvas, Gestión de residuos, Compostaje

The sustainable valorization of organic by-products in the circular bioeconomy. An exploratory analysis and application of the Lean Canvas model

Nuria Toledano ¹ and Manuel Jesús Díaz ²

Abstract:

Those engaged in environmental entrepreneurship, and specifically those working in the organic waste valorization sector, frequently encounter difficulties in launching their entrepreneurial initiatives. In this paper, the problems related to compost production as an initiative are analysed, taking into account the relevant legislation and the potential market. Also, by using the Lean Canvas model, the main components to commercially validate a hypothetical commercial initiative in this area are analysed. This paper aims to be a useful tool for environmental project developers, students interested in business creation and professionals specialised in sustainable techniques within the circular economy. Despite the significant challenges in the valorization of organic by-products through composting, the study highlights that, with a suitable business model, this practice is presented as a beneficial option in environmental, agronomic and economic terms.

Key Words: Sustainable entrepreneurship, Circular economy, Lean Canvas model, Waste management, Composting

¹ Dpto. Dirección de Empresas y Marketing. Centro de Investigación COIDESO. Universidad de Huelva

² Dpto. Ingeniería Química, Química Física y Ciencias de los Materiales. Centro de Investigación PR2TECS. Universidad de Huelva

1. INTRODUCCIÓN

El empresariado debe estar preparado para enfrentarse diariamente a numerosos retos en un ambiente creciente de incertidumbre. Algunos de estos retos vendrán impuestos por causas externas y podrían estar relacionados con la evolución del mercado; otros, sin embargo, surgirán durante la gestión de la empresa y pondrán en tela de juicio las propias prácticas empresariales, ya sean comerciales, productivas, humanas, o financieras. En este contexto, se reconoce que el fracaso empresarial puede ser la consecuencia de la adopción de modelos de negocios insostenibles acompañados de una mala gestión práctica (Urbano y col., 2011).

En el contexto actual, marcado por la crisis climática y la escasez de recursos, la economía circular emerge como un paradigma fundamental para un desarrollo sostenible (Carrillo González y Pomar Fernández, 2021) Este modelo económico, en contraste con el modelo económico lineal tradicional (producir, consumir, desechar), busca optimizar el uso de los recursos y al mismo tiempo reducir al mínimo la generación de residuos (Geisendorf and Pietrulla, 2018) transformándolos en subproductos susceptibles de alcanzar un valor comercial. En este marco, el compostaje de residuos agroindustriales se presenta como una oportunidad de negocio con un gran potencial, tanto desde el punto de vista ambiental como económico. Aunque, en este contexto surge una interrogante clave en relación a porqué, a pesar de sus comprobados beneficios, su influencia en términos de adopción y penetración en el mercado agrícola, sigue estando muy por debajo de los insumos químicos. Este problema podría estar relacionado con cuestiones de viabilidad técnica, percepciones del mercado, o un modelo de negocio mal diseñado que no logra conectar eficientemente con los actores clave. Entre ellos factores como los costos iniciales, la falta de sensibilización sobre sus beneficios, o la ausencia de un modelo claro para su comercialización pueden estar limitando su adopción (Berbel y col., 2021 y Borrego-Marín y col., 2021). En este sentido, trabajos como los publicados por Polonio y col., (2024) y Chojnacka y col., (2022), para compost de alperujo y subproductos agroindustriales, respectivamente, indican la necesidad de implementar adecuadas regulaciones gubernamentales, optimizar la logística y realizar un análisis integral que considere las externalidades positivas del

compostaje, resaltando su valor social y ambiental para incentivar el uso de compost como estrategias de rentabilidad.

En este sentido, estudios como el de Chojnacka y col., (2022) indican que mientras que un manejo inapropiado de los subproductos agroindustriales generados por la actividad agrícola, ganadera y de procesado de alimentos puede propiciar una importante contaminación ambiental, con un adecuado proceso de compostaje estos subproductos podrían transformarse en un producto con valor añadido, el compost, en el contexto de la economía circular. Este producto final, posee un mercado potencial significativo, pero requiere un modelo de negocio eficaz para maximizar su impacto y asegurar su viabilidad comercial.

Desde la evaluación inicial de la viabilidad del compostaje de subproductos orgánicos hasta la implementación efectiva del proceso de compostaje, existen diversas herramientas a disposición de los emprendedores para ayudarlos en la planificación de su actividad empresarial, bien al crear una nueva empresa en este sector o al implementar el nuevo proyecto en el marco de una empresa ya establecida. Estas herramientas son esenciales tanto para quienes desean crear una nueva empresa en este sector como para quienes buscan integrar un proyecto de compostaje en una empresa ya establecida.

En este trabajo, nos centramos en una de ellas, el modelo Lean Canvas, al constituir una herramienta visual que está adquiriendo mucha notoriedad en el contexto emprendedor, sirviendo de ayuda a los emprendedores para entender sus modelos de negocio de forma concisa y organizada (Link, 2016, Battersby y Viswanathan, 2021) facilitando la identificación de problemas clave, clientes objetivo, propuestas de valor y otras variables críticas del modelo de negocio.

Específicamente, los objetivos del presente trabajo son, por una parte, analizar la valorización de subproductos orgánicos agroindustriales mediante compostaje considerando las oportunidades que se derivan tanto del contexto internacional y legislativo actual, así como del mercado potencial en España; por otra parte, explorar una propuesta hipotética de negocio basada en la fabricación de compost. A través de la aplicación del modelo Lean Canvas,

este trabajo plantea como hipótesis que un diseño adecuado del modelo de negocio puede ser clave para superar las barreras actuales en la adopción del compost frente a los insumos químicos. Esta propuesta podría servir tanto a emprendedores, como a estudiosos o docentes que deseen utilizar el modelo para instruir a su alumnado en las herramientas para el diseño de sus proyectos de economía circular.

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera: en el próximo apartado se explica la significación de la valorización de los subproductos orgánicos en el contexto internacional; a continuación, se analiza el mercado de compost en el contexto de España; posteriormente se introduce el modelo Lean Canvas para, a continuación, presentar una aplicación en una iniciativa emprendedora hipotética dedicada a la producción de compostaje. El artículo finaliza subrayando algunas ideas principales a modo de conclusión.

1.1. La valorización de los subproductos orgánicos: significación en el contexto internacional actual

La valorización de los subproductos agroindustriales posee una gran importancia para optimizar los beneficios y garantizar la sostenibilidad económica en este sector. Diversos estudios han destacado distintas razones por las que resulta fundamental valorizar estos subproductos (e.g., Bottausci y col., 2022; Buvaneshwaran y col., 2023; De Keyser y Mathijs, 2023). Una de las más notorias es el aprovechamiento de recursos. En concreto, se argumenta que la valorización de los subproductos agroindustriales permite aprovechar recursos valiosos que de otra manera podrían ser desperdiciados; en cambio, mediante la transformación de los subproductos en fertilizantes orgánicos, se pueden abrir nuevas oportunidades comerciales y mejorar la rentabilidad (Bottausci y col., 2022). Por otra parte, al valorizar los subproductos agroindustriales, se contribuye también a la reducción de los impactos ambientales negativos asociados a una eliminación inadecuada, por lo que se facilita el cumplimiento de las recientes regulaciones ambientales, minimizando el riesgo de sanciones o penalizaciones legales (Buvaneshwaran y col., 2023; De Keyser y Mathijs, 2023).

Junto a las anteriores, otra razón significativa para valorizar los subproductos agroindustriales radica en su abundante volumen. Según la Organización de las

Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), cada año se generan en el mundo 250 millones de toneladas de subproductos agroindustriales (FAOSTAT, 2021). En Europa, según datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2020) esta industria genera más de 400 millones de toneladas al año de biosubproductos susceptibles de ser reciclados en plantas de tratamiento biológico. Si nos referimos a España, según el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016/2022 del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, en su actualización del año 2021, de los biorresiduos generados, los principales subproductos agroindustriales incluyen los residuos de cosecha, con una cantidad total de 28,7 millones de toneladas, representando el 47,1% del total de subproductos agroindustriales. Los subproductos de ganadería, integrando el estiércol, purines y cama de animales, generan 23,3 millones de toneladas, lo que equivale al 39,2% del total, mientras que los subproductos de la industria alimentaria, que involucran restos de alimentos, envases y embalajes, alcanzan los 7,7 millones de toneladas, constituyendo el 13,7% restante de los subproductos agroindustriales. A ellos, además, habría que sumar otros subproductos agroindustriales de menor relevancia, como los subproductos de jardinería, los relacionados con la acuicultura, la industria maderera y la industria tabacalera.

Según los estudios más recientes, existen varias estrategias que se pueden aplicar en la valorización de subproductos agroindustriales (Donner y col., 2022; El Bari y col., 2023; Yafetto y col., 2023). Entre las más conocidas se encuentran la valorización energética, que implica la generación directa de calor o electricidad a través de la combustión directa o la producción de biogás, biodiesel o biocombustibles líquidos; la valorización química, que transforma los residuos en productos químicos de valor añadido; la valorización agrícola, que tras su compostaje, puede aportar nutrientes esenciales y materia orgánica al suelo; la valorización mediante alimentación animal, ya sea en su forma original o tras un proceso de transformación, y la valorización biotecnológica a través de la fermentación o la bioconversión, que sirve para transformar los subproductos en biomasa microbiana, enzimas u otros productos de interés biotecnológico.

La valorización de subproductos agroindustriales a través del compostaje se presenta en la actualidad como una opción sostenible y económicamente viable (López y col., 2023). El compostaje es un proceso que implica la descomposición controlada y natural de la materia orgánica contenida en los subproductos y, facilitada por la actividad de diversos microorganismos, principalmente bacterias y hongos Transformándolos en un material enriquecido con nutrientes y materia orgánica que puede ser utilizado como enmienda del suelo. En este contexto, el compost juega un papel crucial en la economía circular ya que, resultando de la transformación de los subproductos agroindustriales, se reintroduce a la agricultura de una manera sostenible, cerrando así el ciclo de producción de los subproductos orgánicos.

En este sentido, López et al. (2023) destacan que el compostaje de subproductos agroindustriales ofrece múltiples beneficios. Por un lado, los autores resaltan la reducción de residuos, que, a su vez, disminuye los impactos ambientales negativos; por otro lado, subrayan la mejora de la calidad del suelo a través del compost producido, el cual, como fuente de nutrientes y materia orgánica, mejora no sólo las propiedades físicas del suelo, sino también la disponibilidad de nutrientes para las plantas (López y col., 2023). Asimismo, la valorización de subproductos agroindustriales mediante el compostaje promueve un enfoque más sostenible en la agricultura al reducir la dependencia de fertilizantes químicos.

En la Unión Europea, hasta la fecha sólo se compostó aproximadamente el 15% de los residuos orgánicos generados, lo que representaría una pérdida de recursos potenciales y una fuente de contaminación (Vranjanac y col., 2023). En respuesta a esto, la Comisión Europea adoptó en 2018 una estrategia de gestión de subproductos orgánicos que integraba medidas económicas y legislativas destinadas a promover la economía circular a través de la reutilización, el compostaje y la recuperación de energía de estos subproductos. Sin embargo, la implementación de los principios de la economía circular en el sector agroindustrial español presenta importantes desafíos, entre los que cabe destacar la escasez de demanda de productos compostados. A este aspecto, nos referimos a continuación.

2. MÉTODO DE LA EXPERIENCIA DE INNOVACIÓN

2.1 El modelo Lean Canvas

El modelo Lean Canvas fue desarrollado por Maurya (2022) como alternativa al Business Model Canvas de Osterwalder y Pigneur (2010) con el fin de presentar una formulación más concisa y centrada en la acción. En esencia, es una herramienta de gestión estratégica que proporciona un marco global para describir y comprender los componentes principales de cualquier empresa, incluidas las empresas de valorización de residuos. El modelo Lean Canvas puede utilizarse para acelerar el crecimiento de una empresa ya establecida, además de para poner a prueba ideas empresariales antes de redactar un plan de empresa formal. De hecho, presenta la estructura de un plan de empresa, pero en una sola página, lo que permite ofrecer una visión general y sintética de sus principales componentes, ayudando a los inversores y otros grupos de interés a comprender rápidamente la iniciativa empresarial (Mejía Giraldo, 2019; Link, 2016).

Este modelo consta de nueve bloques: problema; solución; propuesta de valor; ventaja única; segmento de clientes; métricas clave; canales; estructura de costes; fuentes de ingresos (Tabla 1). Con la división en dichos bloques, se presentan los componentes esenciales de un negocio en cuadros distintos, lo que garantiza que se estudien adecuadamente y no se ignoren. De este modo, el modelo Lean Canvas proporciona un método bien organizado para validar a priori de una forma rápida los supuestos o hipótesis de una idea de negocios.

Tabla 1. Modelo de negocio Lean Canvas Adaptado de Maurya (2022)-

PROBLEMA	SOLUCIÓN	PROPUESTA DE VALOR	VENTAJA ÚNICA	SEGMENTO DE CLIENTES
	MÉTRICAS CLAVE		CANALES	
ESTRUCTURA DE COSTES			FUENTES DE INGRESOS	

Según se observa en la Tabla 1, la “propuesta de valor” se sitúa en el centro del modelo con el fin de destacar el hecho de que todos los elementos de la empresa deben girar en torno al valor que se ofrece a los clientes; dicho de otro

modo, el cliente, y no tanto el producto en sí, determinará en gran medida la validez de la iniciativa empresarial.

En la parte de la izquierda de la propuesta de valor, el modelo se centra en el problema y las soluciones que se proponen. Concretamente, el bloque "problema" sirve para identificar los problemas o desafíos de los potenciales clientes que se pretenden resolver con la idea de negocio. En la sección "solución" se deberán detallar las soluciones efectivas para abordar los problemas identificados. En "métricas clave" se establecen los indicadores más importantes para ayudar a medir el éxito de la idea de negocio, los cuales servirán de guía en la toma de decisiones.

En la parte derecha de la propuesta de valor, se destaca en el bloque "ventaja única", aquello que hace exclusiva y única a la idea de negocio, y, por tanto, lo que hará que los clientes se mantengan fieles. El bloque "segmento de clientes" sirve para identificar e integrar los clientes objetivo, incluyendo los primeros usuarios y los tardíos, mientras que en el bloque "canales" se describe cómo se llegará a los clientes y cómo se distribuirá el producto o servicio.

Por último, se han de identificar los tipos de ingresos previstos y los costos asociados a la operatividad del negocio, información que se incluirá en los bloques "fuente de ingresos" y "estructura de costes", respectivamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Evolución del mercado del compost en España

Según los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), la producción de fertilizantes sintéticos-inorgánicos ha experimentado en los últimos años un crecimiento promedio anual del 3,5%, alcanzando las 5.126,461 toneladas en 2020, lo que representa un incremento del 12,0% respecto a 2010. En cambio, la producción de compost ha mostrado una tendencia más variable. Concretamente, en 2010, se produjeron 912,044 toneladas de compost, que disminuyeron a 749,526 toneladas en 2011; sin embargo, la producción ha aumentado gradualmente desde 2012, hasta alcanzar las 1.196,881 toneladas en 2020, lo que supone un incremento del 23,9% respecto a 2010 (Figura 1).

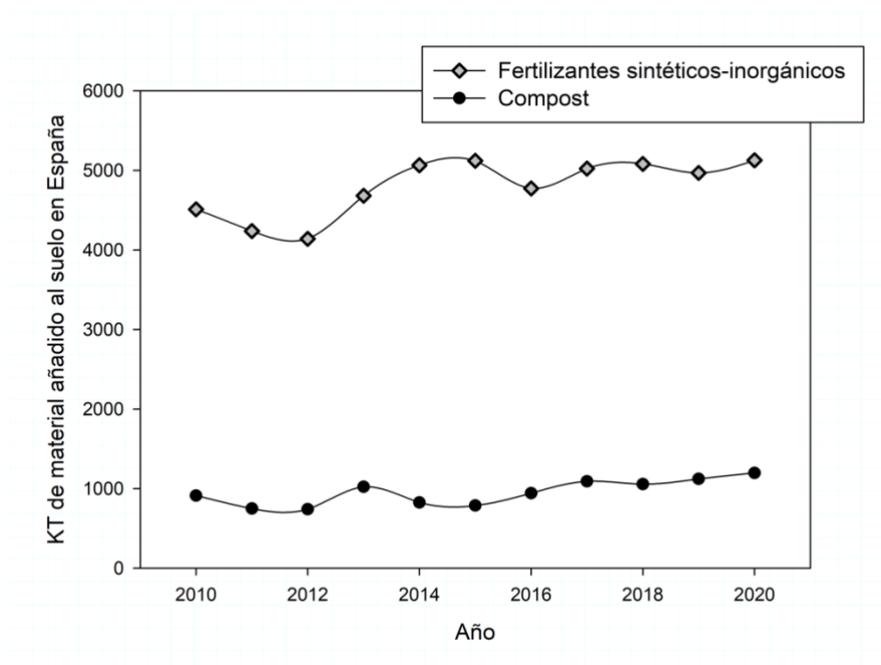


Figura 1. Evolución de las cantidades de productos adicionados al suelo. **Fuente:** Elaboración propia en base a datos Instituto Nacional de Estadística (INE) <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?tpx=50612>

En la Figura 1 se muestra que los fertilizantes sintéticos-inorgánicos suponen un volumen significativamente alto y estable a lo largo del período 2010-2020. Aunque se observa una ligera tendencia al alza entre 2010 y 2015, el crecimiento es moderado y las cifras tienden a estabilizarse en torno a las 5.000 KT anuales hacia el final del período. Este comportamiento sugiere una fuerte dependencia del uso de estos fertilizantes en la agricultura española, probablemente debido a su disponibilidad, eficacia y arraigo en las prácticas agrícolas convencionales.

En contraste, el compost presenta volúmenes mucho más bajos, situándose constantemente por debajo de las 1.000 KT anuales a lo largo del mismo período. Sin embargo, se detecta una leve tendencia ascendente, particularmente a partir de 2015, lo que podría reflejar un crecimiento gradual en su adopción como una alternativa sostenible. A pesar de este aumento, el progreso sigue siendo lento en comparación con los fertilizantes sintéticos-inorgánicos.

El uso de fertilizantes sintéticos-inorgánicos implica un amplio dominio, con volúmenes que son entre 5 y 6 veces superiores a los del compost. Este contraste sugiere que el compost aún enfrenta barreras significativas para su adopción

masiva. Esta amplia diferencia pone de manifiesto la necesidad de replantear estrategias de promoción para el compost que deben con significativas mejoras en su modelo de negocio.

En cuanto a los precios medios de venta del compost, hay que señalar la dificultad que existe a la hora de hacer comparaciones, debido, en parte, a la falta de una tipificación sobre los controles de calidad. No obstante, en términos generales, se puede afirmar que los precios del compost son más elevados en las categorías de uso más especializadas (que también puede incluir su empaquetado) (e.g., campos de golf, minoristas), mientras que los precios se muestran más bajos en las categorías de uso más generales (e.g., agricultura, parques y carreteras), puesto que necesitan noviembreres cantidades y no requieren un uso especializado, ni compost de alta calidad (Figura 2).

Al detallar por categoría, se observa que el precio medio del compost para uso agrícola a granel (usualmente vendido en planta y con transporte a cargo del comprador) es de 2 €/Tm, un precio relativamente bajo. En contraste, el precio medio del compost para uso paisajístico es de 11 €/Tm, posiblemente debido a que el uso en paisajismo suele tener un valor estético o recreativo. En relación con la venta al público en general, el precio medio del compost es de 18 €/Tm, debido a que suele ser de una calidad media/alta. En el caso de los compost utilizados como tierra vegetal, el precio medio es de 20 €/Tm, más alto que el del compost agrícola, ya que se utiliza producto de alta calidad. Para parques y carreteras, el precio medio del compost es de 8 €/Tm, similar al del compost agrícola, debido en parte a que el compost para estos usos suele ser de baja calidad. En horticultura y viveros, el precio medio del compost es de 15 €/Tm, similar al utilizado como tierra vegetal, puesto que suele utilizar compost de alta calidad. En campos de golf, el precio medio del compost es de 34 €/Tm, un precio muy alto a causa de que estos lugares requieren un producto de muy alta calidad y un mantenimiento intensivo. Por último, el compost utilizado como cubierta de vertederos es un producto sin valor comercial, de muy baja calidad. Con todo, se proyecta un aumento del valor de mercado del compost debido al aumento del precio de los fertilizantes inorgánicos.

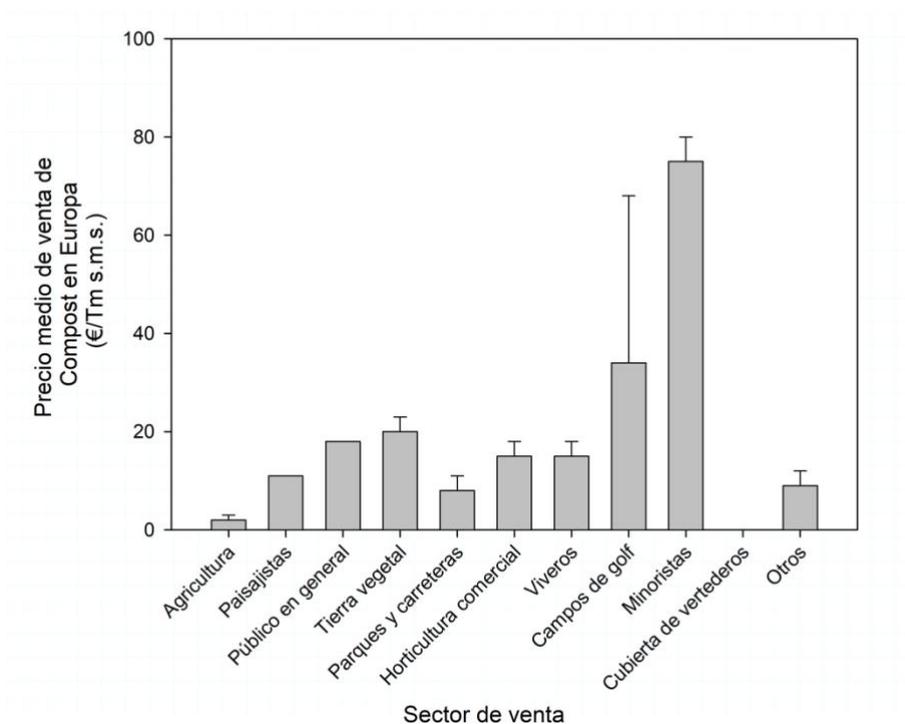


Figura 2. Precios medios de venta de compost en Europa en función del sector. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de <https://www.compostnetwork.info/wordpress/wpcontent/uploads/ECNrapport2022.pdf>

3.2 Una aplicación del modelo Lean Canvas a la producción de compost a partir de subproductos orgánicos agroindustriales como iniciativa emprendedora

El modelo Lean Canvas aplicado a una iniciativa de negocio basada en la producción de compostaje tendría que cumplimentar cada uno de los bloques señalados en la Tabla 1. Su realización, no obstante, implicaría desarrollar varios borradores en los que habría que considerar la información de interés recabada a partir de las conversaciones mantenidas con clientes potenciales y otros sectores interesados, así como la información obtenida del estudio exploratorio de las empresas competidoras y de las evaluaciones financieras iniciales, principalmente. A partir del análisis de estas informaciones, se plantearía una nueva propuesta de negocio adaptada a las necesidades que hubiéramos detectado como consecuencia de los estudios preliminares del mercado y las conversaciones con potenciales clientes y grupos de interés, la cual se volvería a testar nuevamente con los clientes potenciales y demás stakeholders.

De este proceso iterativo resultan, con frecuencia, diferentes propuestas de negocio, alternativas que se plasman en borradores que se van mejorando y actualizando hasta llegar a una propuesta final de modelo de negocio. Cada borrador, cada propuesta, en cierto modo, se interpreta como una posible hipótesis sobre el modelo de negocio que hay que validar o testar en el mercado, con los clientes potenciales y demás miembros del ecosistema emprendedor que participarán de algún modo en el desarrollo de la iniciativa emprendedora. Por ejemplo, en una empresa de compostaje, un cliente potencial podría ser, a priori, una empresa cooperativa de horticultura de un contexto cercano al del emprendedor. Para este cliente tendríamos como punto de partida una idea particular del producto de compost que habíamos pensado ofrecerle para satisfacer su necesidad o solucionar su problema. No obstante, a partir de las conversaciones que mantenemos con los agricultores de la citada empresa cooperativa, recabamos nueva información relevante que podría dar lugar, a su vez, a nuevas hipótesis sobre nuestro producto; por ejemplo, podríamos llegar a la conclusión de que este necesitaría ajustarse en noviembre medida a las necesidades específicas del cliente, por lo que el producto podría distinguirse en función del tipo de suelo o cultivo de cada cliente agricultor.

Una aplicación del modelo Lean Canvas, como primera aproximación sin el necesario proceso iterativo, para una hipotética iniciativa emprendedora dedicada a la producción de compost se resume en la Tabla 2 y se explica con más detalle a continuación.

Tabla 2. Lean Canvas en iniciativa emprendedora de valorización de subproductos orgánicos agroindustriales

PROBLEMAS · Gestión de volúmenes elevados de residuos orgánicos · Empeoramiento de la calidad del aire (olores, aerosoles) · Producción de lixiviados · Incumplimiento de las normativas ambientales. Falta de consolidación de mercado · Insatisfacción de clientes sensibilizados con problemas ambientales	SOLUCIONES · Transformación de subproductos en compost con distintas calidades en función de su uso · Gestión de olores y lixiviados · Asistencia en el cumplimiento de la regulación ambiental Creación de redes de conexión entre productores y consumidores · Implementación de acciones de responsabilidad social corporativa en materia ambiental	PROPUESTA DE VALOR <i>Compost de alta calidad con precio competitivo que proporcione una solución de gestión sostenible</i>	VENTAJA ÚNICA · Trazabilidad y transparencia del proceso y producto · Seguimiento del cultivo	SEGMENTO DE CLIENTES · Agricultores y ganaderos de la región · Empresas agroindustriales · Entidades públicas locales y regionales
	MÉTRICAS CLAVE · Volumen de residuos · Volumen de compost · Calidad del compost Potencial de secuestro de C · Ventas · Satisfacción del cliente		CANALES · Web Corporativa · Eventos y ferias comerciales · Asesoramiento técnico · Cursos/Talleres · Visitas instalaciones	
ESTRUCTURA DE COSTES Costes de producción y comercialización de compost; otros costes relacionados con la gestión de la empresa.		FUENTES DE INGRESOS Venta de compost; tasas por la gestión de residuos; servicios de consultoría		

En la Tabla 2, los siguientes epígrafes se detallan a continuación.

#Propuesta de valor

- *Compost de alta calidad a un precio competitivo:* Ofreciendo un producto diferenciado con calidad contrastable, se presentará una solución para la gestión sostenible de residuos en empresas y cooperativas agrícolas (segmento de clientes principal), así como en aquellas relacionadas con la agroindustria (segmento de clientes secundario) Con la propuesta de este producto se pretende abordar los desafíos actuales en la gestión de residuos de los clientes y ayudarles a

implantar prácticas más sostenibles y eficientes dentro de sus sectores productivos.

Segmento de Clientes

- *Agricultores y ganaderos de la región*: constituyen el segmento de clientes clave de la propuesta emprendedora. Incluyen a aquellos agricultores y ganaderos que generan una cantidad importante de subproductos orgánicos en sus operaciones agrícolas y ganaderas, como el estiércol u otros desechos biodegradables.
- *Empresas agroindustriales*: forman el segundo segmento de clientes identificado para la iniciativa emprendedora. En este grupo se incluirían empresas procesadoras de alimentos, emparadoras, fábricas de productos agrícolas que generan grandes volúmenes de subproductos orgánicos en sus procesos de producción. *Entidades públicas locales y regionales*: integran los ayuntamientos de los municipios cercanos al emplazamiento de la iniciativa emprendedora, así como las autoridades autonómicas que tienen alguna responsabilidad en el ámbito de la gestión de residuos).

#Problemas

- *Gestión de volúmenes elevados de residuos*: Plantea un desafío para muchas empresas agrícolas, ganaderas y agroindustriales que operan con elevados niveles de producción y actividad y que, como consecuencia, soportan costos elevados y riesgos ambientales.
- *Empeoramiento de la calidad del aire (olores, aerosoles)*: La gestión de compuestos orgánicos tanto en su transporte como en su degradación y valorización a compost genera emisiones de gases, aerosoles y partículas que afectan la calidad del aire en sus alrededores.
- *Producción de lixiviados*: Los líquidos producidos durante el proceso de compostaje, como resultado de la descomposición de la materia orgánica, contienen una variedad de compuestos como nutrientes, materia orgánica disuelta, metales pesados y patógenos, que pueden

tener un impacto negativo en el medio ambiente si no se gestionan adecuadamente.

- *Incumplimiento de las normativas ambientales:* La acumulación de residuos puede conllevar incumplimientos legislativos con las correspondientes sanciones y empeoramiento de la reputación de las empresas.
- *Falta de consolidación de mercado:* La falta de un mercado asentado a escala nacional/regional, existiendo dificultades a la hora de poner en contacto a los vendedores y potenciales compradores del compost de subproductos del sector agroalimentario
- *Insatisfacción de clientes sensibilizados con los problemas ambientales:* Los clientes sensibilizados con los problemas ambientales producidos por las empresas pueden reaccionar no comprando los productos a dichas empresas, expresando críticas públicamente a través de las redes sociales, o comprando a competidores que ofrecen alternativas más sostenibles.

#Soluciones

- *Transformación de subproductos en compost con distintas calidades en función de su uso:* Sirve para abordar el desafío de la gestión sostenible de subproductos, ofreciendo soluciones de compost a diferentes segmentos de clientes.
- *Gestión de olores y lixiviados:* Implementación de tecnologías de tratamiento y control tanto de olores (extracción del aire en planta y utilización de biofiltros) y lixiviados (tanques de recolección y tratamientos como filtración y oxidación) Además, realizar un seguimiento continuo de la calidad del aire y los lixiviados para identificar y corregir problemas oportunamente.
- *Asistencia en el cumplimiento de la regulación ambiental:* Las empresas clientes obtendrían ayuda en el cumplimiento con las regulaciones ambientales establecidas y avanzarían hacia una gestión más responsable y, por tanto, más competitiva en los futuros mercados.
- *Creación de redes de conexión entre productores y consumidores:* La falta de consolidación del mercado del compost en España puede

abordarse mediante el establecimiento de plataformas digitales que faciliten la conexión entre productores y compradores, la promoción de su uso a través de campañas de concienciación y certificaciones de calidad. La colaboración público-privada y la implementación de normativas de calidad se presentan, también, importantes para generar un mercado sostenible.

- *Implementación de acciones de responsabilidad social corporativa en materia ambiental:* Se demuestra el compromiso con la protección del medio ambiente a los clientes más exigentes y concienciados medioambientalmente, al tiempo que se contribuye al crecimiento sostenible y creación de valor a largo plazo para la empresa y la sociedad en su conjunto.

#Métricas Clave

- *Volumen de residuos recogido, tipos y características:* Analizar el volumen de residuos recogidos, desglosado por tipo y características, proporciona información valiosa para ajustar las operaciones de recolección y compostaje según las necesidades del mercado y las regulaciones ambientales; ayuda a comprender la demanda y la composición de los residuos que están siendo gestionados.
- *Volumen de compost producido:* métrica que, junto con la anterior, proporciona el balance total de material gestionado. Asimismo, indica la eficiencia operativa de la planta de compostaje y puede servir como guía para optimizar los recursos utilizados.
- *Calidad del compost en función del tipo/mezcla de subproductos:* La evaluación de la calidad del compost servirá para identificar áreas de mejora en el proceso de compostaje y garantizar que el producto ofrecido cumpla las normativas de calidad y las exigencias de los clientes.
- *Potencial de secuestro de C:* Al transformar residuos orgánicos en compost, se facilita la captura de carbono en el suelo. Esta capacidad de secuestrar carbono se convierte en un indicador de sostenibilidad, que añade valor ambiental al producto y puede generar oportunidades de ingresos adicionales a través de mecanismos como los créditos de

carbono. Por otra parte, permite a la empresa medir su impacto ambiental y demostrar su alineación con políticas globales de reducción de emisiones, factor que se revela como relevante para inversores, reguladores y consumidores.

- *Ventas de compost producido de cada calidad:* Proporciona información sobre la satisfacción del producto en el mercado.
- *Satisfacción del cliente:* Proporciona información sobre la percepción y experiencia del cliente con respecto al producto/servicio ofrecido.

#Ventaja Única

- *Trazabilidad y transparencia completa del proceso de compostaje:* Proporciona a los clientes información detallada y accesible sobre el origen de los subproductos utilizados, el proceso de compostaje, las pruebas de calidad realizadas y los nutrientes presentes en el compost final.
- *Posibilidad de seguimiento del desarrollo del cultivo:* Permite a los agricultores evaluar el progreso de sus cultivos de manera continua y sistemática.

#Canales

- *Web Corporativa:* Se proporciona información detallada sobre los productos y procesos utilizados.
- *Eventos y ferias comerciales:* Participación en encuentros relacionados con la agricultura y la sostenibilidad donde la empresa puede interactuar con clientes potenciales, consolidar relaciones y dar visibilidad al producto.
- *Asesoramiento técnico:* Atención personalizada a los clientes para informarles sobre la calidad y beneficios en función del suelo y cultivo, así como sobre el uso del compost en pruebas piloto.
- *Cursos/Talleres:* Dan a conocer los beneficios del compost y sensibilizan a la demanda potencial.

- *Visitas instalaciones:* Dan a conocer a los posibles clientes el lugar de producción, la planta de compostaje, verificando la calidad de instalaciones y productos.

#Estructura de Costes

- *Costes de producción y venta de compost; otros costes relacionados con la gestión de la empresa:* Se incluirían como principales costes los relacionados con la adquisición de materias primas (subproductos agroindustriales), los costes de personal, de amortización de maquinaria y equipos, los costes de energía, los costes de transporte y distribución, los costes de gestión de residuos no compostables, los costes de marketing y ventas, así como los costes administrativos y financieros relacionados con la puesta en marcha y desarrollo de la actividad productiva empresarial.

#Fuentes de Ingresos

- *Venta de compost; tasas por la gestión de residuos; servicios de consultoría:* Se obtendrían ingresos tanto por la venta del compost fabricado como de los productos derivados del proceso con distintas calidades; asimismo, se podrían obtener ingresos por la actividad de gestión de residuos (recogida, separación y gestión de subproductos orgánicos) a las empresas agrícolas, ganaderas y agroindustriales, así como por los servicios de consultoría en gestión de residuos y sostenibilidad, la realización de talleres en instituciones u organizaciones sobre compostaje y agricultura sostenible.

4. CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

En este trabajo hemos abordado el sector del compostaje como una oportunidad de negocio alineada con los principios de la economía circular. Partiendo de la situación del mercado potencial en España, se ha explorado cómo una hipotética iniciativa emprendedora dedicada a la producción de compost podría generar valor al transformar los desechos orgánicos en recursos útiles, solucionando problemas medioambientales y de recursos a empresas

agrícolas y ganaderas que mantienen el sistema productivo convencional. El modelo Lean Canvas nos ha servido de guía para sucintamente abordar los elementos clave de lo que podría ser un nuevo negocio en este ámbito.

No obstante, para analizar completamente la viabilidad del negocio aún quedarían retos por considerar, los cuales requerirían un estudio más pormenorizado de la realidad concreta, para lo que un plan de negocios convencional podría también ser de utilidad. Entre los retos más importantes que podamos vislumbrar se encuentran la propia calidad del compost, que podría variar significativamente dependiendo de los subproductos utilizados y del propio proceso de compostaje. Ello, a su vez, dificultaría la previsión de los precios y del producto final. La localización y logística, con el necesario transporte de volúmenes de residuos a las plantas de compostaje, la falta de concienciación en un sector de la demanda potencial sobre los beneficios del compost, o la captación de fondos requerida para la inversión inicial relativa a la adquisición de instalaciones y equipos adecuados, constituyen otras dificultades que el emprendedor deberá solventar.

A pesar de los desafíos mencionados, el compostaje se puede considerar actualmente una opción altamente beneficiosa para la valorización de subproductos agroindustriales debido a sus múltiples ventajas en términos ambientales, agronómicos y económicos. La clave para aprovechar al máximo sus beneficios y mitigar cualquier posible inconveniente radica en una gestión adecuada y la adopción de buenas prácticas a lo largo del proceso de compostaje. La experiencia, entusiasmo y conocimientos del emprendedor serán así mismo elementos esenciales para una exitosa puesta en marcha de la iniciativa.

REFERENCIAS

- BATTERSBY, L. & VISWANATHAN, P. (2021). *Commercializing research innovations: an introduction for researchers. Knowledge, Innovation, and impact: A guide for the Engaged Health researcher*: p. 315324. Springer Nature, Switzerland, AG. doi: https://doi.org/10.1007/9783030343903_42.
- BERBEL, J.; BORREGO-MARÍN, M.M.; GÓMEZ-LIMÓN, J.A.; VILLANUEVA, A.J.; CÁTEDRA, M. Y CAPOTE, C. (2021). Factores habilitantes y limitantes para el éxito de iniciativas de bioeconomía circular en Andalucía. Junta de Andalucía-Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, Sevilla. Pp. 98. ISBN: 978-84-8474-308-8 Disponible en: <https://juntadeandalucia.es/organismos/agriculturaganaderiapescaydesarrollosostenible/servicios/estudios-informes/detalle/233876.html>
- BORREGO, K., MOUSTAKAS, K., & MIKULEWICZ, M. (2022). Valorisation of agri-food waste to fertilisers is a challenge in implementing the circular economy concept in practice. *Environmental Pollution*, 312, 119906.
- BORREGO-MARÍN, M.A.; GÓMEZ-LIMÓN, J.A.; BERBEL, J.; VILLANUEVA, A.J. (2021). Factores habilitantes y limitantes para el desarrollo empresarial de la bioeconomía circular. Análisis empírico para el caso de Andalucía. *C3-Bioeconomy*, 2, 19-36, doi: <https://doi.org/10.21071/c3b.vi2.13468>.
- BOTTAUSCI, S., MIDENCE, R., SERRANOBERNARDO, F. & BONOLI, A. (2022). Organic Waste Management and Circular Bioeconomy: A Literature Review Comparison between Latin America and the European Union. *Sustainability*, 14(3), 1661. doi: <https://doi.org/10.3390/su14031661>.
- BUVANESHWARAN, M., RADHAKRISHNAN, M. & NATARAJAN, V. (2023). Influence of ultrasound-assisted extraction techniques on the valorization of agro-based industrial organic waste. A review. *Journal of Food Process Engineering*, 46(6), e14012. doi: <https://doi.org/10.1111/jfpe.14012>.
- CARRILLO GONZÁLEZ, G. & POMAR FERNÁNDEZ, S. (2021). La economía circular en los nuevos modelos de negocio. *Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento*, 9 (23), 116.

- DE KEYSER, E. & MATHIJS, E. (2023) A typology of sustainable circular business models with applications in the bioeconomy. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 1028877. doi: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1028877>.
- DONNER, M., RADIC, I., ERRAACH, Y. & EL HADADGAUTHIER, F. (2022) Implementation of Circular Business Models for Olive Oil Waste and ByProduct Valorization. *Resources* 2022, 11, 68. doi: <https://doi.org/10.3390/resources11070068>.
- EEA. European Environmental Agency (2020) Biowaste in Europe — turning challenges into opportunities [Internet]. European Environment Agency. Available from: <https://www.eea.europa.eu/publications/biowasteineurope> [Accedido 30 noviembre 2024].
- EL BARI, H., HABCHI, S., KAROUACH, F. & LAHBOUBI, N. (2023) Appropriate Biochemical Conversion Technology for Organic Waste Recovery in Developing Countries. In: *Waste Management in Developing Countries* (pp. 193219) Cham: Springer International Publishing. doi: https://doi.org/10.1007/9783031280016_11.
- FAOSTAT (2021) Livestock statistics – concepts, definitions and classifications. Roma, Departamento de Desarrollo Económico y Social. Available from: <https://www.fao.org/3/i2697s/i2697s.pdf> [Accedido 30 noviembre 2024].
- GEISENDORF, S. & PIETRULLA, F. (2018) The circular economy and circular economic concepts-a literature analysis and redefinition. *Thunderbird International Business Review*, 60(5), 771782.
- LINK, P. (2016) How to become a lean entrepreneur by applying lean startup and Lean Canvas?. In: *Innovation and entrepreneurship in education* (pp. 5771) Emerald Group Publishing Limited.
- LÓPEZ, J.E., ZAPATA, D., SALDARRIAGA J.F. (2023) Evaluation of different composting systems on an industrial scale as a contribution to the circular economy and its impact on human health, *Journal of the Air y Waste Management Association*, 73 (9), doi: <https://doi.org/10.1080/10962247.2023.2235299>.

- MAURYA, A. (2022) *Running lean: iterate from plan A to a plan that works*. O'Reilly Media, Inc. Sebastopol, CA. USA.
- MEJÍAGIRALDO, J. F. (2019) Propósitos organizacionales como alternativa para los problemas que proponen los modelos Canvas y Lean Canvas. *Innovar*, 29 (72), 3140.
- OSTERWALDER, A., Y PIGNEUR, Y. (2010) *Business model generation: A Handbook for visionaries, game changers, and challengers* (Vol. 1) John Wiley y Sons. NY.
- POLONIO, D.; VILLANUEVA, A.J.; GÓMEZ-LIMÓN, J.A. (2024) Rentabilidad del compostaje del alperujo como una alternativa bioeconómica. *ITEA- Información Técnico Económica Agraria*, 120(2), 179-199. doi: <https://doi.org/10.12706/itea.2024.004>
- URBANO, D., TOLEDANO, N. & RIBEIRO SORIANO, D. (2011) Prácticas de gestión de recursos humanos y desarrollo de nuevos proyectos innovadores: Un estudio de casos en las PYMEs. *Business and Society Review*, (formerly known as *Universia Business Review*), 29, 116127.
- VRANJANAC, Ž., RAĐENOVIĆ, Ž., RAĐENOVIĆ, T. et al. (2023) Modeling circular economy innovation and performance indicators in European Union countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(34), 81573–81584. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356023264315>
- YAFETTO, L., ODAMTEN, G. T. YAFETTO, L., ODAMTEN, G. T. & WIAFEKWAGYAN, M. (2023) Valorization of agroindustrial wastes into animal feed through microbial fermentation: A review of the global and Ghanaian case. *Heliyon*. 9 (4), e14814. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14814>.



El Camino hacia la Sostenibilidad: Proceso de Construcción del Libro Blanco de BioEconomía Sustentable de Ecuador y su Estrategia de Posicionamiento

Maria Paula Ortega Puente ¹ y Pablo Larco Ortuño ²

Autor de Correspondencia: comunicacionbioeconomia@gmail.com

Resumen:

El proceso de construcción del Libro Blanco de Bioeconomía Sustentable de Ecuador comenzó con la identificación de los principales retos y oportunidades del país en torno a la bioeconomía, un modelo que promueve el uso sostenible y responsable de los recursos biológicos. El trabajo fue liderado por un equipo interdisciplinario que incluyó expertos en sostenibilidad, economía, biodiversidad y tecnología, junto con la participación activa de actores gubernamentales, académicos y del sector privado. La fase de conceptualización se basó en un análisis exhaustivo de las capacidades locales, el potencial de los recursos biológicos y las demandas del mercado global.

Posteriormente, se diseñó una estrategia de comunicación con el objetivo de difundir los principios y metas del libro y el concepto de la bioeconomía, involucrando a diversos públicos clave, como comunidades locales, el sector privado y organismos internacionales. La implementación se lleva a cabo mediante campañas de sensibilización, talleres, conferencias y la creación de alianzas estratégicas para asegurar una mayor adopción de prácticas bioeconómicas en todo el país. El enfoque comunicacional integra herramientas digitales y tradicionales, maximizando el impacto y garantizando que los conceptos de sostenibilidad, innovación y conservación fueran comprendidos y aplicados en todos los niveles.

Palabras clave: BioEconomía, sostenibilidad, Ecuador, estrategia comunicacional, crecimiento económico, recursos naturales, innovación, políticas públicas, conservación, investigación

The Path to Sustainability: The Development Process of Ecuador's White Paper on Sustainable Bioeconomy and Its Positioning Strategy

Maria Paula Ortega Puente ¹ and Pablo Larco Ortuño ²

Abstract:

The process of developing Ecuador's White Paper on Sustainable Bioeconomy began with identifying the country's main challenges and opportunities regarding bioeconomy, a model that promotes the sustainable and responsible use of biological resources. The work was led by an interdisciplinary team that included experts in sustainability, economics, biodiversity, and technology, along with the active participation of government actors, academics, and the private sector. The conceptualization phase was based on a comprehensive analysis of local capabilities, the potential of biological resources, and global market demands.

Subsequently, a communication strategy was designed to disseminate the principles and goals of the white paper and the concept of bioeconomy, engaging key audiences such as local communities, the private sector, and international organizations. The implementation is carried out

¹ Fondo de Asistencia Técnica en BioEconomía (FIAS), Ecuador, comunicacionbioeconomia@gmail.com

² Fondo de Asistencia Técnica en BioEconomía (FIAS), Ecuador, plarco@fias.org.ec

through awareness campaigns, workshops, conferences, and the creation of strategic alliances to ensure broader adoption of bioeconomic practices throughout the country. The communication approach integrates both digital and traditional tools, maximizing impact and ensuring that the concepts of sustainability, innovation, and conservation are understood and applied at all levels.

Key Words: Bioeconomy, Sustainability, Ecuador, Communication strategy, Economic growth, Natural resources, Innovation, Public policies, Conservation, Investigation

1. INTRODUCCIÓN

La BioEconomía en Ecuador se posiciona como un enfoque clave para promover el desarrollo sostenible del país, mediante el uso y aprovechamiento de su biodiversidad de manera responsable y fomentando la innovación tecnológica y la investigación aplicada a partir de las oportunidades identificadas en los sectores estratégicos y tradicionales del país.

Esta visión de la BioEconomía ha sido discutida durante varios años y en distintos contextos, desde una visión que mira a la biodiversidad como proveedor de recursos para el crecimiento económico hasta propuestas de conservación rigurosa, particularmente en ecosistemas frágiles. Así, desde el año 2021 el Fondo de Asistencia Técnica en BioEconomía administrado por el Fondo de Inversión Ambiental Sostenible (FIAS), con el apoyo de la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD) y en trabajo conjunto con el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) asumieron el reto de posicionar la BioEconomía como una alternativa al desarrollo económico sin dejar de lado la conservación, la innovación y el crecimiento.

El Libro Blanco de BioEconomía representa un hito importante en este camino, proporcionando un marco integral para orientar las políticas públicas y las iniciativas privadas hacia una economía sostenible y resiliente.

Ecuador dispone de un marco jurídico que propicia la conservación y el uso y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad mientras, al mismo tiempo, se identifican vacíos y barreras para su desarrollo. Son instrumentos primordiales la propia Constitución de la República, varios tratados internacionales (Convenio sobre Diversidad Biológica, Protocolo de Nagoya, Protocolo de Cartagena), algunas leyes orgánicas, sus reglamentos, además de ordenanzas y resoluciones

locales, junto con instrumentos de política pública, donde se destaca la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2015 – 2030.

Complementan el esquema nacional, el reciente lanzamiento del Libro Blanco de BioEconomía Sostenible del Ecuador, en abril del presente año 2024, la Ley Orgánica para la Economía Circular Inclusiva, el Libro Blanco de Economía Circular, la Estrategia Nacional de Cambio Climático, el Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación (PAND), entre otros instrumentos de política pública que abordan aspectos interrelacionados con la bioeconomía y con la conservación y con el uso y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad del Ecuador.

A pesar del potencial para el desarrollo de la Bioeconomía en Latinoamérica, un informe de la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL) en 2018, destacó la ausencia de estrategias en la región para promover la BioEconomía. *Aramendis, R., Rodríguez, A., & Krieger, L. (2018). Contribuciones a un gran impulso ambiental en América Latina y el Caribe: Bioeconomía. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, desde una visión integral que incluya estrategias de conservación junto al desarrollo económico sostenible.*

Si bien la gran mayoría de los países latinoamericanos cuentan con instituciones, organizaciones y proyectos relacionados con el tema bioeconómico (academia, institutos, fondos ambientales) cada uno adaptado a sus agendas y planes estratégicos, varios de ellos no cuentan con una hoja de ruta clara que proporcione acciones y herramientas claras para el desarrollo de la BioEconomía. *García, J. M. (Coord.). (2024). Libro Blanco de la bioeconomía sustentable de Ecuador. <https://www.flipsnack.com/Manthra/libro-blanco-de-la-bioeconom-a-sustentable-de-ecuador/full-view.html>*

En este artículo abordaremos la importancia de contar con una herramienta como el Libro Blanco de BioEconomía Sostenible de Ecuador, la cual nos ofrece una perspectiva clara de cómo abordar temas bioeconómicos enfocados a conservación, investigación, innovación y sus estrategias de BioComunicación para generar un posicionamiento integral en la sociedad ecuatoriana.

El Libro Blanco de Bioeconomía como el documento base que representa un análisis exhaustivo sobre la relación entre la economía global, el medio ambiente y la bioeconomía, abordando aspectos cruciales como los productivos, tecnológicos, económicos, legales, políticos y ambientales.

Entendiendo la BioComunicación como la capacidad de generar herramientas y metodologías que nos permitan comunicar de una manera adecuada y responsable todo lo referente a BioEconomía y Biodiversidad. Destacando aspectos claves como conceptos básicos, mensajes fuerza, identificación de oportunidades y principales desafíos al momento de comunicar problemáticas ambientales, sociales y económicas.

Generando estrategias y herramientas que permitan difundir y socializar el concepto de bioeconomía plasmado en el Libro Blanco de Bioeconomía Sostenible de Ecuador donde se señala lo siguiente: “La bioeconomía es la producción de bienes y servicios basados en el uso sostenible de los recursos biológicos y sus derivados, incluyendo los servicios ecosistémicos”. *García, J. M. (Coord.). (2024). Libro Blanco de la bioeconomía sustentable de Ecuador. <https://www.flipsnack.com/Manthra/libro-blanco-de-la-bioeconom-a-sustentable-de-ecuador/full-view.html>*

En el siguiente artículo, abordaremos el recorrido de la bioeconomía por América Latina hasta llegar a Ecuador, la metodología participativa utilizada para la elaboración del Libro Blanco de Bioeconomía Sustentable de Ecuador, y las principales estrategias y herramientas de comunicación empleadas para la difusión de conceptos técnicos como un ejercicio responsable y ético de comunicación para la transformación social.

1.1. Rumbo a una transición bioeconómica en Ecuador

Ecuador posee una gran biodiversidad, por ejemplo, Ecuador es uno de los países más biodiversos del mundo por unidad de área. Se estima que alberga alrededor del 10-15% de todas las especies de plantas conocidas en el planeta y más de 1.600 especies de aves, 16% de las especies de aves del mundo. Ecuador tiene una rica diversidad de plantas, con aproximadamente 18.000 especies de plantas vasculares. Ecuador también es hogar de una increíble

variedad de fauna, incluyendo especies emblemáticas como el cóndor andino, varias especies de monos, jaguares, pumas, y una gran diversidad de anfibios y reptiles, lo que representa un patrimonio natural invaluable y una fuente de oportunidades para el desarrollo económico y social (*Ecología y Vida. (n.d.). [Los ecosistemas del Ecuador y su biodiversidad]*). *Ecología y Vida.* <https://ecologiayvida.com/>

El potencial biomásico de Ecuador, junto con la diversidad de sus sistemas agrarios, ganaderos y forestales, ofrece una base sólida para el desarrollo de la bioeconomía. El Ecuador cuenta con vastos recursos biológicos, provenientes de su rica biodiversidad y su variedad de ecosistemas, que incluyen zonas agrícolas de alta productividad, bosques tropicales y sistemas ganaderos diversificados. Estos recursos pueden ser transformados en productos de valor agregado, como biocombustibles, biomateriales y bioproductos, aprovechando el potencial de la biomasa de manera sostenible.

El desarrollo de la bioeconomía en Ecuador representa una oportunidad única para fomentar el crecimiento económico, la innovación tecnológica y la sostenibilidad ambiental, al tiempo que se promueve la conservación de los recursos naturales. Este enfoque, planteado como uno de los objetivos del Libro Blanco de Bioeconomía Sustentable, busca integrar prácticas agrarias y forestales sostenibles, tecnologías limpias y modelos de producción circular para generar valor económico a partir del uso responsable de los recursos biológicos. Sin embargo, la explotación insostenible de los recursos naturales y la expansión de los sistemas productivos tradicionales y no sostenibles han generado una serie de amenazas a la conservación de la biodiversidad. A continuación, se detallan algunas de estas acciones:

- Deforestación en la Amazonía Ecuatoriana
- Expansión de la frontera agrícola
- Pesca industrial y artesanal en las Islas Galápagos
- Minería a cielo abierto en los Andes
- Destrucción de manglares en las costas
- Cambio climático y agricultura

Las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad están vinculadas a la destrucción y fragmentación de hábitats, el tráfico ilegal de especies, la introducción de especies exóticas y la extracción (caza, recolección y pesca), que sobrepasa los niveles de sostenibilidad y no permite su recuperación natural alterando el funcionamiento de las comunidades vegetales o animales. Ante estas amenazas, se ha concebido a la biodiversidad como un recurso estratégico para el desarrollo humano sustentable del Ecuador, que constituye una oportunidad para aprender a conocerla, respetarla y utilizarla sustentablemente (MAE, 2001).

Estas amenazas no solo ponen en riesgo la riqueza natural del país, también pueden tener impactos negativos sobre la economía, la salud humana y el bienestar de las comunidades locales. El cambio de uso de suelo, por ejemplo, puede provocar erosión del suelo, la pérdida de biodiversidad y pérdida de servicios ecosistémicos esenciales.

En este escenario, se considera importante el contar con una herramienta que provea los lineamientos claves sobre BioEconomía y su ejecución a nivel del Ecuador, considerando que si la BioEconomía es mal entendida puede convertirse en un incentivo perverso para ampliar la frontera agrícola o simplemente hacer uso de la biodiversidad por encima de su capacidad de regeneración.

A medida que la economía y la población humana crecen, se utilizan cada vez más recursos naturales y se producen más residuos, con impactos para las generaciones actuales y futuras. Ahora bien, no todos los humanos son igualmente afectados por el uso que la economía hace del ambiente natural. El acceso a oportunidades socioeconómicas y a políticas públicas permite a los individuos vivir en sociedades más sustentables. *García, J. M. (Coord.). (2024). Libro Blanco de la bioeconomía sustentable de Ecuador. <https://www.flip snack.com/Manthra/libro-blanco-de-la-bioeconom-a-sustentable-de-ecuador/full-view.html>*

La bioeconomía nos brinda una perspectiva de uso sostenible (social – económico – ambiental) de los recursos biológicos existentes. Es por ello que se la puede entender o apreciar como una oportunidad para reducir la

dependencia de combustibles fósiles con el fin de contribuir a la descarbonización de la economía y ayudar a mitigar los efectos del cambio climático.

Brasil y Argentina se encuentran entre los países que mayores acciones concretas evidencian en el desarrollo de la bioeconomía con énfasis en la biotecnología. También encontramos avances significativos en México a nivel de investigación y Colombia con una estrategia de bioeconomía enfocada en estrategias de sostenibilidad y biotecnología. *García, J. M. (Coord.). (2024). Libro Blanco de la bioeconomía sustentable de Ecuador.* <https://www.flipsnack.com/Manthra/libro-blanco-de-la-bioeconom-a-sustentable-de-ecuador/full-view.html>

Actualmente, la incertidumbre y el riesgo socioambiental, así como el cambio climático, la desertificación, la extinción de especies, la contaminación de fuentes acuíferas como ríos y mares y otros conflictos globales no solo ambientales sino sociales y económicos, han colocado en la palestra la importancia de acceder a otros modelos de utilización sostenible y responsable de recursos.

En este contexto nace la necesidad de enfocar la bioeconomía como un camino importante hacia la transición ecológica del país, conservando nuestra biodiversidad y generando acciones de innovación tecnológica y productiva que nos permitan enfocarnos hacia un crecimiento económico no solo futuro sino también presente.

La BioEconomía es una oportunidad clave para Ecuador en su búsqueda para transformar su estructura productiva tradicional hacia un modelo más sostenible y respetuoso con la biodiversidad y sus conocimientos ancestrales *García, J. M. (Coord.). (2024). Libro Blanco de la bioeconomía sustentable de Ecuador.* <https://www.flipsnack.com/Manthra/libro-blanco-de-la-bioeconom-a-sustentable-de-ecuador/full-view.html>

Como meta se ha establecido que para el año 2033 la BioEconomía funcione como un mecanismo para el aprovechamiento sostenible y responsable de sus

recursos biológicos y sus derivados, así como también se fomente la innovación y la investigación.

La visión compartida nacional sobre BioEconomía, según el Libro Blanco de BioEconomía Sustentable de Ecuador, se centra en la integración de prácticas sostenibles y tecnologías innovadoras para impulsar un desarrollo económico equilibrado y respetuoso con el medio ambiente. Este enfoque prioriza la utilización eficiente de los recursos biológicos, fomentando la biodiversidad y la conservación de los ecosistemas, mientras se promueven oportunidades económicas inclusivas y equitativas para las comunidades locales. La meta es transformar la economía ecuatoriana hacia un modelo más resiliente y sostenible, que reconozca el valor intrínseco de la naturaleza y su capacidad para proporcionar soluciones duraderas a los desafíos socioeconómicos y ambientales del país.

2. MÉTODO/DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA DE INNOVACIÓN

2.1 Metodología participativa de Levantamiento de Información del Libro Blanco de BioEconomía en Ecuador

El proceso de construcción del Libro Blanco de la Bioeconomía en Ecuador se estructuró bajo una **metodología participativa**, diseñada para recopilar información diversa y garantizar la integración de múltiples perspectivas y conocimientos. Este enfoque permitió construir de manera colaborativa una visión compartida, misión, objetivos estratégicos y una agenda de desarrollo para la bioeconomía en el país, que culminaría en la propuesta de políticas públicas adecuadas. La metodología incluyó la participación de **más de 150 actores clave** pertenecientes a distintos sectores: **organizaciones de la sociedad civil, instituciones académicas, representantes del sector privado, gobiernos locales, comunidades indígenas, y agencias de cooperación internacional**. En particular, se contó con la presencia activa de organizaciones como el Instituto Nacional de Biodiversidad, la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, y la Fundación Pachamama, entre otros, lo que aseguró una representatividad sectorial robusta.

El proceso se llevó a cabo durante el segundo semestre de 2022 y el primer semestre de 2023. Las **temáticas abordadas** en las consultas con los diferentes actores incluyeron temas transversales como: la sostenibilidad de los recursos naturales, la innovación tecnológica en procesos biológicos, y el fortalecimiento de cadenas de valor que integren principios de la bioeconomía. Sin embargo, también se realizaron consultas específicas según el tipo de actor. Por ejemplo, con los representantes del **sector privado** se discutieron principalmente temas sobre incentivos económicos y marcos regulatorios, mientras que con las **comunidades locales** y **pueblos indígenas** se trabajó en el reconocimiento del conocimiento ancestral y el manejo sostenible de la biodiversidad.

Para asegurar una **participación activa e inclusiva**, se emplearon varias herramientas metodológicas adaptadas a cada grupo objetivo y tema. A continuación, se detallan las técnicas utilizadas:

- **Entrevistas personalizadas:** Aplicadas a **funcionarios de alto nivel del sector público** y **directivos de empresas privadas**. Estas entrevistas se enfocaron en captar opiniones detalladas sobre las barreras actuales en la implementación de políticas de bioeconomía y en identificar oportunidades específicas dentro de sus áreas de influencia.
- **Focus groups:** Se llevaron a cabo con **representantes de comunidades locales, pueblos indígenas, y organizaciones no gubernamentales**. Estos grupos permitieron generar debates en torno a la gestión sostenible de los recursos naturales, la participación de las comunidades en la bioeconomía, y la transferencia de conocimientos entre actores.
- **Cuestionarios en línea:** Dirigidos a un **grupo más amplio y diverso de participantes**, incluyendo **estudiantes universitarios, investigadores, y empresarios**. Estos cuestionarios buscaron recolectar información general sobre el nivel de conocimiento sobre la bioeconomía, la percepción sobre su relevancia y las expectativas respecto a su implementación en Ecuador.
- **Talleres presenciales y virtuales:** Realizados en ciudades clave como **Quito, Guayaquil, Cuenca, Puyo, y Galápagos**. Los talleres, que contaron con la participación de **más de 500 personas**, facilitaron un diálogo directo sobre cómo integrar la bioeconomía en los contextos locales,

abordando problemáticas específicas de cada región, como la conservación de ecosistemas frágiles en Galápagos o la promoción del desarrollo económico en la Amazonía a través de la bioeconomía.

Este proceso participativo fue fundamental para el desarrollo del **Libro Blanco de la Bioeconomía Sustentable** y su enfoque integral. La información recabada sirvió para definir el **concepto de bioeconomía en Ecuador** y delinear la **estrategia decenal 2023-2033**, que busca promover la sostenibilidad, la conservación de la biodiversidad y el crecimiento económico inclusivo, basado en la innovación tecnológica y la equidad en la distribución de beneficios.

En Ecuador la bioeconomía también ha sido de interés académico para investigadores de distintas áreas de acción, por ejemplo *Ortega-Pacheco, D. V., Silva, A., López, A., Espinel, R., Inclán, D., & Mendoza-Jiménez, M. J. (2018). Tropicalizing sustainable bioeconomy: Initial lessons from Ecuador*, manifiesta que "Algunas pesquisas han abordado la bioeconomía sostenible como una forma de desarrollo de un país tropical megadiverso".

A partir del año 2019 se inician algunos esfuerzos para establecer un espacio de desarrollo de la bioeconomía, pero no es sino hasta, el año 2020 que se firma el "Pacto Nacional por la BioEconomía Sostenible del Ecuador 2020". Este acuerdo fue suscrito por entidades privadas, públicas y académicas, con la participación de un total de 55 organizaciones comprometidas en promover y desarrollar una bioeconomía sostenible en el país. cuyo principal resultado fue un concepto de bioeconomía y 10 principios clave.

Sin embargo, en el esfuerzo compartido de generar un concepto claro, preciso e integral, en el desarrollo del Libro Blanco, se estructura el nuevo concepto de Bioeconomía, el mismo que se enfoca de la siguiente manera "La bioeconomía es la producción de bienes y servicios basados en el uso sostenible de recursos biológicos y sus derivados incluyendo los servicios ecosistémicos" *García, J. M. (Coord.). (2024). Libro Blanco de la bioeconomía sustentable de Ecuador. <https://www.flipsnack.com/Manthra/libro-blanco-de-la-bioeconom-a-sustentable-de-ecuador/full-view.html>*

La nueva formulación del concepto se ha estructurado cuidadosamente para reflejar la importancia de la sostenibilidad en el uso de los recursos biológicos, así como la necesidad de considerar los servicios ecosistémicos que sustentan nuestra vida y bienestar. García, J. M. (Coord.). (2024). Libro Blanco de la bioeconomía sustentable de Ecuador. <https://www.flipsnack.com/Manthra/libro-blanco-de-la-bioeconom-a-sustentable-de-ecuador/full-view.html>

Cabe destacar que este nuevo enfoque reemplaza al concepto desarrollado en el Pacto Nacional por la Bioeconomía Sostenible 2020.

La ventaja de tener una visión estratégica compartida es que podremos establecer objetivos y metas comunes que orienten la inversión, la toma de decisiones y sobre todo las políticas públicas que se vean reflejadas en un futuro en cada uno de los territorios.

2.2 Implementación de una estrategia de BioComunicación

Para asegurar que el nuevo concepto y hallazgos del Libro Blanco de Bioeconomía Sustentable de Ecuador lleguen a su público objetivo clave, se diseñó una estrategia comunicacional que tiene como objetivo principal el posicionamiento del concepto de la BioEconomía a nivel nacional, apoyando el trabajo de incidencia con tomadores de decisión, al momento de desarrollar los diferentes instrumentos de política pública de BioEconomía.

Esta estrategia nos ayudará a definir la línea de ruta para difundir, sensibilizar y educar sobre el nuevo concepto de bioeconomía y sus aportes a nivel del territorio nacional. Así como también identificar estrategias efectivas para sensibilizar sobre la conservación y el uso sostenible y responsable de los recursos biológicos.

En la estrategia se han identificado 4 audiencias primarias (Pueblos indígenas y Comunidades Locales, Empresarios Privados, Medios de Comunicación y Tomadores de Decisión) y 2 audiencias secundarias (Academia y Público en general). Para las tácticas de difusión y sensibilización se definieron algunos

elementos clave que nos permitirán generar un mayor posicionamiento a nivel nacional:

- Construcción de identidad propia que refleje la esencia de la bioeconomía y su aporte principal.
- Desarrollo de eventos que nos permitan sensibilizar de una manera lúdica el nuevo concepto de bioeconomía.
- Campaña digital. Estrategia que en un mundo globalizado nos permite generar audiencia e impacto generalizado.
- Campañas de estrategias tradicionales con gran alcance como una producción audiovisual y una producción radiofónica.
- Desarrollo de productos educacionales con enfoque inclusivo e innovador que nos permitirá generar un impacto integral de la estrategia.

Sin embargo, la importancia de la BioComunicación se centra en su relación con medios de comunicación y comunicadores ambientales y sociales, ya que al ser un elemento poco comunicado, difundido y sensibilizado, la bioeconomía y la biodiversidad deben convertirse en un eje fundamental de las salas de redacción.

Lo que nos permitirá evaluar el impacto de las tecnologías de la información y la comunicación en la difusión de temas sobre biodiversidad y bioeconomía. Se considera imprescindible al momento de comunicar el identificar y difundir la relación entre Biodiversidad, BioEconomía y Economía Circular, sensibilizando sobre la complementariedad de estos tres ejes y sus funciones individuales.

Comunicar de una manera adecuada, responsable y asertiva esta relación es esencial para mostrar cómo la conservación de la biodiversidad puede impulsar el desarrollo económico y la innovación a través de productos y servicios biológicos.

Al momento de hablar sobre BioComunicación debemos destacar varias ideas clave como: La importancia de generar interés y conciencia sobre la biodiversidad y la bioeconomía, fomentar el uso sostenible y responsable de la biodiversidad y entender que la bioeconomía y la economía circular son alternativas sostenibles al modelo económico actual. Resaltar estas ideas nos

permitirá entender la biodiversidad y la bioeconomía desde una perspectiva más sencilla y educativa.

Siempre tomando en cuenta que la comunicación y cobertura de temas vinculados a la Biodiversidad y Bioeconomía fomenta la conciencia y acción ciudadana; y por sobre todo impulsa la colaboración entre diversos sectores.

3. RESULTADOS

En la Tabla 1 podemos identificar las principales oportunidades, retos y barreras frente al desarrollo de la bioeconomía en el país.

3.1 Impacto Potencial

El Libro Blanco de la Bioeconomía en Ecuador subraya la interconexión entre la bioeconomía y la implementación efectiva de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), enfatizando la importancia de reconocer el papel fundamental que desempeña la naturaleza en el desarrollo socioeconómico. Esta relación se manifiesta a través de varios impactos concretos y específicos que se abordan en el documento:

Sostenibilidad de la Biodiversidad: La bioeconomía se presenta como un enfoque que promueve el uso sostenible de la biodiversidad, tanto submarina como terrestre, en línea con los ODS 14 (Vida Submarina) y 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres). Esto implica la adopción de prácticas que protejan y restauren los ecosistemas, contribuyendo a la salud de los océanos y la conservación de la tierra. Por ejemplo, el Libro Blanco menciona iniciativas específicas para la gestión sostenible de recursos marinos que fomentan la pesca responsable y la protección de especies en peligro, así como programas de reforestación que fortalecen la biodiversidad terrestre.

Tabla 1. Resultados obtenidos desde el proceso de creación participativa del Libro Blanco de Bioeconomía.

Fuente: García, J. M. (Coord.). (2024). Libro Blanco de la bioeconomía sustentable de Ecuador.

<https://www.flipsnack.com/Manthra/libro-blanco-de-la-bioeconom-a-sustentable-de-ecuador/full-view.html>

Dimensiones	Retos	Oportunidades	Barreras
Política	La bioeconomía es una estrategia de largo plazo en la medida en que involucra la modificación de patrones de producción y consumo sustentados en la utilización de combustibles fósiles. En este sentido, debe ser entendida como una política de Estado cuya ejecución esté respaldada, por lo menos, por un flujo presupuestario suficiente y oportuno y esquemas adecuados de coordinación interinstitucional. Estos dos elementos constituyen premisas básicas para lograr el respaldo político de amplios sectores sociales y económicos con interés en impulsar la bioeconomía.	Mediante Decreto Ejecutivo n.º 059 del 5 de junio de 2021, se modificó la denominación de la autoridad ambiental a Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Se declaró prioridad nacional el desarrollo sostenible y el desarrollo de incentivos que tengan como objetivo la protección de la naturaleza y los ecosistemas, la reducción de los impactos ambientales, la utilización de la mejor tecnología disponible, la generación de energía limpia y el desarrollo de productos sostenibles, entre otras disposiciones. Ecuador dispone, además, de la Estrategia Nacional de Biodiversidad, de un Plan Nacional de Uso, Aprovechamiento y Procesamiento Sostenible de la Biodiversidad y del Libro Blanco de Economía Circular (2021), que son políticas complementarias para la bioeconomía. Hacia mediados del próximo año contará con un Plan Nacional de Transición hacia la Descarbonización, que se articula a la decisión gubernamental de emisiones netas cero al 2050.	El cambio de denominación del Ministerio de Ambiente (actual Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica) y la consiguiente ampliación del alcance de sus responsabilidades sectoriales no ha aumentado su presupuesto. Según información oficial, las políticas ambientales representaron en 2021 el 0,11 % del PIB (MEF, 2021). En materia de políticas públicas, la barrera más significativa es la desarticulación entre los contenidos del principal instrumento de planificación del Estado, con la bioeconomía. De hecho, la bioeconomía no se menciona en el PCQ, lo que evidencia una ausencia de orientación general sobre cómo abordar la bioeconomía en el país. Otra barrera de carácter político social es el limitado compromiso que podrían mostrar algunos sectores sociales y económicos frente a la Estrategia de Bioeconomía Sostenible, debido a que no se observan oportunidades para viabilizar la reactivación económica con base en potenciar otros sectores económicos, como investigación, tecnología, conocimiento aplicado a la innovación, turismo, ambiente, dotación de servicios básicos e infraestructura pública.
Ambiental	El MAATE necesita con urgencia actualizar el Plan Estratégico del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, en la perspectiva de incluir y diseñar las potentes relaciones entre el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y la bioeconomía. La última versión de este es del 2007. Establecimiento de un sistema de monitoreo de la sostenibilidad de la bioeconomía.	Las áreas protegidas constituyen un espacio potencial para el turismo sostenible, como uno de los sectores clave que integra la bioeconomía y que permite repensar las posibilidades reales que tendría el Ecuador para una transición económica de un modelo basado en la extracción de recursos naturales hacia otro fundamentado en su preservación y en el uso innovador, respetuoso y sostenible de la biodiversidad.	Para avanzar en la concreción de la bioeconomía, la principal barrera desde la dimensión ambiental es el mantenimiento y profundización de una política pública volcada a fortalecer las actividades extractivas, como se desprende de los contenidos de la Ley de Desarrollo Económico aprobada en noviembre de 2021, que incluyó regulaciones en beneficio de actividades extractivas.

Dimensiones	Retos	Oportunidades	Barreras
Económica	<p>Para garantizar la sustitución del modelo extractivo ecuatoriano, la bioeconomía debería por lo menos igualar o superar las contribuciones económicas del petróleo. Un enorme desafío si se considera que el 45 % del total de exportaciones está relacionado con el sector petrolero y contribuye con 11 % del PIB. Como punto a favor, la contribución de la bioeconomía al PIB ecuatoriano en el 2017 sería del 13,06 %.</p> <p>El segundo cuestionamiento sería determinar si se cuenta con las capacidades productivas y si su escala es suficiente para reemplazar la intensidad de la contribución del sector petrolero. Mientras que en 2017 el sector petrolero contribuyó con USD 12,21 mil millones y 640 mil empleos, la bioeconomía generó USD 13,8 mil millones y 1,5 millones de empleos (Ortega-Pacheco et al., 2021).</p>	<p>La bioeconomía involucra la utilización de recursos, procesos y principios biológicos para proporcionar bienes y servicios a todos los sectores económicos.</p> <p>La aplicación de una política pública que instrumentalice herramientas para volver atractivas las inversiones en campos como la nutracéutica, farmacéutica, generación de energía, etc.</p> <p>La bioeconomía puede contribuir a la transición ecológica del país hacia una economía posextractiva.</p>	<p>Es necesario incluir a la bioeconomía como política de desarrollo. En el plan Creando Oportunidades 2021 - 2025 no se menciona el término bioeconomía.</p> <p>No existe una política pública nacional sobre la bioeconomía.</p> <p>Debe definirse claramente si se opta por un modelo de desarrollo bioeconómico, por una estrategia sectorial de bioeconomía o si es transversal a todo el modelo económico actual en Ecuador.</p>
Legal	<p>Establecer un marco de gobernanza para la bioeconomía en el país.</p> <p>Identificar y priorizar el desarrollo de normas que incluyan "condiciones habilitantes" para la bioeconomía en la práctica, asociadas con la gestión administrativa institucional.</p> <p>Habilitar las condiciones regulatorias/normativas para el desarrollo e integración estratégica de la bioeconomía en los indicadores y cuentas nacionales.</p>	<p>Existencia de mandatos institucionales vinculados a la investigación, manejo sostenible de la biodiversidad, conservación, producción sostenible, fomento productivo, conocimientos y saberes ancestrales, entre otros.</p> <p>Existencia de políticas públicas macro.</p> <p>Coyuntura internacional (nuevos acuerdos relacionados con la biodiversidad, metas internacionales, cambio climático)</p> <p>Marco de planificación nacional abierto a integrar la temática de forma transversal.</p>	<p>La mayoría de las normas ligadas a la bioeconomía contemplan incentivos para el despegue y consolidación de actividades económicas sostenibles, sin embargo, es notoria la ausencia de normativas y reglamentos secundarios que permitan materializar su cumplimiento. A esto se añade el desconocimiento social de disposiciones legales y de política pública en relación con los incentivos (Moncada et al., 2022).</p> <p>Incoherencia entre mandatos normativos sectoriales.</p>

Dimensiones	Retos	Oportunidades	Barreras
Tecnológica	<p>Desde el punto de vista tecnológico, la bioeconomía se sustenta directamente en ramas científicas alrededor de las biociencias (biotecnología, bioquímica, química verde) y en ramas de la ingeniería (forestal, mecánica, química, biotecnologías).</p> <p>Desde este presupuesto, se requiere fortalecer dos aspectos al mismo tiempo: desarrollo tecnológico y capacitación.</p> <p>Para el caso del desarrollo tecnológico, se requiere fortalecer los centros de investigación públicos y privados, centros de capacitación y universidades que trabajen en desarrollo biotecnológico y transferencia de tecnología.</p> <p>En cuanto a la capacitación, se requiere fortalecer toda la cadena productiva: desde los oficios, la capacitación profesional, pasando por las tecnologías y el grado profesional, hasta llegar a requerir de personal capacitado en investigación aplicada.</p>	<p>Las oportunidades del país están estrechamente relacionadas con la riqueza en biodiversidad que posee el país. Este bien no tangible puede ser fuente de industrias con distinto grado de avance científico y tecnológico: desde aquellas que producen ingredientes naturales con poco grado de procesamiento o la industria del turismo que requiere el desarrollo adecuado de las tecnologías de la información y la comunicación, hasta espacios que requieran un desarrollo avanzado de la biotecnología para la investigación y aplicación de los recursos biológicos y genéticos del país, especialmente en las industrias alimenticia, de bienestar, cosmética, nutracéutica y farmacéutica.</p> <p>Oportunidades de intercambio y cooperación tecnológica con miembros de comunidades internacionales y organismos de apoyo relacionados con la bioeconomía, por ejemplo, Biotrade, USAID, Reino Unido, Agencia Francesa de Desarrollo (AFD), KfW, Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).</p>	<p>Si bien el objetivo 3 del Plan de Creación de Oportunidades 2021-vigente hasta 2023 establecía que se fomente la productividad bajo un enfoque de economía circular, en la que se crearán productos asociados a la biodiversidad (E9), y el objetivo 11 establecía la conservación restauración, protección y uso sostenible de los recursos naturales, en el que se incluye el uso y aprovechamiento sostenible del patrimonio natural, sin embargo, no se establecían criterios que permitan el fortalecimiento de la tecnología y la capacitación tecnológica. Sin personas formadas y sin una agenda de desarrollo tecnológico no es factible hacer la transición hacia la bioeconomía.</p> <p>Ecuador no cuenta con una política de ciencia, tecnología e innovación (PCTI) estable, ya que existen brechas grandes entre las definiciones planteadas en la Constitución, los planes de desarrollo y los documentos de política (Herrera-García et al., 2019).</p> <p>Desde estos antecedentes es importante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Definir políticas de Estado para incentivar la formación en carreras tecnológicas y de grado en biociencias, y fortalecer el sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación para permitir el avance científico y tecnológico en biociencias y tecnologías aplicadas de información y comunicación. • Establecer políticas que alienten la inversión en tecnologías apropiadas para el desarrollo de las biociencias, con una óptica productiva y de transferencia tecnológica.

Dimensiones	Retos	Oportunidades	Barreras
Productiva	<p>Identificar sectores de la bioeconomía con potencial para el país (lo que será producto de esta consultoría).</p> <p>Identificar aplicaciones de principios biológicos para crear nuevos productos/servicios o mejorarlos.</p> <p>Comunicar y posicionar los productos/servicios de la bioeconomía en el mercado doméstico e internacional.</p> <p>Establecer sistemas de innovación colaborativa basada en la demanda y servicios para incubación y aceleración de empresas.</p> <p>Conferir sostenibilidad a las iniciativas de bioeconomía desde su concepción.</p> <p>Facilitar inversión para la investigación aplicada, desarrollo e innovación en el campo de la bioeconomía.</p> <p>Sensibilizar/educar sobre el recurso para desarrollar la oferta y demanda nacionales de los productos/servicios de la bioeconomía.</p> <p>Asegurar el acceso a los beneficios del aprovechamiento de la biodiversidad a los pueblos y nacionalidades indígenas.</p> <p>Establecer un marco nacional de monitoreo de la bioeconomía en el Ecuador en cuanto a recursos, sectores, producción y comercio.</p>	<p>País megabiodiverso con el 61,58 % de su territorio cubierto por bosques con infinidad de posibilidades de desarrollo de productos, procesos y servicios.</p> <p>País multicultural con pueblos y nacionalidades con experiencia en modelos, productos y servicios de la bioeconomía.</p> <p>Tendencias de mercado y consumo de productos naturales sostenibles y neutros en carbono (Europa, China, EE. UU.).</p> <p>Sectores actuales de la economía requieren soluciones para su sostenibilidad que pueden ser solventadas por la bioeconomía.</p> <p>La bioeconomía puede generar ingresos/beneficios complementarios como servicios ecosistémicos, turismo, circularidad de recursos.</p> <p>Financiamiento internacional y cooperación técnica para áreas de gestión del cambio climático y lucha contra la pérdida de biodiversidad.</p> <p>El desarrollo de la bioeconomía sostenible es compatible con los compromisos internacionales sobre cambio climático y biodiversidad.</p>	<p>Barreras jurídicas y administrativas para el uso comercial de la biodiversidad.</p> <p>Insuficiente financiamiento para investigación, desarrollo e innovación, incubación y aceleramiento de empresas.</p> <p>Opciones nacionales de crédito poco competitivas para el desarrollo de la bioeconomía.</p> <p>Desarticulación entre la investigación académica y la comunidad y sectores de la producción.</p> <p>Información relacionada con la bioeconomía escasa y dispersa.</p> <p>Persistencia de incentivos a la producción convencional y actividades extractivas vs. limitados incentivos a la innovación y desarrollo en materia de bioeconomía.</p> <p>Dificultad de articulación entre los eslabones de la producción (atomizados), industria, distribución y mercado.</p>

Generación de Trabajo: La implementación de la bioeconomía está estrechamente relacionada con el ODS 8 (Trabajo Decente y Crecimiento Económico). El Libro Blanco destaca que el desarrollo de este sector puede fomentar la creación de empresas emergentes y la diversificación de actividades económicas, generando nuevas oportunidades laborales, especialmente en áreas rurales y comunidades vulnerables. Se estima que la transición hacia prácticas de bioeconomía podría crear miles de empleos en sectores como la agricultura sostenible, la biotecnología y el ecoturismo.

Educación de Calidad, Sensibilización y Educomunicación: El Libro Blanco enfatiza la necesidad de implementar programas de capacitación y sensibilización sobre bioeconomía. Esto implica educar a los ciudadanos y a las

organizaciones sobre la importancia de prácticas sostenibles y la conservación de recursos, promoviendo una cultura que valore la biodiversidad y su uso sostenible y responsable. La bioeconomía puede ser un eje central en los pénsum educativos y en iniciativas de formación para profesionales en áreas relacionadas con el medio ambiente y el desarrollo sostenible.

Igualdad de Género: El desarrollo de la bioeconomía ofrece oportunidades para empoderar a las mujeres, especialmente en sectores rurales donde pueden desempeñar roles vitales en la producción sostenible y la gestión de recursos naturales. El Libro Blanco incluye recomendaciones para garantizar que las políticas de bioeconomía sean inclusivas y promuevan la igualdad de género en la participación y los beneficios económicos.

El desarrollo de la bioeconomía puede contribuir a la creación de comunidades más resilientes y justas, fomentando la cooperación entre diversos actores y promoviendo prácticas que respeten los derechos de las comunidades locales y los pueblos indígenas.

Finalmente, el Libro Blanco reconoce que la bioeconomía puede desempeñar un papel aglutinador en la revitalización de alianzas globales. La colaboración entre gobiernos, sector privado, sociedad civil y comunidades es esencial para implementar estrategias de bioeconomía efectivas.

En resumen, el desarrollo de la bioeconomía en Ecuador, tal como se detalla en el Libro Blanco, no solo busca mejorar la gestión de recursos naturales, sino que también se propone generar un impacto positivo en diversas áreas del desarrollo sostenible, alineándose con los ODS y creando un marco integral para un crecimiento económico sostenible y equitativo. La correcta difusión del concepto de bioeconomía y la sensibilización sobre sus beneficios son cruciales para que la población entienda su importancia y pueda integrarlo en su vida diaria, en sus empresas y organizaciones, fortaleciendo así el tejido socioeconómico del país.

Una correcta difusión del concepto de bioeconomía y la sensibilización sobre sus aportes esenciales a nivel país, nos ayudará a entender y practicar de mejor manera la bioeconomía en nuestro diario vivir, empresa u organización.

4. DISCUSIÓN / CONCLUSIONES

El análisis de los resultados destaca la importancia de integrar principios de sostenibilidad en todas las etapas de desarrollo económico y social en Ecuador.

Se discuten también los desafíos y oportunidades para la implementación efectiva de las políticas propuestas.

La implementación de políticas públicas de bioeconomía es crucial para promover un desarrollo económico sustentable en Ecuador, al integrar el uso responsable de los recursos naturales con la conservación de la biodiversidad, lo que contribuye a la resiliencia frente al cambio climático.

Las políticas públicas enfocadas en la bioeconomía potencian la innovación y el crecimiento económico, lo que resulta en un impacto positivo en el bienestar social y económico del país.

Desarrollar procesos de Biocomunicación transversales es esencial para fortalecer el posicionamiento de la bioeconomía a nivel local, nacional y regional, al crear conciencia sobre sus beneficios y fomentar la colaboración entre diversos actores clave, incluyendo el sector privado, el gobierno, la academia y la sociedad civil.

La Biocomunicación efectiva puede ayudar a alinear las percepciones y acciones en torno a la bioeconomía, potenciando su adopción y visibilidad en diferentes escalas geográficas, lo que facilita el intercambio de conocimientos y el desarrollo de políticas más coherentes y efectivas.

REFERENCIAS

- GARCÍA, J. M. (COORD.). (2024). Libro Blanco de la bioeconomía sustentable de Ecuador. <https://www.flipsnack.com/Manthra/libro-blanco-de-la-bioeconom-a-sustentable-de-ecuador/full-view.html>
- ARAMENDIS, R., RODRÍGUEZ, A., & KRIEGER, L. (2018). Contribuciones a un gran impulso ambiental en América Latina y el Caribe: Bioeconomía. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- ORTEGA-PACHECO, D. V., SILVA, A., LÓPEZ, A., ESPINEL, R., INCLÁN, D., & MENDOZA-JIMÉNEZ, M. J. (2018). Tropicalizing sustainable bioeconomy: Initial lessons from Ecuador. En W. Leal Filho, D. Pociovălișteanu, P. Borges de Brito, & I. Borges de Lima (Eds.), *Towards a sustainable bioeconomy: Principles, challenges, and perspectives* (pp. 187-203). Springer International Publishing AG. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73028-8_11
- ORTEGA, M. P. (COORD.). (2024). Estrategia de comunicación, Fondo bioeconomía, Ecuador. Manthra Editores.
- Ecología y Vida. (n.d.). Los ecosistemas del Ecuador y su biodiversidad. <https://ecologiayvida.com/>



Economía circular del suero de leche: bioproceso para su conversión en bioestimulantes y biofertilizantes agronómicos

Alejandro Caballero ¹, José María Orts Gómez ², Jesús López Rodríguez ³, Luis Martín Presas ⁴ y Juan Parrado ⁵

Autor de Correspondencia: parrado@us.es

Resumen:

El suero de leche, debido a su alta carga orgánica y su elevada producción, representa un desafío significativo en términos de gestión ambiental. Sin embargo, también constituye una oportunidad para su valorización gracias a su excelente composición química.

Este trabajo propone un bioproceso basado en la economía circular, que permite la valorización completa del suero, mediante su conversión en productos de alto valor añadido para el sector agrícola, específicamente un Bioestimulante/Biofertilizante (BB).

El bioproceso es de naturaleza fermentativa/enzimática y utiliza bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPb), en particular bacterias lácticas (BAL), como herramienta biológica.

El nuevo BB, presenta una composición química radicalmente diferente al suero de leche. Su principal componente son ácidos orgánicos (ácido láctico), seguido de hidrolizados de proteínas (ambos presentan propiedades bioestimulantes) y por último a nivel biológico, la biomasa bacteriana (BAL) con propiedades PGPb, con actividad biofertilizante.

En resumen, esta propuesta de valorización del suero de leche mediante un enfoque biotecnológico promueve una agricultura más sostenible y eficiente, a la vez que fomenta la economía circular al transformar un residuo ambientalmente problemático en un recurso valioso.

Palabras clave: Suero, bacterias lácticas, Biofertilizante, Bioestimulante

Circular economy of whey: bioprocess for its conversion into agronomic biostimulants and biofertilizers

Alejandro Caballero ¹, José María Orts Gómez ², Jesús López Rodríguez ³, Luis Martín Presas ⁴ y Juan Parrado ⁵

Abstract:

Whey, due to its high organic load and significant production levels, represents a major challenge in terms of environmental management. However, it also presents an opportunity for valorization because of its excellent chemical composition.

¹ Universidad de Sevilla. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular (España), CÓDIGO ORCID 0000-0002-7420-2153. caballerohernandezalejandro@gmail.com

² Universidad de Sevilla. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular (España), CÓDIGO ORCID. 0000-0003-0186-2107 España), jorts1@us.es;

³ Universidad de Sevilla. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular (España), jlopez17@us.es;

⁴ Universidad de Sevilla. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular (España), Impresas@us.es

⁵ Universidad de Sevilla. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular (España), parrado@us.es CÓDIGO ORCID. 0000-0002-1462-408X

This work proposes a bioprocess based on circular economy, enabling the complete valorization of whey by converting it into high-value-added products for the agricultural sector, specifically a Biostimulant/Biofertilizer (BB).

The bioprocess is fermentative/enzymatic in nature and employs plant growth-promoting bacteria (PGPb), particularly lactic acid bacteria (LAB), as a biological tool.

The new BB has a chemical composition radically different from whey. Its main components are organic acids (lactic acid), followed by protein hydrolysates, both of which exhibit biostimulant properties. Additionally, at the biological level, the bacterial biomass (LAB) contributes PGPB properties, acting as a biofertilizer.

In summary, this proposal for the valorization of whey through a biotechnological approach promotes more sustainable and efficient agriculture while fostering a circular economy by transforming an environmentally problematic waste into a valuable resource.

Key Words: Whey, lactic bacteria, biofertilizer, bioestimulant

1. INTRODUCCIÓN

El suero de quesería o lactosuero que se origina tras la coagulación de la leche en la fabricación del queso representa cerca del 85-90 % del volumen de la leche utilizada para fabricar queso y contiene aproximadamente el 55% de sus nutrientes. Está compuesto principalmente por agua (93-95%), materia orgánica (alrededor del 50% de los nutrientes de la leche original, mayoritariamente, proteínas y lactosa) y sales minerales.

La producción anual de suero a nivel mundial es de aproximadamente 180 millones de toneladas (Ghasemi et al. 2017). Debido a su alto contenido orgánico (González Siso, 1996) eliminarlo como residuo plantea un gran problema ambiental, ya que su correcto tratamiento antes de su vertido al medio, es un requisito legal (Kalyuzhnyi et al., 1997).

En España, el vertido directo del lactosuero no está permitido (Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas) y se exige a las queserías productoras la gestión de este subproducto, bien tratándolo o reutilizándolo en sus propias instalaciones o entregando el suero a empresas gestoras para su empleo o transformación en el marco de la Ley 10/1998 de Residuos.

La gestión de los lactosueros es uno de los mayores desafíos a los que se tienen que enfrentar las queserías debido al gran volumen que se genera (hasta 9

veces el volumen del queso elaborado) y con altísimos niveles de DQO (entre 40,000 y 60,000 mg/l) lo que requiere de tratamientos para eliminar posibles efectos contaminantes, estos son difícilmente asumibles por las pequeñas y medianas queserías debido a su complejidad y a los altos gastos de operación.

Actualmente, los sistemas más utilizados son, su eliminación por digestión anaerobia, digestión aerobia, y lagunaje, donde los dos primeros sistemas de tratamiento quedan exclusivamente reservados para las queserías de mayor tamaño, quedando para las de tamaño más pequeño como sistema más utilizado, el lagunaje. La principal alternativa a los tratamientos indicados, en las pequeñas queserías, son el uso directo en alimentación animal local y la recogida por parte de un gestor de residuos.

En resumen, las empresas queseras de mayor capacidad cuentan con instrumentos tecnológicos para la gestión de estos subproductos, pero las queserías más pequeñas deben buscar soluciones que se adapten a sus capacidades.

1.1. Suero y fertilización

El suero contiene nutrientes beneficiosos para los cultivos como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre y tiene potencial como fertilizante. Así, la aplicación directa de suero ha sido durante mucho tiempo una práctica agronómica (Mawson, 1994).

La aplicación del suero queso al suelo agrícola ha sido considerado un método eficaz para aumentar el contenido de materia orgánica y aumentar la capacidad de retención de agua (Aboukila et al., 2018), ya que las cantidades y proporciones de estos nutrientes lo convierten en un sustituto o complemento adecuado de los fertilizante inorgánicos (Zibilske, 1998).

Muchos estudios se han centrado en el efecto directo del suero en las propiedades químicas del suelo así como en el crecimiento y parámetros relacionados con la productividad de las plantas, concluyendo que el suero se puede utilizar como estimulante de las plantas. Por otro lado, estudios fitoquímicos de plantas fertilizadas con suero han demostrado la capacidad de

éste para estimular la inducción de la biosíntesis y la acumulación de principios activos vegetales (Grosu, 2012).

No obstante, el suero presenta una limitación en su potencial como fertilizante, debido a la baja biodisponibilidad de la lactosa, tanto para las plantas como para los microorganismos ambientales. Por ello, el desarrollo de procesos que salven este inconveniente permitirá incrementar significativamente su eficacia en aplicaciones agronómicas.

1.2. Bioestimulantes y biofertilizantes

Los bioestimulantes (BSs) son compuestos orgánicos (como péptidos, aminoácidos, polisacáridos, ácidos húmicos, fitohormonas, etc.) que, cuando se aplican en pequeñas cantidades, mejoran los procesos fisiológicos de las plantas. Los bioestimulantes aumentan la eficiencia en el uso de nutrientes y ayudan a las plantas a tolerar el estrés abiótico, lo que mejora la calidad y el rendimiento de los cultivos (du Jardin 2015).

Por otro lado, los biofertilizantes (BFs) son inoculantes vivos, como bacterias promotoras del crecimiento de plantas (PGPb), hongos micorrícicos o algas verdes que se utilizan para promover el crecimiento y la salud de las plantas, y proporcionan nutrientes directamente a los cultivos. Los bioestimulantes/biofertilizantes son una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente para aumentar la productividad agrícola y reducir la dependencia de fertilizantes químicos.

1.3. Bacterias lácticas (BAL) y biofertilización

Las BAL son un grupo de bacterias Gram positivas, no esporuladas, anaeróbicas facultativas, con forma de bastón (bacilos) o esféricas (cocos) que incluyen 6 familias y 38 géneros en el Orden de Lactobacillales (Holzapfel, Abriouel y Wood 2014). Éstas producen ácido láctico (LA) como principal producto final del metabolismo sacarolítico (SAEED y SALAM, 2013).

Es un grupo amplio y heterogéneo, compuesto principalmente por los géneros *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* y *Streptococcus*, y también en menor medida por *Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*,

Oenococcus, *Teragenococcus*, *Vagococcus* y *Weisella*. Las LAB son miembros ubicuos de muchos microbiomas vegetales, plantas colonizadoras, suelos y rizosfera. Por lo tanto, las LAB podrían aislarse de una gran variedad de ambientes, incluido el suelo, residuos de plantas y diferentes desechos.

Las BAL presentan propiedades biofertilizantes, de entre las que se encuentran la fijación de nitrógeno atmosférico, el cual se transforma a amoníaco para que sea disponible para las plantas (Giassi et al., 2016) Se ha demostrado que las BAL solubilizan el fosfato mediante la producción de ácidos orgánicos como el ácido láctico (Giassi et al., 2016), las plantas solamente son capaces de adquirir el fósforo en su forma inorgánica, por lo que su disponibilidad depende de la solubilización de éste (Beltrán Pineda, 2015).

Las BAL producen fitohormonas (Kumar et al. 2022), como la giberelina (GA) y auxinas como el ácido indol-3-acético (AIA), los cuales desempeñan diversas funciones en la promoción del crecimiento de las plantas (Lamont et al. 2017), estas producen un aumento de la actividad metabólica que ayuda a la defensa, el normal funcionamiento celular y el manejo del estrés abiótico (Khan et al. 2020). Por otra parte, las fitohormonas influyen en el crecimiento de las plantas mejorando la longitud y la superficie radicular, lo que incrementa la calidad de su nutrición y la absorción de agua.

2. MÉTODO/DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA DE INNOVACIÓN

2.1 Aislamiento de bacterias lácticas

El suero de leche objeto de estudio procedía de la empresa Vega e Hijos (Sevilla), cuyas bacterias lácticas fueron aisladas mediante su cultivo en medios específicos sólidos (MRS-glucosa) con adición de lactosa, en función de las diferentes morfologías de las colonias. La identificación fue realizada mediante secuenciación génica de la región 16S del ARNr. Ésta se alineó con las secuencias de las cepas tipo más relacionadas utilizando el servicio Ez-Taxon-e (www.ezbiocloud.net/eztaxon) (Yoon et al. 2017). Posteriormente, se determinaron las similitudes por pares (Meier-Kolthoff 2013).

2.2 Propiedades biofertilizantes

La caracterización de las diferentes propiedades biofertilizantes de las diferentes BAL se realizó con los siguientes ensayos a) producción de ácido indolacético (IAA) (Gordon y Weber 1950) b) Solubilización de fosfato (Nautiyal 1999) c) fijación de nitrógeno, las bacterias se cultivaron en un medio mínimo libre de nitrógeno (Nautiyal 1999) durante 72 h a 28 °C. d) La producción de sideróforos se evaluó en placas de agar CAS (Chrome Azurol S) (Schwyn y Neilands 1987). La formación de biofilms se evaluó siguiendo el método previamente descrito (Del Castillo et al. 2012).

2.3 Análisis tamaño molecular proteico/peptídico

El análisis de tamaño molecular de las proteínas y péptidos de los sueros y los fermentados se realizó por cromatografía de exclusión molecular, utilizando un HPLC JASCO LC-4000 con una columna de exclusión por tamaño Superdex Peptide™ 10/300 GL, que tiene un rango de separación óptimo de 0,1 a 7 kilo daltons (kDa). La detección de las moléculas se llevó a cabo a longitud de onda de 280 nm, utilizando un módulo detector UV/Vis JASCO UV-4075.

2.4 Bioproceso

El esquema general de proceso de valorización (Figura 1) se divide en una etapa inicial de fermentación, seguida por un proceso de estabilización mediante separación de la biomasa (*Lactobacillus rhamnosus*), constituyendo ésta la fracción biofertilizante, seguida por una etapa de concentración de la fracción bioestimulante (suero fermentado sin bacterias) compuesta por los metabolitos bioestimulantes, como son el ácido láctico y las proteínas hidrolizadas, en forma de péptidos como se muestra en la Figura 2.

El bioproceso fermentativo a escala de laboratorio se realizó en un fermentador convencional con una capacidad total de 5L, control de pH, agitación y temperatura (Sartorius Biostat A, Germany). Se realizaron distintas fermentaciones con el objetivo de optimizar los parámetros pH, temperatura y aireación. En cada una de las fermentaciones realizadas únicamente se modificaba un parámetro a estudiar, manteniendo los valores del resto de parámetros en: pH 5.5, temperatura 40°C, agitación 300 rpm y aireación 1.5

v.v.m. La concentración de ácido láctico fue elegida como indicador de la productividad de la fermentación.

Parámetros estudiados:

- Temperatura (°C): 38, 40, 42
- pH 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8
- Aireación (v.v.m.) 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5

El suero fermentado fue posteriormente procesado para su estabilización mediante tecnología de membranas a través de ultrafiltración y ósmosis inversa.

El escalado se realizó en las instalaciones de planta piloto pertenecientes al grupo AGR-212 situada en Mataderos del Sur (Salteras, España) empleando un fermentador con una capacidad total de 100L y, seguidamente, en dos fermentadores con una capacidad total de 3 y 8 m³, acoplados a sistemas de ultrafiltración y ósmosis inversa.

3. RESULTADOS

3.1 Composición química del suero

Tabla 1. Composición química del suero de leche y del suero fermentado. **Fuente:** Elaboración propia. *En forma de péptidos

	Suero de leche (g/l)	Suero fermentado (g/l)
Biomasa BAL	0.05±0.01	3.2 ± 0.7
Proteínas	9.8 ± 2	9.16 ± 1.8*
Ácido Láctico	5.0 ± 0.5	42.0 ± 0.2
Lactosa	51.0 ± 3.1	1.7 ± 0.2
Minerales	2.2 ± 0.3	2.4 ± 0.2

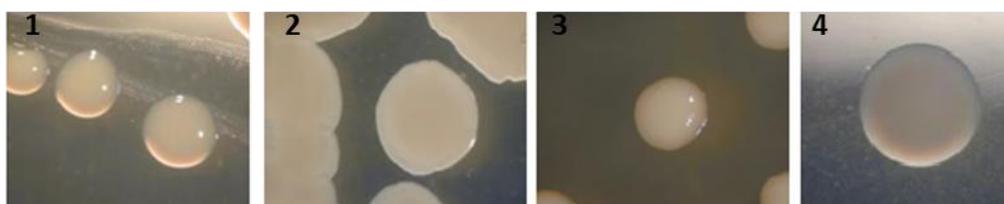
El suero de leche utilizado como materia prima en este trabajo presenta una composición química típica (Tabla 1), compuesta principalmente por carbohidratos, principalmente lactosa (50 ± 3,9 g/L), y proteínas solubles (10 ± 2 g/L). El suero también contiene menores cantidades de ácido láctico (5,2 ± 0,6 g/L), un producto de la fermentación microbiana espontánea de la lactosa durante el almacenamiento [34].

3.2 Aislamiento de bacterias lácticas

Se identificaron cuatro especies cultivables principales a partir de un aislamiento microbiano realizado dentro del consorcio presente en el suero de leche, cuyos resultados son mostrados en la Tabla 2. Todas las LAB aisladas corresponden al género *Lactobacillus*, siendo de especial relevancia *Lactobacillus rhamnosus*, bacteria que ofrece importantes ventajas para la salud animal/humana por ser un probiótico de interés y como bacteria con capacidad biocontroladora de patógenos en plantas (Akhtar et al. 2023; Braos et al. 2020).

Tabla 2. Identificación de las bacterias lácticas aisladas del ARNr del 16S, mostrando la especie más cercana según la base de datos de EzBioCloud y NCBI. **Fuente:** Elaboración propia

Cepa	Especie	% ID
1	<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	100%
2	<i>Lactobacillus fermentum</i>	100%
3	<i>Lactobacillus hilgardii</i>	100%
4	<i>Lactobacillus helveticus</i>	99,78%



3.3 Identificación de sus propiedades como BIOFERTILIZANTES

Una vez identificadas, se realizó una selección de la cepa de lactobacteria con mayor actividad biofertilizante. Se procedió a evaluación de las actividades PGPb, y se observa que todas las bacterias fueron capaces de crear biofilms, propiedad que permite a las bacterias fijarse y colonizar distintas superficies como las raíces (Tabla 3). A su vez, todas las bacterias identificadas fueron capaces de solubilizar fosfatos, siendo el mayor solubilizador la cepa de *Lactobacillus rhamnosus*, con un halo de 2,3 cm de diámetro (Tabla 3). La mayoría fueron capaces de producir auxinas (IAA), destacando *Lactobacillus rhamnosus* y *Lactobacillus helveticus* por mostrar altos valores de AIA (8,667 y 9,273 mg·L⁻¹ respectivamente). La fijación de nitrógeno y producción de sideróforos fue sólo positiva para *Lactobacillus rhamnosus*; el resto de las cepas resultaron negativas (Tabla 3).

Tabla 3. Propiedades PGP presentes en las bacterias aisladas. **Fuente:** Elaboración propia

Cepa	Solubilización de fosfato (mm)	Sideróforos (mm)	IAA (mg/l)	Fijación de nitrógeno	Biofilm
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	2.3	0.8	8,667	+	+
<i>Lactobacillus fermentum</i>	2.1	-	-	-	+
<i>Lactobacillus hilgardii</i>	±	-	+	-	+
<i>Lactobacillus helveticus</i>	+	-	9,237	-	+

En conclusión, las bacterias aisladas de los sueros de leche pueden ser utilizadas para la obtención de productos con capacidad biofertilizantes y bioestimulantes. Por otra parte, son BAL adaptadas localmente al crecimiento en el suero de leche; esto representa una ventaja para la producción industrial, en comparación con la utilización de una BAL obtenida de una colección microbiana.

De todas ellas la bacteria aislada del suero de leche, elegida como herramienta biológica para realizar la optimización del bioproceso por presentar mejores propiedades biofertilizantes es *Lactobacillus rhamnosus*.

3.3 Optimización del bioproceso

El bioproceso de valorización de suero para la obtención de bioestimulantes/biofertilizantes., fue optimizado a escala de laboratorio, en un fermentador con control de pH y temperatura. Se evaluó a través de la evaluación de la productividad de la generación de ácido láctico, hallando los valores óptimos de los parámetros estudiados, que se muestran a continuación.

1. pH. El pH óptimo de pH 7 es el que mayor productividad presentó (1.16 mg ml⁻¹ h⁻¹), cuyo rendimiento de conversión de lactosa en ácido láctico fue del 100 %.

Se observó que a partir de un valor de pH 7.5 la productividad de ácido láctico disminuyó significativamente, siendo mínima a pH 8. El rango de

valores de pH con mayor producción fue de 6 a 7, mientras que las fermentaciones con menos producción de ácido láctico fueron las de pH 5 y 8. Se observó también una correlación entre la cantidad de biomasa y el pH, siendo mayor cuando el pH fue más básico.

2. Temperatura. La temperatura óptima fue de 42°C, con una producción de ácido láctico muy superior, así como la cinética de la fermentación. Las fermentaciones de las otras tres temperaturas evaluadas mostraron una cinética y unos valores de producción inferiores. Respecto a la producción en biomasa no se observaron diferencias.

3. Aireación. Los resultados mostraron que, en ausencia de aireación, hubo una mayor producción de ácido láctico. También se observó una disminución del rendimiento y la productividad con el aumento de la aireación. La cantidad de biomasa recogida no parece seguir un patrón definido en relación con la aireación.

Como conclusión de la optimización del bioproceso fermentativo de conversión del suero de leche en un nuevo biofertilizante/bioestimulante se eligieron los parámetros óptimos: pH 7, temperatura 42°C y ausencia de aireación.

El proceso fermentativo se reprodujo en planta piloto hasta una escala de 6.000 litros, en las condiciones operacionales óptimas y se obtuvo una total reproducibilidad.

4. CONCLUSIÓN

El suero de leche tiene un gran potencial como fuente de crecimiento para bacterias lácticas y la producción de compuestos bioestimulantes, en este trabajo se presenta el diseño y escalado de un bioproceso de economía circular (Figura 1), el cual conduce a la conversión de un residuo alimentario en un nuevo producto con actividad bioestimulante/biofertilizante (Tabla 1, Figura 2).

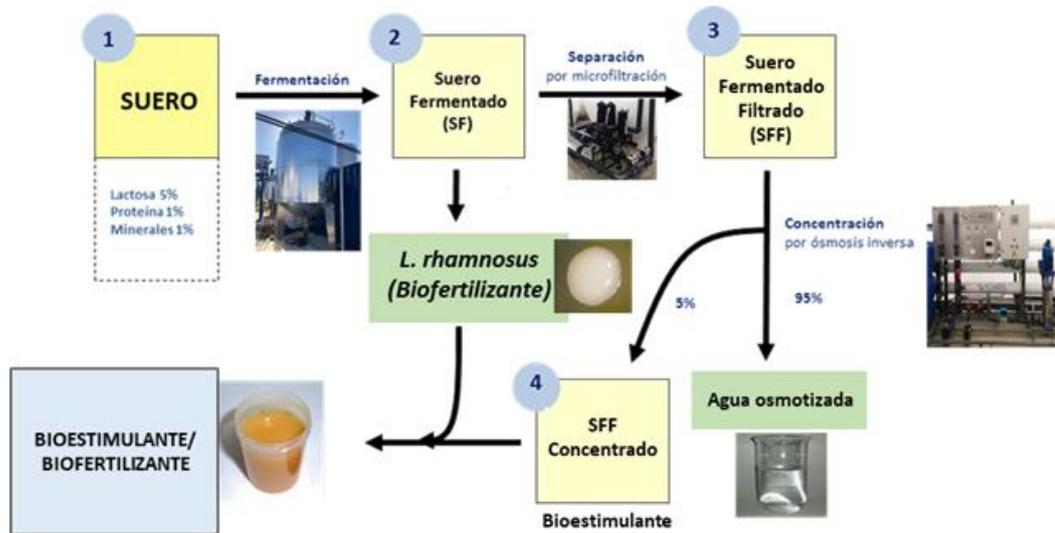


Figura 1. Esquema general del Bioproceso

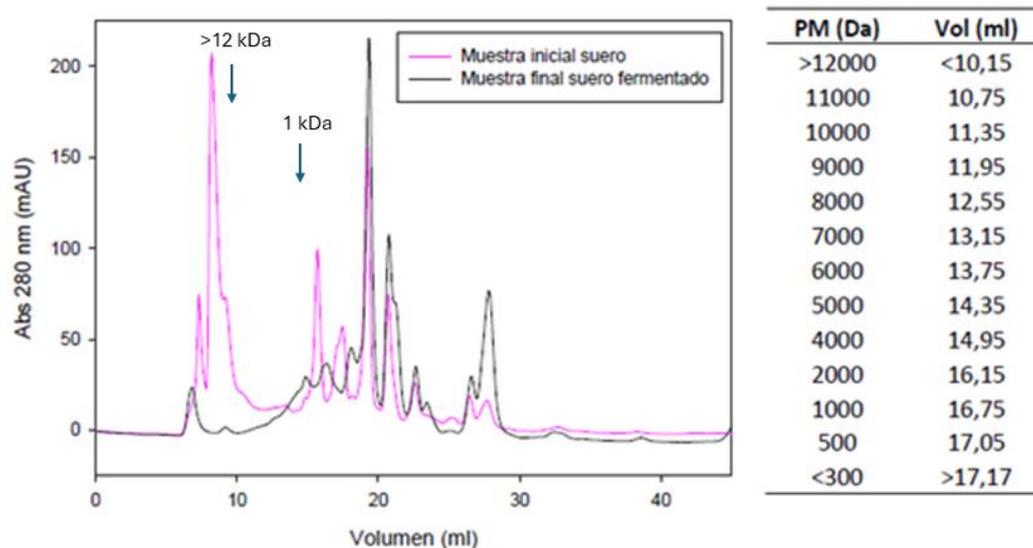


Figura 2. Perfil tamaño molecular proteico (Análisis HPLC de exclusión molecular) de una muestra de suero inicial y otra de suero fermentado. La tabla derecha relaciona el volumen de elución con el peso molecular de los eluyentes

En este nuevo producto destaca la aparición de compuestos orgánicos con actividad bioestimulante, entre los que se encuentran:

1. Hidrolizados de proteínas y aminoácidos libres. Son los compuestos bioestimulantes más importantes en cuanto a su uso y potencia (du Jardin 2015). Durante el bioproceso son producidos por la hidrólisis de las proteínas de alto peso molecular en péptidos y aminoácidos libres, debida a procesos catabólicos de las BAL.

2. Ácido láctico, obtenido por la conversión de la lactosa, es un compuesto bioestimulante, fuertemente implicado en la solubilización y adquisición de nutrientes esenciales como el fósforo. Este efecto prebiótico conduce a la inducción de bacterias PGpb rizosféricas (Macias-Benitez et al. 2020).

Y por último actividad biofertilizante, por parte de *Lactobacillus rhamnosus*, presenta actividad fijadora de nitrógeno y solubilizadora de fósforo así como productor de fitohormonas y sideróforos.

En el futuro nuevos estudios del suero fermentado, respecto a la caracterización de potencia agronómica, así como en la formulación de productos finales, serán necesarios para satisfacer la creciente demanda agrícola de insumos sostenibles entre los que se encuentran los bioestimulantes y biofertilizantes.

Fuentes de financiación: Este trabajo presenta parte de los resultados del Grupo Operativo BIOSUERO N.º EXPEDIENTE: GOPG-MA-20-0004, que fue financiado a través de los Fondos Europeos Agrícolas de Desarrollo Rural (FEADER) y cofinanciado por la Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, de la convocatoria de Grupos Operativos Regionales de la Asociación Europea de Innovación (AEI) en Materia de Productividad y Sostenibilidad Agrícola de 2020.

REFERENCIAS

- SAEED, Hayed y SALAM, Ibrahim. 2013. Current limitations and challenges with lactic acid bacteria: a review. *Food and Nutrition Sciences*, vol. 2013, no. November, pp. 73-87.
- ABOUKILA, Emad, ABDELRAOUF, Elsayed y GOMMA, Ibrahim, 2018. Effects of Cheese Whey on Some Chemical and Physical Properties of Calcareous and Clay Soils. *International Journal of Plant & Soil Science*, vol. 21, no. 3, pp. 1-12. DOI 10.9734/ijpss/2018/39082.
- AKHTAR, Maira, NOSHEEN, Asia, KEYANI, Rumana, YASMIN, Humaira, NAZ, Rabia, MUMTAZ, Saqib y HASSAN, Muhammad Nadeem, 2023. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* in basmati rice by the application of *Lactobacillus* and *Weissella* spp. *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1. ISSN 20452322. DOI 10.1038/s41598-023-41058-9.
- BRAOS, Lucas Boscov, RUIZ, Juan Gabriel Cristhoffer Lopes, LOPES, Ivã Guidini, FERREIRA, Manoel Evaristo y DA CRUZ, Mara Cristina Pessôa, 2020. Mineralization of Nitrogen in Soils with Application of Acid Whey at Different pH. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 20, no. 3, pp. 1102-1109. ISSN 07189516. DOI 10.1007/s42729-020-00196-z.
- DEL CASTILLO, I., HERNÁNDEZ, P., LAFUENTE, A., RODRÍGUEZ-LLORENTE, I.D., CAVIEDES, M.A. y PAJUELO, E., 2012. Self-bioremediation of cork-processing wastewaters by (chloro)phenol-degrading bacteria immobilised onto residual cork particles. *Water Research*, vol. 46, no. 6, pp. 1723-1734. ISSN 18792448. DOI 10.1016/j.watres.2011.12.038.
- DU JARDIN, Patrick, 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* [en línea], vol. 196, pp. 3-14. ISSN 03044238. DOI 10.1016/j.scienta.2015.09.021. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>.

- GHASEMI, Mostafa, AHMAD, Azri, JAFARY, Tahereh, AZAD, Abul K., KAKOOEI, Saeid, WAN DAUD, Wan Ramli y SEDIGHI, Mehdi, 2017. Assessment of immobilized cell reactor and microbial fuel cell for simultaneous cheese whey treatment and lactic acid/electricity production. *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 14, pp. 9107-9115. ISSN 03603199. DOI 10.1016/j.ijhydene.2016.04.136.
- GIASSI, Valdionei, KIRITANI, Camila y KUPPER, Katia Cristina, 2016. Bacteria as growth-promoting agents for citrus rootstocks. *Microbiological Research* [en línea], vol. 190, pp. 46-54. ISSN 09445013. DOI 10.1016/j.micres.2015.12.006. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.006>.
- GONZÁLEZ SISO, M.I., 1996. The biotechnological utilization of cheese whey: A review. *Bioresource Technology*, vol. 57, no. 1, pp. 1-11. ISSN 09608524. DOI 10.1016/0960-8524(96)00036-3.
- GORDON, Solon A. y WEBER, Robert P., 1950. pg./ml., , pp. 192-195.
- GROȘU, Luminița, FERNANDEZ, Barbara, GRIGORAȘ, Cristina Gabriela, PATRICIU, Oana Irina, GRIG, Irina Claudia Alexa, NICUȚĂ, Daniela, CIOBANU, Domnica, GAVRILĂ, Lucian y FÎNARU, Adriana Luminița, 2012. Valorization of whey from dairy industry for agricultural use as fertiliser: Effects on plant germination and growth. *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 11, no. 12, pp. 2203-2210. ISSN 15829596. DOI 10.30638/eemj.2012.273.
- HOLZAPFEL, Wilhelm, ABRIOUEL, Hikmate y WOOD, Brian J.B., 2014. *Lactic acid bacteria: biodiversity and taxonomy*. book. Chichester, England: Wiley Blackwell. ISBN 1-118-65527-3.
- JI, Sang Hye, GURURANI, Mayank Anand y CHUN, Se Chul, 2014. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic diazotrophic bacteria from Korean rice cultivars. *Microbiological Research* [en línea], vol. 169, no. 1, pp. 83-98. ISSN 09445013. DOI 10.1016/j.micres.2013.06.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2013.06.003>.

- KALYUZHNYI, S. V., PEREZ MARTINEZ, E. y RODRIGUEZ MARTINEZ, J., 1997. Anaerobic treatment of high-strength cheese-whey wastewaters in laboratory and pilot UASB-reactors. *Bioresource Technology*, vol. 60, no. 1, pp. 59-65. ISSN 09608524. DOI 10.1016/S0960-8524(96)00176-9.
- KHAN, Naeem, BANO, Asghari, ALI, Shahid y BABAR, Md Ali, 2020. Crosstalk amongst phytohormones from planta and PGPR under biotic and abiotic stresses. *Plant Growth Regulation* [en línea], vol. 90, no. 2, pp. 189-203. ISSN 15735087. DOI 10.1007/s10725-020-00571-x. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00571-x>.
- KUMAR, Satish, DIKSHA, SINDHU, Satyavir S. y KUMAR, Rakesh, 2022. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences* [en línea], vol. 3, no. July 2021, pp. 100094. ISSN 26665174. DOI 10.1016/j.crmicr.2021.100094. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094>.
- LAMONT, John R., WILKINS, Olivia, BYWATER-EKEGÄRD, Margaret y SMITH, Donald L., 2017. From yogurt to yield: Potential applications of lactic acid bacteria in plant production. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 111, pp. 1-9. ISSN 00380717. DOI 10.1016/j.soilbio.2017.03.015.
- MACIAS-BENITEZ, Sandra, GARCIA-MARTINEZ, Ana María, CABALLERO JIMENEZ, Pablo, GONZALEZ, Juan Miguel, TEJADA MORAL, Manuel y PARRADO RUBIO, Juan, 2020. Rhizospheric Organic Acids as Biostimulants: Monitoring Feedbacks on Soil Microorganisms and Biochemical Properties. *Frontiers in Plant Science*, vol. 11, no. May, pp. 1-16. ISSN 1664462X. DOI 10.3389/fpls.2020.00633.
- MARWAHA, S.S. y KENNEDY, J.F., 1988. Whey—pollution problem and potential utilization. *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 23, no. 4, pp. 323-336. ISSN 13652621. DOI 10.1111/j.1365-2621.1988.tb00586.x.
- MAWSON, A.J., 1994. Bioconversions for whey utilization and waste abatement. *Bioresource Technology*, vol. 47, no. 3, pp. 195-203. ISSN 09608524. DOI 10.1016/0960-8524(94)90180-5.

- MEIER-KOLTHOFF, Jan P., GÖKER, Markus, SPRÖER, Cathrin y KLENK, Hans Peter, 2013. When should a DDH experiment be mandatory in microbial taxonomy? *Archives of Microbiology*, vol. 195, no. 6, pp. 413-418. ISSN 03028933. DOI 10.1007/s00203-013-0888-4.
- NAUTIYAL, C. Shekhar, 1999. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, vol. 170, no. 1, pp. 265-270. ISSN 03781097. DOI 10.1016/S0378-1097(98)00555-2.
- SCHWYN, Bernhard y NEILANDS, J.B., 1987. Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. *Analytical Biochemistry*, vol. 160, no. 1, pp. 47-56. ISSN 10960309. DOI 10.1016/0003-2697(87)90612-9.
- YOON, Seok Hwan, HA, Sung Min, KWON, Soonjae, LIM, Jeongmin, KIM, Yeseul, SEO, Hyungseok y CHUN, Jongsik, 2017. Introducing EzBioCloud: A taxonomically united database of 16S rRNA gene sequences and whole-genome assemblies. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, vol. 67, no. 5, pp. 1613-1617. ISSN 14665026. DOI 10.1099/ijsem.0.001755.
- ZIBILSKE, Larry, 1998. Handbook of Soil Conditioners: Substances That Enhance the Physical Properties of Soil. *Soil Science*, vol. 163, no. 12, pp. 982-983. ISSN 0038-075X. DOI 10.1097/00010694-199812000-00008.



Evaluación y caracterización *in vitro* de la pulpa de aceituna como ingrediente en piensos de caprino lechero

Alberto M. Sánchez-García ¹, Manuel Romero Huelva ² y A. Ignacio Martín-García ³

Autor de Correspondencia: alberto.sanchez@eez.csic.es

Resumen:

El uso de subproductos agroalimentarios en alimentación animal supone una oportunidad para la transición a la bioeconomía. En España, la industria del olivar genera cerca de 612.000 toneladas/año de subproductos, en su mayoría pulpa de aceituna (PA), cuyas características y composición permiten que pueda ser usada frecuentemente como biomasa para la producción de energía o como ingrediente para la obtención del aceite de orujo, entre otros. Sin embargo, su utilización dentro del sector de la nutrición animal no está del todo definida ya que es un elemento que depende de factores coyunturales como las variaciones en la cosecha de la aceituna y la volatilidad de los precios de la alimentación animal y de la energía. Este estudio evaluó el valor nutritivo de una variante de PA (parcialmente deshuesada y desecada, pero sin reextractación) mediante el análisis de su composición nutritiva y la realización de cultivos *in vitro* de microorganismos ruminales para estudiar la fermentación ruminal (FR) tanto de la PA frente a otras materias primas comúnmente utilizadas en la elaboración de piensos para rumiantes, como de diferentes proporciones de incorporación de PA en un pienso comercial. La PA, a pesar de presentar una capacidad limitada para aportar nutrientes por su elevado contenido en lignina y bajo en proteína digestible, destacó por su contenido y composición en grasa. La ausencia de efectos negativos sobre la FR indicó la viabilidad de su empleo en la alimentación de rumiantes hasta en un 15 % de inclusión.

Palabras clave: pulpa de aceituna, rumiantes, caprino, subproductos, nutrición, economía circular, fermentación ruminal

In vitro evaluation and characterisation of olive pulp as a feed ingredient for dairy goats

Alberto M. Sánchez-García ¹, Manuel Romero Huelva ² and A. Ignacio Martín-García ³

Abstract:

The utilization of agri-food by-products in animal nutrition presents an opportunity for the transition to a bioeconomy. In Spain, the olive industry generates about 612,000 tonnes/year of by-products, primarily olive pulp (OP), whose characteristics and composition allow it to be frequently used as biomass for energy production or as an ingredient for obtaining pomace oil, among others. However, its use in the animal nutrition sector is not completely defined, since it is an element that depends on conjunctural factors such as variations in olive harvest and the volatility of animal feed and energy prices. This study evaluated the nutritional value of an OP variant (partially destoned and dehydrated, but without re-extraction) by analyzing its nutritional composition and conducting *in vitro* cultures of ruminal microorganisms to examine the ruminal fermentation (RF) of both OP compared to other raw materials commonly used in ruminant feed formulation, and different incorporation proportions of OP in a commercial feed. Despite OP's limited capacity to

¹ ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL ZAIDÍN (CSIC) – Granada (alberto.sanchez@eez.csic.es)

² ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL ZAIDÍN (CSIC) – Granada (manuel.romero@eez.csic.es)

³ ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL ZAIDÍN (CSIC) – Granada (ignacio.martin@eez.csic.es)

provide nutrients due to its high lignin content and low digestible protein, it stood out for its fat content and composition. The absence of negative effects on FR indicated the viability of its use in ruminant nutrition up to 15% inclusion.

Key Words: olive pulp, ruminants, goat, by-products, nutrition, circular economy, ruminal fermentation

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento global urge encontrar nuevas estrategias para satisfacer el aumento de la demanda de alimentos. La FAO estima que en 2050 la población mundial alcanzará los 10 mil millones de personas, de forma que la producción mundial de alimento debería de incrementarse en un 70% para poder satisfacer las necesidades de la población (FAO, 2009). Esto, unido a la previsible limitación de recursos disponibles, augura una situación de insostenibilidad en los distintos sectores agro-alimentarios. El sector ganadero está siendo uno de los más afectados, ya que las consecuencias generadas por el cambio climático (escasez de agua, fenómenos meteorológicos extremos, subida de las temperaturas) provocan que el acceso a alimentos (forrajes y cereales) se vea comprometido y genere incertidumbre para los profesionales del sector (Giridhar and Samireddypalle, 2015), (Rouget et al. 2012). En este sentido, el uso de subproductos agroalimentarios (SBP) es una excelente oportunidad para la transición a la economía circular. En la Unión Europea se producen alrededor de 16 millones de toneladas anuales de SBP y España se encuentra a la cabeza con cerca de 1,6 millones de toneladas de SBP (Correddu et al. 2020).

El empleo de SBP para la alimentación del ganado está globalmente extendida, siendo los rumiantes los principales candidatos debido a su capacidad para aprovechar la energía de la fibra gracias a la microbiota ruminal (Chen et al. 2022). Algunos estudios han mostrado efectos beneficiosos de los SBP sobre la ingesta, la fermentación ruminal (FR) y la producción de leche, mediada por los compuestos bioactivos que contienen (Jalal et al. 2023).

En España la industria del aceite de oliva supone el 95% del volumen total de los aceites producidos y su consumo alcanzó los 10,3 litros por persona en 2022 (MAPA, 2022). Esta alta producción conlleva un incremento en la obtención de un SBP, la pulpa residual final, conocida como orujo, que se utiliza principalmente como biomasa para la producción de energía, pero cuyo

destino dentro del sector de la nutrición animal no está del todo definido (Alburquerque et al. 2004). La composición del orujo es muy variable y éste se puede clasificar en diferentes tipos en función de su grado de humedad, el contenido graso, la cantidad de hueso, etc., dependiendo de la tecnología o el número de procesos de extracción a los que la masa de aceituna ha sido sometida. Un tipo de este SBP es la pulpa de aceituna (PA), también conocida como orujo graso seco y parcialmente deshuesado, que contiene una humedad inferior al 10 % y 4-6 % de grasa de excelente calidad (Fernandez Mayer, 2021), que la hacen interesante para su inclusión en piensos de rumiantes. Numerosos estudios han evaluado el efecto de distintos orujos sin encontrar efectos negativos sobre la ingesta, la digestibilidad de los nutrientes y la producción de leche en caprino (Arco-Pérez et al. 2017), además de mejorar la composición de la leche aumentando las proporciones en ácidos grasos beneficiosos para el consumidor (El Otmani et al. 2021) lo cual lo convierte en un ingrediente que podría ser interesante dentro del sector del caprino lechero.

2. OBJETIVOS

Con el fin de poder caracterizar la PA como ingrediente para la nutrición de pequeños rumiantes, el objetivo de este estudio fue evaluar el valor nutritivo y la FR *in vitro* de la PA. Para ello, se estudió la composición química y nutritiva de la PA y se llevaron a cabo dos experimentos basados en cultivos *in vitro* de microorganismos ruminales. En uno de ellos, se analizó la FR de la PA comparándola con otras materias primas comúnmente utilizadas en la elaboración de piensos para pequeños rumiantes. Mientras que, en el segundo experimento, se evaluó el impacto sobre la FR cuando la PA se incorporó en diferentes proporciones (0, 5, 10, 11,5 y 15%) dentro de un pienso comercial.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Animales

El manejo de los animales experimentales se realizó por personal cualificado, siguiendo las indicaciones del Real Decreto 53/2013 para la protección de animales destinados a investigación. Tales procedimientos fueron revisados por el Comité Ético en Experimentación Animal de la Estación Experimental del Zaidín, evaluados por el Comité de Ética del CSIC y autorizados por la Junta de Andalucía como órgano competente en la materia (autorización 06/07/2023/61). Los seis animales empleados en este trabajo pertenecen a la raza caprina murciano-granadina.

3.2 Experimentos e ingredientes y dietas experimentales

Para la consecución de los objetivos planteados se llevaron a cabo secuencialmente dos tipos de evaluaciones de la FR mediante incubaciones *in vitro* de:

- **PA frente a distintos ingredientes convencionales de piensos.** La PA procedió de una de las almazaras de DCOOP (Antequera, Málaga), mientras que los ingredientes seleccionados como candidatos a ser sustituidos en un pienso experimental fueron: salvado de trigo y tercerillas (ST), cascarilla de soja (CS), alfalfa granulada (AG), pulpa de remolacha (PR) y cebada (C). Todos fueron molidos con un tamaño de malla de 1 mm.
- **Dietas para pequeños rumiantes con distintos porcentajes de inclusión de la PA** en un concentrado para caprino lechero. Se diseñaron 6 dietas con porcentajes de incorporación de PA de 0, 5, 10, 11,5 y 15 % (Tabla 1). Todas las dietas mantuvieron un perfil y valor nutritivo equivalentes a la dieta control (0 %), teniendo en cuenta parámetros como proteína bruta (PB), fibra neutro detergente (FND), almidón, unidades forrajeras lecheras (UFL), proteína digestible en el intestino procedente de alimento (PDIA), proteína digestible en intestino limitada por la energía (PDIE), proteína digestible en intestino limitada por el nitrógeno (PDIN) y carbohidratos no estructurales (CNE).

Tabla 1. Parámetros de la fermentación ruminal *in vitro* de los ingredientes (Experimento 1)

	PA	AG	ST	CS	PR	C	EEM	P-valor
A (mL/g MS)	118 ^a	173 ^b	237 ^b	255 ^c	237 ^d	347 ^d	14,0	0,001
c (h ⁻¹)	0,090 ^c	0,060 ^b	0,070 ^b	0,050 ^{ab}	0,030 ^a	0,030 ^a	0,004	0,001
PG 6 h (mL GP/g MS)	53,0 ^a	60,3 ^{ab}	84,4 ^c	74,4 ^{bc}	61,2 ^{ab}	60,1 ^{ab}	3,78	0,001
PG24 (mL GP/g MS)	92,0 ^a	116 ^a	176 ^d	160 ^c	191 ^d	198 ^d	7,11	0,001
CH ₄ 6 h (mL CH ₄ /mL GP)	0,015 ^a	0,019 ^{ab}	0,028 ^b	0,027 ^b	0,018 ^{ab}	0,021 ^{ab}	0,012	0,003
CH ₄ 6 h (mLCH ₄ /g MS)	0,799 ^a	1,11 ^a	2,29 ^b	2,02 ^b	1,11 ^a	1,22 ^a	0,121	0,001
CH ₄ 24 h (mL CH ₄ /mL GP)	0,039 ^a	0,048 ^a	0,066 ^b	0,070 ^b	0,049 ^a	0,059 ^b	0,022	0,001
CH ₄ 24 h (mLCH ₄ /g MS)	3,62 ^a	5,61 ^{ab}	11,5 ^c	11,3 ^{bc}	9,59 ^{bc}	11,6 ^c	0,700	0,001
CH ₄ 24 h (mL CH ₄ / g MOd)	10,1 ^a	13,4 ^a	21,1 ^b	23,3 ^b	18,4 ^b	21,8 ^b	0,968	0,001
EM (MJ/kg MS)	5,37 ^a	6,16 ^b	7,90 ^{bc}	7,10 ^b	7,75 ^c	7,93 ^c	0,183	0,001
DMO (g MOd/kg MS)	360 ^a	419 ^b	543 ^c	485 ^d	523 ^d	533 ^d	12,7	0,001

"A": producción potencial de gas; "c": velocidad de producción de gas o degradación del sustrato; PG24: producción de gas acumulada a las 24 h; GP: gas producido; EM: energía metabolizable a las 24 h; DMO: digestibilidad de la materia orgánica; MOd: materia orgánica digerida; EEM: error estándar de la media; PA: pulpa de aceituna; AG: alfalfa granulada; ST: salvado de trigo; CS: cascarilla de soja; PR: pulpa de remolacha; C: cebada.

3.3 Incubaciones *in vitro*

El modelo empleado en estos experimentos se basó en el cultivo no renovado de microorganismos ruminales, según la metodología descrita por Theodorou et al. (1994) y detallada por Pardo et al. (2024) para las condiciones concretas de nuestro laboratorio. Así, se procedió a dispensar 50 mL de líquido ruminal (LR) tamponado (1:3) en botellas Wheaton, de 120 mL de capacidad total, que contenían, cada botella, 500 mg de uno de los seis ingredientes experimentales (PA, salvado y tercerillas, cascarilla de soja, alfalfa granulada, pulpa de remolacha o cebada). Cada ingrediente fue incubado independientemente en seis botellitas que respectivamente fueron inoculadas con LR procedente de cada uno de los seis animales donantes. Como blanco de fermentación para cada animal, se preparó una botella Wheaton con LR tamponado y sin sustrato alimenticio alguno. Así, se incubaron a 39 °C un total de 42 botellas Wheaton (7 botellas/animal) durante un periodo de 72 h.

Posteriormente, se hicieron medidas de producción (PG, mL) y presión de gas (PSI) del espacio de cabeza de las botellas a las 2, 4, 6, 8, 10, 24, 48 y 72 h desde el inicio de la fermentación. A las 24 h, se tomó una muestra de 5 mL de gas del espacio en cabeza de cada botella para determinar su contenido en CH₄ y muestras de líquido de incubación para determinar la concentración de amonio (N-NH₃), ácido láctico y ácidos grasos volátiles (AGV). Los detalles fueron los descritos en Pardo et al. (2024). Para el análisis de los AGV, se tomaron 0,8 mL de cada botella y se diluyeron en 0,8 mL de una solución de ácido metafosfórico

(20% v/v), conteniendo ácido crotonico (0,8 g/L) como estándar interno. También se tomaron sendas muestras (0,8 mL) que se diluyeron con 0,2 mL de una solución de ácido tricloroacético (15% v/v) para la determinación de N-NH₃ y ácido láctico. Todas las muestras líquidas fueron conservadas a -20 °C hasta su análisis.

Para poder determinar la cinética de degradación ruminal, se ajustaron los datos obtenidos de PG al modelo matemático $y = A \cdot (1 - e^{-c \cdot \text{tiempo}})$, que permite estimar el ritmo de digestión ("c") y la producción potencial de gas ("A") de la degradación ruminal.

Para el caso del ensayo *in vitro* realizado para evaluar el efecto de la sustitución de los ingredientes de un pienso comercial por cantidades crecientes de PA, se siguió la misma metodología que la descrita anteriormente. En este caso, se emplearon 36 botellas Wheaton, 6 por animal donante (blanco + cinco niveles de sustitución), conteniendo 200 mg de heno de avena, empleado como forraje, y 300 mg de los concentrados (proporción concentrado: forraje de 60:40) con aportes crecientes de PA (0,5, 10, 12,5 y 15%). Se realizaron medidas de PG a las 2, 4, 6 y 24 h, momento final este en el que se tomaron muestras del líquido para determinar AGV, N-NH₃ y ácido láctico. Antes de abrir las botellas se tomó gas en el espacio en cabeza para analizar la concentración de CH₄.

3.4 Cálculos

Tanto la energía metabolizable (EM, MJ/kg MS) como la digestibilidad de la materia orgánica (DMO, g/kg MS) se estimaron siguiendo las ecuaciones propuestas por Menke y Steingass (1988) y concretadas en Pardo et al. (2024). Para el cálculo de la PB se tuvo en cuenta el factor $N \times 6,25$. Para calcular la proporción CNE se tuvo en cuenta la fórmula: $CNE (\%) = 100 - (Cenizas - PB - EE - FND)$.

3.5 Análisis de composición de materias primas y dietas

Los análisis de composición química de los ingredientes y las dietas se llevaron a cabo mediante las metodologías descritas en Pardo et al. (2024). El análisis en

ácidos grasos de la pulpa se realizó mediante cromatografía de gases, según el procedimiento descrito en Arco et al. (2017).

3.6 Análisis estadístico

El análisis estadístico se planteó mediante la comparación ANOVA univariante, utilizando el programa SPSS (SPSS v.29.0.0.0) y aplicando como factor el tipo de sustrato empleado. Se consideraron como diferencias estadísticamente significativas los P valores menores o iguales a 0,05 y como tendencias de significación valores de P menores a 0,1 y mayores a 0,05.

4. RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación del valor nutritivo de la PA frente a otras materias primas

En lo referente a la composición química de la PA respecto al resto de ingredientes estudiados (Tabla 2), destaca su bajo contenido en CNE (20,4%) y, especialmente, azúcares (0,80%), mientras que el contenido graso es el más elevado (7,90%). La energía aportada por la PA es inferior al resto de los ingredientes, tanto en la EM como en energía neta para la producción de leche (ENL). Los valores relativos a la PB de la PA (9.87%) menor a la de tres de los cinco ingredientes estudiados, situándose por encima sólo de la PR y la C.

Referente a la composición en fibra, la PA destaca por un alto contenido en FND, FAD y LAD (49,2, 35,9 y 24,5 %, respectivamente), siendo su perfil similar al de la AG, aunque esta tiene un menor contenido en LAD. Los valores de composición son similares a los encontrados en Kovac et al. (2017) y Marcos et al. (2019b) . Sin embargo, para el parámetro del EE, si que se pudieron observar diferencias notables ya que, en nuestro caso, el valor fue de un 4,8% menor que el valor obtenido por Kovac y colaboradores (EE= 7,90 vs. 12,7%, respectivamente). Teniendo estos resultados en cuenta, el valor nutritivo de la PA sería inferior al del resto de las materias primas analizadas. Sin embargo, el perfil de ácidos grasos resultó interesante y especialmente insaturado (69,9% de ácidos grasos insaturados).

Tabla 2. Composición química y valor nutritivo de las distintas materias primas empleadas para la elaboración de piensos experimentales

Composición (g/100g MS)	PA	AG	ST	CS	PR	C
MS	91,5	93,4	87,4	89,8	88,7	90,5
Cenizas	11,8	4,90	6,50	12,1	4,10	2,70
FND	49,2	56,7	43,1	30,3	55,7	50,13
FAD	35,9	38,1	12,0	16,4	25,7	5,88
LAD	24,5	15,7	3,43	15,7	3,71	0,27
Almidón ¹	0,00	0,50	15,0	0,00	0,00	52,5
Azúcares ¹	1,00	1,90	5,80	1,50	6,00	1,60
CNE ¹	20,4	23,9	35,6	23,5	40,6	68,4
EE ¹	7,90	2,30	3,30	2,50	0,80	1,70
Ác grasos saturados, %	30,1	-	-	-	-	-
Ác grasos mono-insaturados, %	56,3	-	-	-	-	-
Ác grasos poli-insaturados, %	13,6	-	-	-	-	-
Ácidos grasos ω3, %	1,25	-	-	-	-	-
PB ¹	9,87	15,2	15,4	11,8	9,20	9,60
Valor Nutritivo						
EM ¹ (MJ/kg MS)	5,78	7,11	9,96	10,9	10,8	11,3
UFL ¹ (/kg MS)	0,43	0,62	0,85	0,95	0,94	1,00
ENL (MJ/kg MS) ¹	3,33	4,29	6,32	6,92	6,88	7,28
PBDIGR (Coef) ¹	53,0	66,0	67,0	70,0	63,0	65,0
PDIA (%) ¹	2,40	2,80	3,50	3,80	3,30	2,40
PDIE (%) ¹	3,60	7,20	8,90	9,50	9,10	8,20
PDIN (%) ¹	4,30	9,40	10,1	7,40	6,20	6,40

PA: pulpa de aceituna; ST: salvado de trigo y tercerillas; CS: cascarilla de soja; AG: alfalfa granulada; PR: pulpa de remolacha; C: cebada; MS: materia seca; PB: proteína bruta; EE: extracto etéreo; FB: fibra bruta; FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácida detergente; LAD: lignina ácida detergente; CNE: carbohidratos no estructurales; EM : energía metabolizable de rumiantes; UFL: unidades forrajeras en leche; ENL , energía neta en la leche de rumiantes; %PBDIG : proteína bruta digestible en rumiante; PDIA: proteína digestible en intestino delgado de origen alimenticio; PDIE: Proteína Digestible en Intestino Delgado si la Energía disponible; PDIN, proteína digestible en intestino delgado si el nitrógeno disponible en rumen es limitante; 1: datos obtenidos de las tablas ("Tablas FEDNA 2019, 4ª edición), a excepción de EE y PB para la PA; equivalencias a ingredientes definidos en FEDNA (2019): PA en referencia al PA parcialmente desengrasada; ST en referencia a ST al 15% en almidón; AG en referencia a AG al 15,2% de PB; C referencia al 9,6% de PB.

En cuanto a los parámetros obtenidos de la FR *in vitro* de los ingredientes, la PA presentó un ritmo de digestión ("c") mayor respecto al resto de los ingredientes (0,09 h⁻¹, P = 0,001), difiriendo de lo encontrado en bibliografía, con valores comprendidos entre los 0,057 - 0,065 h⁻¹ en estudios *in vitro* (Navarro Marcos, 2019) y los 0,071 - 0,075 h⁻¹ en estudios *in vivo* (Martín García et al. 2004) con distintos tipos de orujo. El valor de la producción potencial de gas ("A"), la PG acumulada tras 24 h de fermentación (PG24), la EM y la DMO fueron inferiores en la PA respecto al resto de las materias primas (A=118 mL, PG24=92,0 mL GP/g MS, EM=5,37 MJ/kg MS, DMO=360 g MOd/kg MS, P=0,001) y coinciden con los valores obtenidos por Marcos et al. (2019a). Tal inferioridad podría ser consecuencia del elevado contenido en FAD y LAD, y bajo en CNE de la PA, lo que supone una menor PG que conllevaría a que la estimación de la EM y de la DMO sea menor. De nuevo, la AG fue el ingrediente más parecido a la PA en términos de cinética de PG.

A pesar de la subestimación observada en los valores de EM estimados para la PA y el resto de ingredientes analizados, estos se utilizaron para poder comparar entre las diferentes materias primas. Esto podría deberse a los bajos registros de PG24, posiblemente influenciados por la relación 1:3 entre el inóculo de LR y el buffer empleada en este estudio, en contraste con la proporción 1:2 utilizada en otras investigaciones (Kumar et al. 2015). Comparando la EM obtenida para las materias primas distintas a la PA (AG, ST, CS, PR y C) con los valores consensuados en FEDNA (2019), se estima que la subestimación de la EM es de 1,34 ($\pm 0,15$) veces. Al aplicar esta corrección a la PA, su EM resultaría ser 7,18 MJ/kg MS, un valor inferior a los 9,00 MJ/kg MS asignados por FEDNA al orujo de aceituna. A pesar de ello, nuestro resultado fue superior al encontrado en otros estudios (Al Masri, 2003) que obtuvieron un valor de EM de 4,2 MJ/kg de MS para la PA.

Atendiendo a los valores de concentración de CH₄ a las 6 y 24 h, se observaron diferencias significativas entre los distintos ingredientes, con el valor menor para la PA en comparación con el resto ($P < 0,05$). Al expresar la producción de CH₄ respecto a la MO digestible, se pudo corroborar el valor inferior para la PA (10,1 ml CH₄/g MOd), indicando un posible efecto antimetanogénico de esta que podría estar relacionado, por una parte, con la presencia de metabolitos secundarios en la PA, como los taninos, entre otros. Estos compuestos tendrían la capacidad de reducir la actividad de bacterias celulolíticas de forma que favorecerían la formación de propionato respecto a la de acetato, reduciendo así la tasa acetato: propionato y la formación de CH₄ (Lee et al. 2021). Además, este efecto antimetanogénico podría estar condicionado por el elevado contenido en ácido oleico presente en la PA, que al ser insaturado podría estar afectando por una parte al funcionamiento normal de los microorganismos ruminales, de forma más concreta, a las bacterias fibrolíticas y por otra parte, generando un incremento en la biohidrogenación ruminal. Ambos factores podrían estar ocasionando la disminución en la concentración de CH₄ (Yang et al. 2022).

4.2 Evaluación del efecto de la inclusión de PA en el concentrado

La PA se incorporó en distintas proporciones (Tabla 3) a un pienso comercial formulado para caprino lechero. Para ello, se ajustaron el resto de los

ingredientes logrando que las dietas experimentales estuviesen equilibradas entre sí desde el punto de vista nutricional. No obstante, cabe indicar que, cuando la PA se incorporó al 15 %, existieron variaciones en PB, EE y fibras, así como del valor energético, que indicaban un valor nutritivo más limitado. Si comparamos los valores de valor nutritivo obtenidos de FEDNA (2019), empleando los valores individuales de cada uno de los ingredientes que componen las dietas, con los derivados de nuestro experimento 2 (Tabla 4), se observó que, a pesar de las variaciones en la composición antes citadas, no se encontraron diferencias significativas en los distintos parámetros evaluados ($P > 0,05$). Las estimaciones de la EM en este experimento reflejaron valores inferiores a los de FEDNA (2019) en una proporción $1,66 (\pm 0,04)$. No obstante, se obtuvieron valores numéricamente mayores de EM y DMO para las inclusiones de PA de 11,5% (EM=6,28 MJ/kg MS; DMO= 430 g MOd/g MS) y 15% (EM=6,24 MJ/kg MS; DMO= 428 g MOd/g MS). Estos resultados pueden compararse con los descritos en la revisión de Fernández Mayer (2021), quién concluyó que, debido al alto contenido en LAD, se podría incluir la PA dentro de la dieta siempre que no supere el 15-20 g PA/100 g MS, con el objetivo de evitar el detrimento de la FR.

Los niveles de N-NH₃ tampoco mostraron diferencias significativas entre los porcentajes de inclusión, lo que indica que aparentemente no hubo una variación de la degradación de la PB. En el caso del lactato sí que se pudo observar una tendencia ($P=0,068$) a aumentar cuando se incorporó un 15% de PA, lo cual puede indicar que, a este nivel de inclusión, se podría inducir un descenso del pH ruminal en condiciones *in vivo*, es decir, en un sistema no tamponado como el de nuestro experimento. De igual manera, tanto la concentración de AGV totales como las proporciones molares de los AGV individuales analizados tampoco presentaron diferencias significativas entre los niveles de inclusión. Estos resultados fueron similares a los encontrados en otros estudios como los de Estaún et al. (2014) donde la inclusión de la PA hasta un 20% en el concentrado no reflejó diferencias en parámetros ruminales como el pH, N-NH₃ o AGV.

Tabla 3. Composición en ingredientes de las dietas experimentales con distintos porcentajes de inclusión de la PA y empleadas en el experimento *in vitro*

Ingredientes (g/kg)	Nivel de inclusión de la PA (%)				
	0	5	10	11,5	15
PA	0	50	100	115	150
Salvado	280	231	250	250	250
Harina de soja	119	105	134	175	160
Cebada	118	153	81,9	211	176
Maíz	90,0	0,00	149	0,00	0,00
Harina de girasol	71,9	111	62,8	26,0	41,3
Trigo blando	70,0	150	150	150	150
Cascarilla de soja	70,0	75,2	0,00	0,00	0,00
Alfalfa granulada	70,0	0,00	0,00	0,00	0,00
Pulpa de remolacha	50,0	57,8	0,00	0,00	0,00
Melaza de remolacha	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Carbonato cálcico	15,2	12,8	14,1	13,6	12,7
Grasa bypass	10,0	15,0	20,0	20,0	20,0
Bicarbonato sódico	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Corrector mineral y vitamínico	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Oxido de magnesio	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Sal	2,52	2,46	2,23	1,99	1,75
Aceite de soja	2,00	6,57	4,83	6,83	7,38
Sepiolita	1,15	1,00	1,00	1,00	1,00
Composición (g/kg MS)					
MS ¹	887	892	888	889	890
Cenizas ¹	77,5	75,3	76,2	78,1	79,4
PB ¹	167	166	164	177	175
EE ¹	34,0	38,7	44,9	45,0	45,0
FB ¹	113	122	90,2	91,1	104
FND ¹	271	279	230	237	256
FAD ¹	138	143	109	110	126
Almidón ¹	243	240	296	266	248
Azúcares ¹	39,1	38,0	35,8	36,9	36,1
Valor Nutritivo					
UFL (kcal/kg) ¹	0,91	0,91	0,91	0,91	0,88
PB_INDEG ¹	4,91	4,90	5,16	5,50	5,50
PB_SOLUBLE ¹	3,89	3,84	3,47	3,68	3,66
PBDIG (Coef.) ¹	68,5	67,9	65,0	66,9	65,9
PDIA (%) ¹	4,84	4,60	4,94	5,18	5,03
PDIE (%) ¹	9,76	9,52	9,36	9,87	9,52
PDIN (%) ¹	11,5	11,2	11,2	12,0	11,7
CNE (%) ¹	44,9	44,2	48,9	46,6	44,8
EM (MJ/kg MS) ¹	10,3	10,3	10,3	10,3	9,94
ENL (MJ/kg MS) ¹	6,62	6,64	6,62	6,61	6,38

MS: materia seca; PB: proteína bruta; EE: extracto etéreo; FB: fibra bruta; FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente; UFL: unidades forrajeras lecheras; PB_INDEG: proteína bruta indigestible; PB_SOLUBLE: proteína bruta soluble; PBDIG: proteína bruta digestible; PDIA: proteína digestible en intestino delgado de origen alimenticio; PDIE: proteína digestible en intestino delgado procedente de la energía; PDIN: proteína digestible en intestino delgado si el nitrógeno disponible en rumen es limitante; CNE: carbohidratos no estructurales; EM: energía metabolizable; ENL: energía neta leche. 1: los datos han sido obtenidos de las tablas FEDNA (2019).

Tabla 4. Parámetros de la fermentación ruminal *in vitro* de las dietas experimentales con los distintos niveles de inclusión de la PA

	Nivel de inclusión de la PA (%)					EEM	P-valor
	0	5	10	11,5	15		
NH ₃ -N, (mg/100 mL)	12,2	13,7	13,2	12,8	13,4	0,437	0,948
Lactato (mmol/L)	7,22	6,91	6,62	7,30	8,68	0,211	0,068
AGV totales (mmol/L)	51,0	52,3	52,0	50,9	50,1	1,19	0,945
Acético (%)	62,3	62,3	61,9	62,1	62,3	0,274	0,993
Propiónico (%)	19,3	19,3	19,0	19,0	19,2	0,244	0,998
Isobutírico (%)	1,62	1,60	1,57	1,58	1,59	0,025	0,996
Butírico (%)	12,3	12,2	13,1	12,8	12,5	0,241	0,880
Isovalérico (%)	2,40	2,40	2,36	2,40	2,41	0,047	0,999
Valérico (%)	2,12	2,12	2,04	2,12	2,11	0,051	0,998
Acetato:propionato	3,25	3,24	3,28	3,29	3,28	0,052	0,999
PG24 (mL GP/g MS)	138	142	142	144	143	1,83	0,872
CH ₄ (mL CH ₄ /mL GP)	0,148	0,158	0,160	0,143	0,138	0,003	0,111
CH ₄ (mL CH ₄ /g MS)	20,6	22,6	22,8	20,7	19,8	0,579	0,450
CH ₄ /AGV (mL CH ₄ /mmol AGV)	4,02	4,24	4,39	4,07	4,05	0,086	0,670
CH ₄ /DMO (ml CH ₄ /g MOd)	49,5	53,5	54,2	48,0	46,3	1,39	0,388
EM (MJ/kg MS)	6,04	6,15	6,15	6,28	6,24	0,048	0,569
DMO (g MOd/kg MS)	416	422	420	430	428	3,06	0,600

AGV: Ácidos grasos volátiles; PG24: producción de gas acumulada a las 24 h; GP: gas producido; EM: energía metabolizable; DMO: digestibilidad de la materia orgánica; MOd: materia orgánica digerida.

5. CONCLUSIÓN

La PA en estudio, a pesar de presentar una menor capacidad fermentativa y de aporte de nutrientes que otros ingredientes convencionales empleados para la elaboración de piensos para rumiantes, parece no ocasionar detrimento de la FR cuando se incluye en el pienso en un porcentaje de hasta el 15%. Además, cuenta con un perfil graso que justificaría realizar futuros estudios *in vivo* en condiciones prácticas para así considerar el impacto de la PA sobre factores como la digestibilidad, la ingesta, la ganancia de peso, la producción de leche, la composición nutricional de la leche, y su perfil lipídico. Esto permitiría una caracterización más completa de este ingrediente, facilitando su uso práctico en la formulación de piensos para pequeños rumiantes en producción, para así ampliar la oferta de ingredientes alternativos, de forma que se vea robustecida la capacidad de implementación de la economía circular en el sector y, por ende, la sostenibilidad del mismo al reducir la huella ambiental de la cadena de producción alimentaria.

Fuentes de financiación: Este trabajo presenta parte de los resultados del Grupo Operativo BIORUMIOLI N.º EXPEDIENTE: GOPG-MA-20-0001, que fue financiado a través de los Fondos Europeos Agrícolas de Desarrollo Rural (FEADER) y cofinanciado por la Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, de la convocatoria de Grupos Operativos Regionales de la Asociación Europea de Innovación (AEI) en Materia de Productividad y Sostenibilidad Agrícola de 2020.

REFERENCIAS

- ALBURQUERQUE, J.A., GONZÁLEZ, J., GARCÍA, D., CEGARRA, J., (2004). Agrochemical characterisation of “alperujo”, a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresour. Technol.* 91, 195–200. doi: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00177-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00177-9).
- AL-MASRI, M. (2003) An *In vitro* Evaluation of Some Unconventional Ruminant Feeds in Terms of the Organic Matter Digestibility, Energy and Microbial Biomass. *Tropical Animal Health and Production* 35, 155–167. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1022877603010>.
- ARCO-PÉREZ, A., RAMOS-MORALES, E., YÁÑEZ-RUIZ, D.R., ABECIA, L., MARTÍN-GARCÍA, A.I., (2017). Nutritive evaluation and milk quality of including of tomato or olive by-products silages with sunflower oil in the diet of dairy goats. *Anim. Feed Sci. Technol.* 232, 57–70. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.08.008>.
- CHEN, X., YAN, F., LIU, T., ZHANG, Y., LI, X., WANG, M., ZHANG, C., XU, X., DENG, L., YAO, J., WU, S., (2022). Ruminal Microbiota Determines the High-Fiber Utilization of Ruminants: Evidence from the Ruminal Microbiota Transplant. *Microbiol. Spectr.* 10, doi: <https://doi.org/10.1128/spectrum.00446-22>.
- CORREDDU, F., LUNESU, M.F., BUFFA, G., ATZORI, A.S., NUDDA, A., BATTACONE, G., PULINA, G., (2020). Can Agro-Industrial By-Products Rich in Polyphenols be Advantageously Used in the Feeding and Nutrition of Dairy Small Ruminants. *Animals* 10, 131. doi: <https://doi.org/10.3390/ani10010131>.
- EL OTMANI, S., CHEBLI, Y., CHENTOUF, M., HORNICK, J.-L., CABARAUX, J.-F., (2021). Effects of Olive Cake and Cactus Cladodes as Alternative Feed Resources on Goat Milk Production and Quality. *Agriculture* 11, 3. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture11010003>.
- ESTAÚN J., DOSIL J., AL ALAMI A., GIMENO A., DE VEGA A., (2014) Effects of including olive cake in the diet on performance and rumen function of beef cattle. *Animal Production Science* 54, 1817-1821. doi: <https://doi.org/10.1071/AN14352>.

- FARIAS KOVAC, C., MARCOS, C.N., GARCÍA REBOLLAR, P., RODRÍGUEZ CORTÉS, C.A., CARRO TRAVIESO, M.D., BLAS BEORLEGUI, J.C., (2017). Composición química y digestibilidad *in vitro* en porcino y rumiantes de subproductos de la aceituna, in: AIDA-ITEA, XVII Jornadas sobre Producción Animal. Comunicaciones, Zaragoza.
- FERNANDEZ MAYER, A., (2021). Actualización sobre el uso de orujos de aceituna en alimentación animal para carne y leche = Olive pomace use on animal feeding for meat and milk production: a review, Revista del Foro de la Alimentación, la Nutrición y la Salud 3 (1) : 31-39.
- GIRIDHAR, K., SAMIREDDYPALLE, A., (2015). Impact of Climate Change on Forage Availability for Livestock, in: Sejian, V., Gaughan, J., Baumgard, L., Prasad, C. (Eds.), Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation. Springer India, New Delhi, (pp. 97–112). doi: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2265-1_7.
- GOLDER, H.M., LEAN, I.J., (2024). Invited review: Ruminant acidosis and its definition—A critical review. J. Dairy Sci. 107, 10066–10098. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2024-24817>.
- JALAL, H., GIAMMARCO, M., LANZONI, L., AKRAM, M.Z., MAMMI, L.M.E., VIGNOLA, G., CHINCARINI, M., FORMIGONI, A., FUSARO, I., (2023). Potential of Fruits and Vegetable By-Products as an Alternative Feed Source for Sustainable Ruminant Nutrition and Production: A Review. Agriculture 13, 286. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture13020286>.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO), (2009). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Foro de expertos de alto nivel, Roma. Recuperado de: https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf. [Consultado el 14 de diciembre de 2024].
- LEE, S.J., KIM, H.S., EOM, J.S., CHOI, Y.Y., JO, S.U., CHU, G.M., LEE, Y., SEO, J., KIM, K.H., LEE, S.S., (2021). Effects of Olive (*Olea europaea* L.) Leaves with Antioxidant and Antimicrobial Activities on *In Vitro* Ruminant Fermentation and Methane Emission. Animals 11, 2008. doi: <https://doi.org/10.3390/ani11072008>.
-

- MAPA, (2022). Resumen anual de la alimentación. Recuperado de:
<https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo/tendencias/panel-de-consumo-alimentario/resumen-anual-de-la-alimentacion>.
- MARCOS, C.N., DE EVAN, T., GARCÍA-REBOLLAR, P., DE BLAS, C., CARRO, M.D., (2019) a. Influence of storage time and processing on chemical composition and *in vitro* ruminal fermentation of olive cake. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 103, 1303–1312. doi: <https://doi.org/10.1111/jpn.13149>.
- MARCOS, C.N., GARCÍA-REBOLLAR, P., DE BLAS, C., CARRO, M.D., (2019) b. Variability in the Chemical Composition and *In Vitro* Ruminal Fermentation of Olive Cake By-Products. Animals 9, 109. doi:<https://doi.org/10.3390/ani9030109>.
- MARTÍN GARCÍA, A.I., YÁÑEZ RUIZ, D.R., MOUMEN, A., MOLINA ALCAIDE, E., (2004). Effect of polyethylene-glycol on the chemical composition and nutrient availability of olive (*Olea europaea* var. *europaea*) by-products. Anim. Feed Sci. Technol. 114, 159–177. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.01.003>.
- NAVARRO MARCOS, C., (2019). Nutritive evaluation of olive cake and tomato pomace for small ruminant feeding (PhD Thesis). Universidad Politécnica de Madrid. doi: <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.57510>.
- RUGET, FRANÇOISE & CLASTRE, P. & MOREAU, JEAN-CHRISTOPHE & CLOPPET, E. & SOUVERAIN, F. & LACROIX, B. & LORGEOU, J.,(2012). Possibles consequences of climate changes on forage production in France. II. Some examples of livestock systems. Fourrages. 243-251.
- THEODOROU, M.K., WILLIAMS, B.A., DHANOA, M.S., MCALLAN, A.B., FRANCE, J., (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 48, 185–197. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6).
- YANG, Z., LIU, S., XIE, T., WANG, Q., WANG, Z., YANG, H., LI, S., WANG, W., (2022). Effect of Unsaturated Fatty Acid Ratio *In Vitro* on Rumen Fermentation, Methane Concentration, and Microbial Profile. Fermentation 8, 540. doi: <https://doi.org/10.3390/fermentation8100540>.

ZAIRA PARDO, JUAN MANUEL PALMA-HIDALGO, ALBERTO MANUEL SÁNCHEZ-GARCÍA, ANTONIO IGNACIO MARTÍN-GARCÍA, (2024). Watermelon Plant Silage: A viable alternative to alfalfa hay for feeding Murciano-Granadina goats. Preprint. doi: [10.20944/preprints202407.1726.v2](https://doi.org/10.20944/preprints202407.1726.v2).



MONOGRÁFICO: La bioeconomía circular, clave para el desarrollo territorial sostenible

Mar Cátedra ¹, Carmen Capote ¹, Jesús Lasarte ², Patricia Gurria ³, Robert M'barek ²,
Esther Ortiz ⁴, Milagros Argüelles ⁴ y Samir Sayadi ⁵

Autor de Correspondencia: samir.sayadi@juntadeandalucia.es

Resumen:

La bioeconomía circular es una oportunidad para el desarrollo territorial y debe tener un enfoque participativo y transversal, involucrando a todos los actores, políticas y estrategias regionales. En este contexto, se celebró el Foro de Bioeconomía Circular en Sevilla, Andalucía, el 21 de noviembre de 2023. En este evento se dieron cita representantes de las administraciones públicas, responsables institucionales, entidades del ámbito empresarial y de la academia, así como representantes de la sociedad civil y responsables de proyectos de interés en bioeconomía, tanto a nivel regional y nacional como europeo y centroamericano. Con más de trescientos cincuenta participantes, el evento permitió debatir y presentar el avance, situación actual y perspectivas de la bioeconomía circular en los territorios rurales. En el presente artículo se abordan los principales aspectos analizados, como políticas y estrategias de bioeconomía de las diferentes regiones participantes; debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de la bioeconomía circular; casos de éxito y prácticas desarrolladas por diversas entidades; retos a los que se enfrenta la bioeconomía circular; mercados y modelos de negocio y de consumo; importancia de la cooperación entre los diversos actores de la cuádruple hélice (sector público, sector privado, sector académico y científico y sociedad civil) con un enfoque territorial; sensibilización de la sociedad en cuanto a la demanda y concienciación de un modelo basado en la bioeconomía circular; importancia de la formación y educación en bioeconomía circular y papel de la I+D+i.

Palabras clave: Bioeconomía Circular, Actores, Colaboración, I+D+i, concienciación, casos de éxito.

MONOGRAPH: Circular bioeconomy, the key to sustainable territorial development

Mar Cátedra ¹, Carmen Capote ¹, Jesús Lasarte ², Patricia Gurria ³, Robert M'barek ²,
Esther Ortiz ⁴, Milagros Argüelles ⁴ and Samir Sayadi ⁵

Abstract:

The circular bioeconomy is an opportunity for territorial development and requires a participatory and transversal approach, involving all actors, policies and regional strategies. In this context, the Circular Bioeconomy Forum was held on 21 November in Seville, Andalusia. This event brought together representatives of public administrations, institutional leaders, business and academic institutions, as well as representatives of civil society and those responsible for projects of interest to the bioeconomy at regional, national, European and Central American levels. With more than three hundred and fifty participants, the event facilitated discussions and presentations on the

¹ Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural (Sevilla).

² Centro Común de Investigación (JRC, Joint Research Centre) de la Comisión Europea en Sevilla.

³ Consultora independiente.

⁴ TRAGSATEC.

⁵ Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA), IFAPA Camino de Purchil (Granada).

progress, current situation and prospects of the circular bioeconomy in rural areas. This article covers the main aspects analysed, such as bioeconomy policies and strategies of the participating regions; the weaknesses, threats, strengths and opportunities of the circular bioeconomy; success stories and practices from different entities; the challenges facing the circular bioeconomy; markets and business and consumption models; the importance of cooperation between the various actors of the quadruple helix (public sector, private sector, academic and scientific sector and civil society) with a territorial approach; the awareness of society in terms of demand and awareness of a model based on the circular bioeconomy; the importance of education and training in the circular bioeconomy and the role of R&D&I.

Key Words: Circular bioeconomy, stakeholders, cooperation, R&D&I, awareness, success initiatives.

1. INTRODUCCIÓN

La bioeconomía se refiere al segmento de la economía total que produce y/o utiliza recursos biológicos y abarca total o parcialmente a industria, productos, alimentos, medicamentos, productos químicos y tecnología, así como los servicios asociados (Comisión Europea, 2018, 2022, Rojas-Serrano et al., 2024). En el contexto de una transición ecológica y justa, la importancia de la bioeconomía radica en su potencial de avanzar en sostenibilidad medioambiental, a la vez que se generan oportunidades de desarrollo económico y empleo. En efecto, la bioeconomía circular, entendida como un modelo económico centrado en la sustitución de recursos fósiles por recursos de base biológica y en la valorización sostenible y eficiente de los recursos biológicos, está cada vez más presente en los planes y políticas de los países y las organizaciones multinacionales. En la Tabla 1 se recogen algunos de los principales hitos relacionados con el desarrollo de la bioeconomía que se han celebrado en los últimos tres años.

Tabla 1. Hitos de los últimos tres años en el contexto internacional en materia de bioeconomía.

Fuente: elaboración propia (2024).

Evento	Temática	Mensajes y/o claves principales
EU Bioeconomy Conference	La Bioeconomía: Impulsando el Pacto Verde Europeo en época de cambios	Se presentaron los hallazgos del Informe de Progreso de la Estrategia de Bioeconomía de la UE (Comisión Europea, 2022) y se destacó el papel de la bioeconomía para mejorar la coherencia política y el pensamiento sistémico.

Evento	Temática	Mensajes y/o claves principales
FAO World Food Forum 16-20 Oct 2023, Roma	Bioeconomía: el catalizador para la transformación de los sistemas agroalimentarios	Utilizar el poder de la colaboración e innovación intergeneracionales a través de la política, la ciencia, la innovación, la educación, la cultura y la inversión. El objetivo es forjar nuevos caminos de acción, impacto y aceleración a nivel local, regional y global hacia un futuro alimentario sostenible, resiliente, inclusivo y libre de hambre para todos.
Grupo de los 20 (G20) Año 2024	Construyendo un mundo justo y un planeta sostenible (presidido actualmente por Brasil)	Brasil está impulsando unos Principios de la Bioeconomía, que serán aprobados por los participantes. Además, la presidencia de Brasil es la segunda de tres presidencias consecutivas (India en 2023, Sudáfrica en 2025), que tienen la bioeconomía entre sus temas prioritarios.
Bioeconomy Changemakers Festival 13-14 Mar 2024, Bruselas	Implicación de los jóvenes en el desarrollo de la bioeconomía	El Festival tuvo como objetivo involucrar a los jóvenes como impulsores del cambio transformador para los múltiples desafíos que enfrenta Europa, desbloqueando el potencial de la bioeconomía. Además, el Festival sirvió para a la Comisión Europea a recabar opiniones sobre una actualización de la Estrategia y el Plan de Acción de Bioeconomía.
Declaración conjunta EEUU - UE 4-5 Abr 2024	Reunión entre ministros del Consejo de Comercio y Tecnología	Cooperación en biotecnología para impulsar la bioeconomía y abordar desafíos globales
Grupo de los 7 (G7) 13-15 Jun 2024	Un foro formal y destacado para abordar los principales problemas mundiales (presidido actualmente por Italia)	Se impulsó una clasificación estadística de productos de base biológica, útil para realizar políticas dirigidas específicamente a los sectores de la bioeconomía.
Global bioeconomy Summit 23-24 Oct 2024	Un planeta - Soluciones sostenibles de bioeconomía para retos globales	Celebrado en Kenia. Punto de encuentro de agentes y partes interesadas en la bioeconomía a nivel global

En el ámbito europeo, la bioeconomía ha ocupado un lugar en la agenda política desde 2012, cuando se aprobó la Estrategia Europea de Bioeconomía, que fue posteriormente revisada en 2018 (Comisión Europea, 2018). Además, la mayoría de los Estados Miembros también tienen una estrategia propia de bioeconomía, o están en proceso de desarrollarla (Gardossi et al., 2023). No obstante, en los últimos años se ha incrementado el número de iniciativas políticas y documentos estratégicos que buscan acelerar el despliegue de la bioeconomía, con el objetivo de construir un modelo económico más sostenible

y competitivo. Entre los principales documentos, podemos mencionar el Informe de Progreso de la bioeconomía (Comisión Europea, 2022), las Conclusiones del Consejo de la UE (2023) sobre las oportunidades de la bioeconomía a la luz de los retos actuales, o la comunicación “Construyendo el futuro con la naturaleza: Despliegue de la biotecnología y la bioindustria en la UE” de la Comisión Europea (2024). Esta última también adelanta una nueva actualización de la Estrategia Europea de Bioeconomía en 2025, con un mayor foco en la dimensión industrial. Además, la biotecnología también está presente en las Orientaciones Políticas de la Comisión Europea para 2024-2029¹.

Uno de los aspectos clave del desarrollo de la bioeconomía es su potencial para contribuir al desarrollo regional, especialmente para las áreas rurales y/o remotas, donde se concentran buena parte de las cadenas de valor de la biomasa. Este potencial ya estaba reconocido en la Estrategia Europea de Bioeconomía de 2018, lo cual alineaba el desarrollo de la bioeconomía con otras estrategias clave de la UE, como pueden ser la Política Agraria Común o las políticas de cohesión territorial (Robert et al. 2020).

Los recientes desafíos socioeconómicos, marcados por disrupciones en cadenas de suministro globales y presiones inflacionarias en alimentos y energía derivadas de la pandemia de COVID-19 y, más tarde, el conflicto entre Rusia y Ucrania, han resaltado aún más el potencial de la bioeconomía para proveer alternativas de base biológica a productos básicos importados y, por ende, como motor de desarrollo regional (Galanakis et al., 2022; Lasarte-López et al., 2023). En concreto, las zonas rurales juegan un papel clave en la valorización de recursos biomásicos y el desarrollo de cadenas de valor de biomasa más locales, circulares, resilientes y sostenibles. Esta visión está presente en una buena parte de las iniciativas recientes de la UE en materia de bioeconomía, que incluyen la perspectiva territorial como uno de sus principales ejes. Es el caso de las Conclusiones del Consejo de la Unión Europea (2023) sobre las oportunidades de la bioeconomía, aprobadas el 25 de abril de 2023. Estas conclusiones enfatizan el potencial de la bioeconomía para abordar desafíos como el cambio climático, la dependencia de los combustibles fósiles y la seguridad

¹ Este documento se publicó el 18 de julio de 2024, y se puede consultar en el siguiente enlace: https://commission.europa.eu/document/e6cd4328-673c-4e7a-8683-f63ffb2cf648_en

alimentaria. Asimismo, la bioeconomía genera oportunidades de desarrollo para las comunidades rurales, mediante el fomento de la innovación, la creación de empleo y el aprovechamiento de las especificidades locales y/o regionales. Además, la creciente adopción de estrategias regionales de bioeconomía en Europa refleja este reconocimiento del potencial de la bioeconomía por parte de los territorios. En efecto, en 2021, una mayoría de regiones ya disponía de una estrategia específica de bioeconomía o estrechamente relacionada con la misma (Haarich et al, 2022).

En el A nivel andaluz, la Estrategia Andaluza de Bioeconomía Circular (EABC), aprobada en 2018, fue una de las primeras estrategias regionales aprobadas en la Unión Europea, otorgando a Andalucía una posición de vanguardia en el contexto regional europeo (Junta de Andalucía, 2018). Desde entonces, se han llevado a cabo actuaciones dirigidas a alcanzar los objetivos de la EABC a través de diversas acciones centradas en la concienciación de la ciudadanía y en la involucración de todos los agentes clave de Andalucía para el desarrollo de la bioeconomía circular.

Además de la EABC, en Andalucía hay legislación y estrategias sectoriales que contribuyen a su desarrollo, como son la Ley de Economía Circular, la I Estrategia Andaluza para el Sector del Olivar (pendiente de aprobación), el Primer Plan Estratégico de Frutas de Hortalizas de Andalucía, etc., que incluyen algunas medidas y actuaciones específicas muy alineadas y en concordancia con la EABC.

Para el sector agrario, pesquero y agroindustrial, la bioeconomía ofrece una amplia gama de oportunidades, de nuevos modelos de negocio y nuevas cadenas de valor, contribuyendo a la diversificación económica y diferenciación de los productos y, por consiguiente, a la creación de empleo local. Conscientes de la evolución y la importancia cada vez mayor de la bioeconomía para hacer frente a los retos planteados en la planificación estratégica de las políticas en Andalucía y, en el marco que ofrece la Estrategia Andaluza de Bioeconomía Circular, se considera necesario seguir desarrollando la bioeconomía para contribuir a lograr una región sostenible, próspera y competitiva. De esta forma, para desarrollar la bioeconomía circular, es

fundamental potenciar los recursos biomásicos de los sectores más relevantes de Andalucía, como el agrario, pesquero y agroindustrial. Andalucía cuenta con gran cantidad de recursos biomásicos provenientes, fundamentalmente, del sector agrario y pesquero. En total, Andalucía genera en torno a 7,5 millones de toneladas al año de biomasa procedentes de la agricultura, de las que más de 2,6 millones de toneladas proceden del olivar. Además, de la ganadería se generan 5,5 millones de toneladas y de la agroindustria 6,8 millones de toneladas de recursos biomásicos (Junta de Andalucía-a, 2023).

Para que tenga éxito un modelo basado en la bioeconomía circular es fundamental tener en cuenta a los actores territoriales (ROBIN, 2024; Berbel et al., 2021; Sayadi et al., 2023) de cada región, incluyendo a todos los agentes de la cuádruple hélice: sector público, sector privado, sector académico y científico, y sociedad civil. En la Figura 1 se observa la importancia de la colaboración y la cooperación entre los distintos actores y la relación de acciones a desarrollar para que el modelo de bioeconomía circular tenga éxito:



Figura 1. Relación entre todos los actores para el desarrollo de la bioeconomía circular.

Fuente: elaboración propia (2024)

En este contexto, para fomentar el enfoque territorial y participativo, tener en cuenta la visión de los actores involucrados y conocer distintas iniciativas y experiencias, la Junta de Andalucía organizó el 21 de noviembre de 2023 el Foro de Bioeconomía Circular (Foro). Este evento constituyó un punto de encuentro para administraciones públicas, responsables institucionales, entidades del

ámbito empresarial y de la academia, así como representantes de la sociedad civil y responsables de proyectos de interés en bioeconomía, tanto a nivel regional y nacional como europeo y centroamericano. Durante el evento se intercambiaron experiencias entre administraciones, empresas, asociaciones y responsables de proyectos en materia de bioeconomía circular. Los temas analizados incluyeron: políticas y estrategias regionales; debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades; casos de éxito y ejemplos de buenas prácticas; modelos de negocio y consumo; bioproductos y recursos biomásicos generados por los sectores regionales; así como los retos medioambientales y climáticos.

Para más detalle sobre el evento, el lector interesado puede consultar la información en la web del Foro de Bioeconomía Circular: <https://www.forobioeconomicircular.com/> (Junta de Andalucía-b, 2023). Los resultados han sido compartidos con los ponentes y participantes a través de la web, para sugerencias, correcciones y asegurando el consenso, la transparencia y credibilidad de los mismos.

El objetivo de este artículo es ofrecer una visión general de los principales mensajes compartidos por los participantes en el Foro, así como extraer conclusiones sobre los retos y oportunidades de la bioeconomía, que sirvan como orientaciones para futuras decisiones estratégicas. Para cumplir este objetivo, el artículo está estructurado de la siguiente manera. La Sección 2 presenta la estructura del Foro, y las principales temáticas tratadas en cada una de las mesas e intervenciones. La Sección 3 resume los principales mensajes clave compartidos por los participantes en cada mesa de diálogo. En la Sección 4, se extraen las principales conclusiones e implicaciones políticas para el desarrollo de la bioeconomía.

2. METODOLOGÍA Y OBJETIVOS DEL FORO DE BIOECONOMÍA CIRCULAR

El Foro se celebró en Sevilla y fue organizado por la Secretaría General de Agricultura, Ganadería y Alimentación de la Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural (CAPADR) de la Junta de Andalucía, en colaboración con el Centro Común de Investigación (JRC, Joint Research Centre) de la Comisión Europea en Sevilla y el Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA); Asistieron

representantes de estas instituciones, así como de otras administraciones a nivel europeo, nacional, regional y centroamericano.

El evento contó con la presencia de 26 ponentes de diferentes ámbitos a nivel europeo, nacional, regional y centroamericano, y con la participación de más de 350 personas, tanto de forma presencial como virtual.

El Foro se articuló a través de una ponencia magistral introductoria relativa a la situación y perspectivas de la bioeconomía en la Unión Europea, seguida de cuatro mesas de diálogo: Políticas y estrategias, Gobernanza territorial, Casos de éxito y Cadena de valor. En la figura 2 se incluyen el marco metodológico del Foro, los temas de debate, así como las entidades participantes:

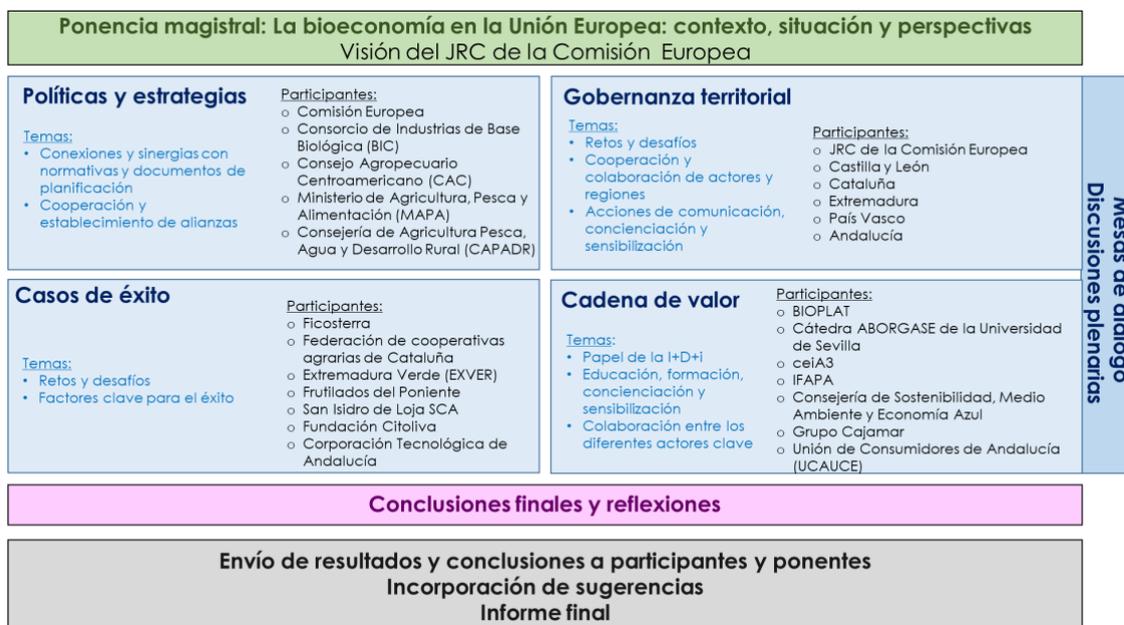


Figura 2. Marco metodológico del Foro. Fuente: elaboración propia (2024)

La ponencia magistral se centró en exponer el contexto de la bioeconomía a nivel global y europeo y en analizar aspectos relacionados con la biomasa como la producción, las fuentes, los destinos, los usos y su evolución. Asimismo se presentaron las tendencias de la bioeconomía en la UE para los próximos años. Fue impartida por un representante del Centro Común de Investigación (JRC, Joint Research Centre) de la Comisión Europea.

Las mesas de diálogo se centraron en las siguientes temáticas:

Mesa de diálogo de políticas y estrategias de bioeconomía

El objetivo de la mesa fue conocer la visión y experiencias desde el punto de vista regional, nacional, europeo y centroamericano, sobre la implantación de políticas y estrategias de bioeconomía circular. En la mesa se analizaron las conexiones y sinergias existentes con otras normativas y documentos de planificación, así como el papel clave que desempeñan la cooperación y el establecimiento de alianzas entre los distintos actores implicados.

Se contó con la participación de representantes y expertos de las siguientes entidades: Unidad de Bioeconomía y Sistemas Alimentarios de la Dirección General de Investigación e Innovación, Comisión Europea; Consorcio de Industrias de Base Biológica (BIC); Secretaría Ejecutiva del Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC); Subdirección General de Innovación y Digitalización del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), y la Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural (CAPADR) de la Junta de Andalucía.

Mesa de diálogo de gobernanza territorial

El objetivo de la mesa se centró en conocer la visión y experiencias a nivel de regiones españolas, desde la Administración Pública, de las políticas, planes y estrategias en materia de bioeconomía circular, puestas en marcha en cada una de las Comunidades Autónomas (CCAA) participantes. Para ello, se debatieron los siguientes aspectos: principales retos y desafíos, vías para potenciar la bioeconomía (plataformas, nodos, etc.), actuaciones de cooperación y colaboración de actores, acciones de comunicación, concienciación y sensibilización, etc.

En esta mesa participaron representantes de las siguientes entidades: Centro Común de Investigación de la Comisión Europea en Sevilla; Grupo de trabajo de Bioeconomía y Economía Circular de Castilla y León; Departamento de Acción Climática, Alimentación y Agenda Rural de la Generalitat de Catalunya; Servicio de Ordenación y Gestión Forestal de la Junta de Extremadura; NEIKER (Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario), y Secretaría General de

Agricultura, Ganadería y Alimentación de la Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía.

Mesa de diálogo de casos de éxito de empresas

El objetivo de la mesa fue compartir experiencias y lecciones aprendidas de empresas exitosas en la implementación de modelos de negocio de bioeconomía circular, con el fin de inspirar a otras empresas a adoptar enfoques similares y promover la transición hacia un modelo económico más sostenible y circular. Los siguientes elementos fueron analizados en la mesa: principales retos y desafíos, formas para involucrar a todos los actores, factores clave que han contribuido al éxito de las entidades e impacto en términos de sostenibilidad y rentabilidad económica.

Para la configuración de esta mesa, se solicitó a las regiones participantes que mostraran casos de éxito en sus territorios. De esta forma, en la mesa intervinieron representantes de las siguientes entidades: Ficosterra, Federación de Cooperativas Agrarias de Catalunya, Extremadura Verde (EXVER), Frutidos del Poniente, San Isidro de Loja SCA, Fundación Citoliva y Corporación Tecnológica de Andalucía (CTA).

Mesa de diálogo de cadena de valor de la bioeconomía con representantes de la cuádruple hélice

El objetivo de la mesa fue conocer la visión y experiencias de representantes del sector público, sector privado, sector académico y científico y de la sociedad civil en cuanto a su implicación y actuaciones para el desarrollo de la bioeconomía circular desde su ámbito de competencias. Se analizaron los principales retos y desafíos, el papel de la I+D+i, la importancia de la educación y la formación para mejorar la capacitación de profesionales y ciudadanos, la integración de la economía y la bioeconomía circular, la colaboración entre los diferentes actores clave y la forma de abordar la sensibilización de la población para el desarrollo de la bioeconomía circular.

En la mesa participaron representantes de las siguientes entidades: Plataforma Española de la Biomasa (BIOPLAT); Cátedra ABORGASE de Economía Circular

(ETSI-Departamento de Ingeniería Química y Ambiental) de la Universidad de Sevilla; Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (ceiA3), Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera y de la Producción Ecológica (IFAPA); Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul de la Junta de Andalucía; Grupo Cajamar y Unión de Consumidores de Andalucía (UCAUCE).

3. RESULTADOS

A continuación, se describen los aspectos más importantes resaltados en la conferencia magistral y en las 4 mesas de diálogo.

3.1. Ponencia magistral: La bioeconomía en la Unión Europea: contexto, situación y perspectivas.

En la ponencia magistral se resaltó que, en el contexto global actual, se está observando un impulso cada vez mayor de la bioeconomía a nivel mundial, ligado al objetivo de proporcionar alimentos inocuos y nutritivos a una población mundial creciente, pero también de brindar oportunidades de desarrollo sostenible y crear nuevos puestos de trabajo, además de reducir el impacto medioambiental y el desperdicio alimentario. Asimismo, se comentó la estrategia europea, vigente desde 2012, y las estrategias específicas o en proceso de desarrollo que tienen la mayoría de los Estados miembros. En algunos Estados miembros, como en España, la estrategia nacional se ha complementado con estrategias regionales, como las de Andalucía, Cataluña, País Vasco, etc. Además, se destacó a la biomasa como elemento esencial para el desarrollo de la bioeconomía, detallando la situación actual de la bioeconomía en Europa y las principales tendencias y perspectivas para los próximos años, entre las que se encuentran la coordinación de políticas y el impulso de la biotecnología y bioindustria. Asimismo, se señaló a la bioeconomía como facilitador y resultado del Pacto Verde.

3.2. Mesa de diálogo de políticas y estrategias de bioeconomía.

Tras el desarrollo de la mesa quedó patente que la bioeconomía es una oportunidad para las regiones porque promueve la gestión sostenible de los recursos naturales, y contribuye a la mitigación y adaptación al cambio

climático mediante el aprovechamiento de los recursos biomásicos de los sectores más relevantes. Representa estratégicamente el 8,3% de la mano de obra y el 4,7% del PIB (alrededor del 10% si se incluyen los servicios), siendo un elemento clave para la innovación en territorios rurales en Europa.

Se destacó que las políticas para el desarrollo de la bioeconomía circular deben establecer conexiones y sinergias con las normativas y documentos de planificación regionales, además de incluir objetivos SMART (específicos, medibles, alcanzables, realistas y con temporalidad limitada).

Asimismo, se indicó que para poder desplegar la bioeconomía a nivel europeo e integrar los desafíos comunes, deben involucrarse todas las regiones.

Además, en la mesa se mencionó la Estrategia Nacional de Bioeconomía de Costa Rica (2020-2030), a nivel centroamericano. En el ámbito regional del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), como ejemplo de colaboración, se está diseñando y formulando la Estrategia Centroamericana de Bioeconomía Circular.

Uno de los elementos clave para el desarrollo de la bioeconomía circular que se resaltó es la cooperación y establecimiento de alianzas entre los distintos actores implicados, tanto públicos como privados. A nivel europeo, como ejemplo de colaboración entre agentes e instituciones, se destacó la asociación público-privada, Circular Biobased Europe Joint Undertaking (CBE JU), constituido por el Consorcio de industrias de base biológica BIC (Bio-based Industries Consortium) y la Comisión Europea. En el ámbito latinoamericano, se comentó la Red Latinoamericana de Bioeconomía, donde se intercambian experiencias entre los países.

Durante el desarrollo de la mesa, se afirmó que la bioeconomía ha de ser transversal, por ello, deben conocerse las cadenas de valor de la bioeconomía, sus intermediarios y vínculos con otros sectores económicos, la sociedad y el medio ambiente. De esta forma, se resaltó la necesidad de paliar las desigualdades entre las materias primas renovables de origen biológico y las de origen fósil, debido a que no cuentan con financiación y suponen una inversión arriesgada en los grupos de capital.

Además, se incidió en el papel primordial de los jóvenes y las regiones, así como en la educación y la gobernanza como elementos clave para el desarrollo empresarial y de la ciudadanía.

3.3. Mesa de diálogo de gobernanza territorial.

En la mesa de diálogo de gobernanza territorial se destacó el enfoque territorial de las iniciativas comunitarias en materia de bioeconomía, así como la implementación generalizada de estrategias regionales de bioeconomía en la Unión Europea, que permite que las regiones fijen sus objetivos de acuerdo a su estructura y especificidades territoriales.

Las CCAA participantes coincidieron en señalar que el papel de la Administración para fomentar la bioeconomía circular debe focalizarse en facilitar marcos regulatorios normativos favorables que permitan establecer modelos de gobernanza transversales y que integren las diferentes visiones. Además, se debe sistematizar la información generada mediante sistemas de recogida de datos e indicadores que permitan conocer, compartir y comparar datos a través de observatorios específicos.

Por otro lado, en la mesa se resaltó que se debe establecer la colaboración entre los agentes implicados a través de estructuras sólidas como las plataformas de colaboración. Además, hay que promover la cooperación entre regiones y actores como mecanismo para el intercambio de experiencias, sinergias, fortalecimiento del sistema, aprendizaje, etc.

Otro aspecto importante remarcado en la mesa fue favorecer la creación de conocimiento (I+D+i) en los distintos campos de la bioeconomía vinculados con los territorios, los sectores y el consiguiente escalado industrial de los procesos.

Asimismo, se incidió en la difusión del conocimiento entre los diferentes actores de la cuádruple hélice para dar a conocer los objetivos y las acciones de las políticas de bioeconomía circular. Para ello, se recomendó el uso de distintos canales de comunicación como jornadas, foros, cursos, redes sociales, actuaciones formativas desde la educación primaria, etc.

3.4. Mesa de diálogo de casos de éxito de empresas.

Las entidades que participaron en esta mesa expusieron sus casos de éxito, definiendo sus claves y recomendaciones para lograr sus objetivos en el desarrollo de sus actividades de bioeconomía circular.

Ficosteria, empresa de Castilla y León, presentó su modelo de transformación de algas marinas en fertilizantes de uso en agricultura, jardinería y césped deportivo. Durante su intervención, indicó que la clave de su éxito fue poder llegar al agricultor y trasladarle los beneficios y ventajas del empleo de algas en la agricultura. Para promocionar sus productos, ha sido fundamental la divulgación, mediante la celebración de eventos donde han transmitido los beneficios y el valor añadido que estos bioproductos representan al medio ambiente, y a la sociedad en general.

La empresa extremeña Extremadura Verde expuso las actuaciones de restauración forestal tras los incendios forestales en comarcas rurales, tanto de la Administración regional y local, como de propietarios particulares. Destacó que su éxito radica en aprovechar la biomasa disponible de los montes (posibilidad de instalaciones de calderas de biomasa), así como en potenciar otros usos como la resinación, los aprovechamientos maderables y los de productos agroforestales (castaña, corcho), los cuales suponen una captación de CO₂ y proporcionan un aumento del empleo y de la riqueza para la zona.

Frutillados del Poniente es una empresa andaluza que presentó la gestión de subproductos hortofrutícolas para fabricación de alimento para el ganado. Las claves de su éxito fueron el superar las dificultades de la legislación en cuanto a la catalogación de estos subproductos hortofrutícolas, así como garantizar la viabilidad económica de la actividad para los ganaderos y productores. Además, se destacó que el apoyo de la Administración ha sido clave para el éxito de la actividad. Entre los beneficios económicos de este modelo se encuentra la reducción de costes, la valorización de subproductos y la aparición de nuevos modelos de negocio. Como beneficios sociales hay que destacar la mejora de la convivencia de los vecinos, la generación de desarrollo económico, la eliminación de olores y la no proliferación de insectos. Y entre los beneficios medioambientales se encuentran la mejora de la higiene rural, una

disminución en el consumo de recursos naturales y una menor generación de residuos.

La cooperativa andaluza San Isidro de Loja expuso la gestión eficaz de los residuos derivados de la producción del aceite de oliva en las almazaras y su valorización como fertilizante orgánico. Entre las claves de su éxito cabe mencionar las acciones de concienciación y divulgación (jornadas prácticas y actividades demostrativas) entre cooperativas, almazaras y agricultores, cuya finalidad ha sido realizar una transferencia de conocimiento que ha contribuido a la modernización y eficiencia del sector olivarero. Además, se indicó que el apoyo institucional ha sido esencial para garantizar el éxito de esta iniciativa.

La Fundación Citoliva, Centro Tecnológico del olivar y del aceite compartió la experiencia de su proyecto sobre la revalorización de residuos resultantes de las actividades de poda del olivo. Uno de los principales retos planteados fue identificar la logística adecuada para llevar los residuos hasta la planta de tratamiento para que el proceso de valorización fuera rentable, y se encuentra en proceso de involucrar al sector. El impacto de esta iniciativa radica tanto en aspectos de sostenibilidad como de rentabilidad. De sostenibilidad, porque se está generando un nuevo material con un porcentaje importante de fibras vegetales naturales, lo que minimiza el uso de recursos fósiles; y de rentabilidad porque el agricultor o la cooperativa puede recibir un ingreso extra por la poda que actualmente no tiene valor (ramón, ramas finas).

La Federación de Cooperativas Agrarias de Cataluña detalló el procedimiento del aprovechamiento y valorización de recursos biomásicos procedentes del arroz, almendra, avellana y algarroba, a través de diferentes experiencias: implementación del compostaje, fabricación de pienso, producción de biofertilizante paletizado, fomento de la agricultura circular, comunidades energéticas rurales a través de cooperativas, etc. Entre los factores clave de su éxito se encuentran el haber podido agrupar a las cooperativas agrarias junto con el resto de familias del cooperativismo (trabajo, consumidores y usuarios, enseñanza y vivienda) y el acompañar a las cooperativas y sus asociados en la reconversión del sector agrario para que implementen la economía circular en la agricultura, convirtiendo los subproductos agrarios en nuevas oportunidades comerciales.

La Corporación Tecnológica de Andalucía (CTA) es un clúster multisectorial andaluz que aglutina a empresas en torno a la innovación para acelerar su competitividad y rentabilidad. Se resaltó que entre los retos a los que las empresas se enfrentan al implementar modelos de bioeconomía circular se encuentran los de carácter legislativo (falta de desarrollo normativo), tecnológico (salto a escala industrial) y económicos (necesaria financiación porque las inversiones son elevadas). CTA participa en numerosos proyectos relacionados con la bioeconomía circular como ROBIN, BIOTRANSFORM o SCALE-UP y ha contribuido al desarrollo de figuras alternativas para involucrar a los actores clave para mejorar la gobernanza y el desarrollo del modelo de bioeconomía circular (plataformas, etc.). Asimismo, se destacaron tres factores clave que contribuyen al éxito de los nuevos modelos generados por las empresas: tecnología e innovación para desarrollar nuevos procesos y productos; generación y/o exploración de conocimientos; y diferenciación y orientación al mercado de los nuevos productos para satisfacer potenciales demandas.

3.5. Mesa de diálogo de cadena de valor de la bioeconomía con representantes de la cuádruple hélice.

En la mesa quedó patente el potencial de la cadena de valor de la bioeconomía circular y la necesidad de frenar el cambio climático y de buscar alternativas a los recursos fósiles. Asimismo, se vio que es fundamental conocer la composición y diversidad de los recursos biomásicos vegetales regionales, así como los diferentes procesos de extracción y procesado, para poder analizar nuevas oportunidades para el desarrollo económico y social de las regiones y las zonas rurales.

La I+D+i es un motor clave para impulsar el desarrollo de la bioeconomía circular al generar conocimiento, tecnologías y soluciones adaptadas a las características y necesidades particulares de cada región. Se resaltó que la cooperación entre el sistema I+D+i, público y privado, con los sectores productivos y sus empresas es primordial para estimular la creación de equipos multidisciplinares y para el desarrollo de soluciones innovadoras de forma más eficiente e integral. Para ello, es necesario conectar adecuadamente la

producción científica con las necesidades y demanda del mercado (consumidores, industrias, etc.).

En la mesa se analizó la necesidad de que el conocimiento debe llegar a más sectores, actores y cadenas de valor, así como a los transmisores del conocimiento y formadores de la materia (asesores, técnicos de cooperativas, agentes innovadores: brokers, etc.). Por ello, se planteó la posibilidad de potenciar una nueva figura de divulgación "extensionista o agente innovador en bioeconomía circular".

Por otro lado, se resaltó la importancia de la formación académica, la cual debe tener un enfoque transversal, con grados y másteres de especialización en bioeconomía circular. Además, debe existir una colaboración con las empresas del sector para una formación continua en bioeconomía circular. Como aspectos importantes clave para el éxito de la bioeconomía circular se destacó la colaboración y cooperación entre actores territoriales, para generar sinergias y alianzas que permitan mayor complementariedad y una evolución más coordinada, dinámica y proactiva, reduciendo de esta forma la incertidumbre. De esta manera, se constató que es necesario fomentar los convenios con agrupaciones de producción y comercialización, para potenciar este modelo de cambio y transformar las innovaciones consolidadas y contrastadas en prácticas reales. Además, hay que lograr una mayor adopción de las soluciones innovadoras en bioeconomía circular, transformar el conocimiento en prácticas y crear nuevas oportunidades de mercado mediante atributos de valor. Es por ello que el desarrollo de una estrategia de comunicación con todos los agentes sociales y económicos es un elemento esencial para lograr el avance tecnológico y su aplicación a la realidad productiva.

Asimismo, en la mesa se incidió en la importancia de la sociedad civil en todo el proceso. De esta manera, es necesario desarrollar programas de divulgación, e información y sensibilización de la sociedad, en general, y las personas consumidoras y usuarias, en particular. Por ello, la sociedad debe ser capaz de identificar y conocer el valor añadido que el desarrollo de la bioeconomía circular genera para la economía y el medio ambiente y entender sus ventajas e importancia, para desplegar de esta forma una mayor disposición a usar, consumir, pagar, etc., fomentando de esta manera la demanda.

Además, se destacó la importancia de la formación y educación de la sociedad para que contribuya a la circularidad de los productos: reciclar, separar, evitar desperdicio, comprar productos de cercanía, etc. Asimismo, es necesario que los ciudadanos se familiaricen con los sellos de certificación, ya que garantizan la biodegradabilidad o compostabilidad de un material determinado. Deberían de ser considerados como un factor de diferenciación a la hora de adquirir un producto.

4. CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES

Tras la celebración del Foro de Bioeconomía Circular, se han extraído diferentes conclusiones y reflexiones finales para garantizar el éxito adecuado de la bioeconomía circular y contribuir el desarrollo sostenible de las regiones.

El modelo económico de la bioeconomía circular se basa en la producción y uso de recursos biomásicos renovables, así como en su transformación sostenible y eficiente en bioproductos, bioenergía y servicios para la sociedad. La bioeconomía es un concepto clave para marcar las prioridades del desarrollo sostenible, puesto que abre un mundo de oportunidades, de conocimiento y de crecimiento para las industrias y para la ciudadanía en distintos niveles:

4.1. Marco normativo

La bioeconomía es un facilitador de otras iniciativas y objetivos políticos (como los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el Pacto Verde, la mitigación del cambio climático, etc.) debido a su enfoque intersectorial y holístico, que equilibra las dimensiones medioambientales, sociales y económicas de la sostenibilidad.

En consecuencia, la bioeconomía ha de ser sostenible. El mero hecho de que esté fundamentada en la biomasa no implica que no haya que considerar la sostenibilidad a la hora de diseñar estrategias de bioeconomía. Por ello, la bioeconomía circular debe tener un enfoque estratégico que guíe hacia un desarrollo más sostenible, promoviendo la utilización eficiente de recursos, distanciándose del modelo de usar y tirar, e impulsando la reducción del impacto ambiental y la creación de oportunidades económicas.

Por otro lado, la implementación de técnicas sostenibles y la adopción creciente de productos de base biológica, producidos de manera sostenible, tienen que ser atractivos para la industria y los consumidores. Así, es importante el papel de las administraciones para crear un ambiente normativo favorable y facilitar el acceso a la financiación, tanto pública como privada.

4.2. Territorialidad

Para que se desarrollen nuevas cadenas de valor en la bioeconomía circular se requiere un enfoque que reconozca las especificidades regionales y locales. De esta manera, es necesario disponer de datos fiables e indicadores y herramientas adecuadas; en definitiva, de una base de conocimientos basada en evidencias.

La bioeconomía circular ofrece nuevas oportunidades para el desarrollo de las zonas rurales, especialmente en el contexto de los desafíos actuales, como el cambio climático, la conservación de la biodiversidad, la independencia energética y la seguridad alimentaria. Estas áreas tienen potencial para impulsar la competitividad, diversificar los ingresos de los productores primarios, y crear empleo en las áreas rurales. Todo esto es vital para retener y atraer talento en las zonas rurales.

Además, es fundamental la cooperación entre regiones para poder desplegar los modelos de bioeconomía circular en los territorios, mediante el intercambio de buenas prácticas y lecciones aprendidas, de forma que se integren los retos y desafíos comunes, así como que se detecten las debilidades y amenazas.

4.3. Integración, cooperación, papel de la I+D+i

Para incorporar el modelo de bioeconomía circular, es necesario un cambio en nuestra forma de producir y de consumir. Por ello es indispensable la participación de los actores implicados a todos los niveles.

Un aspecto fundamental es la colaboración entre los agentes de la cuádruple hélice para impulsar la demanda de productos y soluciones más sostenibles y adecuar la oferta a esta demanda. Hay que establecer alianzas y estrategias con los actores del territorio y aprovechar esfuerzos y sinergias.

Además, la bioeconomía circular debe considerarse como un modelo transversal, desde la producción de biomasa hasta los servicios asociados y el comportamiento de los consumidores. Por el contrario, el análisis aislado de sectores ocultará impulsores y barreras esenciales que pueden obstaculizar su adecuado desarrollo.

Como elementos clave para aprovechar al máximo las oportunidades de la bioeconomía circular y dirigir adecuadamente las futuras acciones a través de políticas regionales, es primordial la I+D+i y transferencia de tecnología. Por ello, hay que promover y afianzar tanto la generación de conocimiento como su difusión, adaptación a la realidad de cada territorio, así como la evaluación y búsqueda de soluciones a los retos que vayan implicando la implantación.

Por otro lado, hay que promover la competitividad y el desarrollo de nuevos modelos de negocio asociados a la bioeconomía. Para ello, se deben consolidar estas oportunidades de mercado en base al diseño de estrategias de marketing basadas en nuevos atributos de valor ligados a la bioeconomía.

Además, la bioeconomía circular ofrece a las empresas oportunidades significativas. Por un lado, permite la diversificación de ingresos al transformar subproductos en valiosos recursos. Por otro lado, fomenta la innovación al impulsar el desarrollo de productos y servicios sostenibles, como biomateriales, bioplásticos, bioproductos y energía renovable, así como servicios ecosistémicos en los territorios, lo que mejora la competitividad empresarial en mercados cada vez más dinámicos y exigentes.

Asimismo, se destacan los beneficios de la cooperación con otras regiones, ya que la implementación de las políticas de bioeconomía circular no se puede ver de manera aislada. Esta cooperación es necesaria para compartir conocimientos y experiencias en el ámbito de la bioeconomía, acelerando el aprendizaje y la adopción de mejores prácticas. Esto, a su vez, estimula la innovación y el desarrollo de soluciones que permiten abordar los desafíos globales de manera más efectiva y generar innovación, competitividad y sostenibilidad.

En definitiva, es necesario potenciar las actuaciones e iniciativas conjuntas entre el sistema de I+D+i andaluz y los sectores estratégicos, por lo que es primordial fomentar la co-creación y el enfoque multiactor mediante la involucración de los AKIS (Sistemas de Conocimiento e Innovación Agraria: Agricultural Knowledge and Innovation Systems). De esta forma se podrán detectar las necesidades y demandas concretas de los sectores y se podrá generar el posterior conocimiento y satisfacción de los mismos.

4.4. Papel clave de los consumidores: sensibilización, comunicación

El consumidor desempeña un papel fundamental en el éxito de la transición hacia una sociedad circular. Por tanto, es esencial abordar la sensibilización ciudadana y, con ello, los tres principales desafíos que enfrenta: aprender a consumir de manera consciente, considerando más allá de la mera satisfacción de las necesidades individuales; aprender a utilizar productos e insumos de manera responsable, en sintonía con la disponibilidad de recursos; y aprender a gestionar los desechos de manera sostenible.

Asimismo, es esencial que se realicen acciones de comunicación y divulgación sobre los beneficios de la bioeconomía, incorporando el concepto en nuestro día a día.

En definitiva, se deben impulsar la educación y formación continua a todos los niveles y de todos los agentes, a través de programas que incorporen a los jóvenes y permitan a la ciudadanía tomar decisiones de consumo informadas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el apoyo recibido por parte de la Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural, del Centro Común de Investigación (JRC, Joint Research Centre) de la Comisión Europea en Sevilla y del Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA) para la organización del Foro, la participación de los expertos y ponentes de otras administraciones a nivel europeo, nacional, regional y centroamericano, así como la asistencia de representantes de los agentes y actores territoriales del sector agroalimentario en Andalucía.

REFERENCIAS

- BERBEL, J., BORREGO, M.M., GÓMEZ, J.A., VILLANUEVA, A.J., CÁTEDRA, M., & CAPOTE, C. (2021). Factores habilitantes y limitantes para el éxito de iniciativas de bioeconomía circular en Andalucía. Recuperado de: https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2022-01/Informe_BEC-Andalucia_Publicacion.pdf
- COMISIÓN EUROPEA (2018). A sustainable bioeconomy for Europe – Strengthening the connection between economy, society and the environment – Updated bioeconomy strategy, Publications Office of the European Union. Recuperado de: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/792130>
- COMISIÓN EUROPEA (2022). European bioeconomy policy – Stocktaking and future developments – Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Publications Office of the European Union. Recuperado de: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/997651>
- COMISIÓN EUROPEA (2024). Un futuro construido con la naturaleza: potenciando la Bioetnología y la Biofabricación en la UE. Recuperado de: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/document/download/47554adc-dffc-411b-8cd6-b52417514cb3_en
- CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA (2023). Conclusiones relativas a las oportunidades de la bioeconomía a la luz de los retos actuales, con especial insistencia en las zonas rurales. Recuperado de: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-8194-2023-INIT/es/pdf>
- GALANAKIS, C. M., BRUNORI, G., CHIARAMONTI, D., MAT-THEWS, R., PANOUTSOU, C., & FRITSCHÉ, U. R. (2022). Bioeconomy and green recovery in a post-COVID-19 era. *Science of The Total Environment*, 808, 152180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152180>

GARDOSSI, L.; PHILP, J., FAVA, F., WINICKOFF, D., D'APRILE, L., DELL'ANNO, B., MARVICK, O.J., & LENZI, A. (2023). Bioeconomy national strategies in the G20 and OECD countries: Sharing experiences and comparing existing policies. *EFB Bioeconomy Journal*, 3, 100053. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2023.100053>

HAARICH, S., & KIRCHMAYR-NOVAK, S. (2022). Bioeconomy strategy development in EU regions. Editado por: Sanchez López, J., Borzacchiello, M.T., & Avraamides, M. Publications Office of the European Union, Luxemburgo, ISBN 978-92-76-49341-9. doi: <https://dx.doi.org/10.2760/065902>

JUNTA DE ANDALUCÍA (2018). Estrategia Andaluza de Bioeconomía Circular. Recuperado de:

<https://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturapescaaguaydesarrollorural/areas/politica-agraria-comun/desarrollo-rural/paginas/estrategia-andaluza-bioeconomia.html>

JUNTA DE ANDALUCÍA-a (2023). Caracterización del sector agrario y pesquero de Andalucía. Serie C-18. Recursos biomásicos de la agricultura y la ganadería, 553-558. Serie C-19. Recursos biomásicos de la agroindustria, 559-571. Recuperado de: <https://ws142.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/caracterizacion-sector-agrario-pesquero/#p=1>

JUNTA DE ANDALUCÍA-b (2023). Foro de Bioeconomía Circular, organizado por la Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural; en colaboración con Centro Común de Investigación (JRC, Joint Research Centre) de la Comisión Europea en Sevilla y el Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA). Recuperado de: <https://www.forobioeconomicircular.com/>

- LASARTE-LÓPEZ, J., GRASSANO, N., M'BAREK, R., & RONZON, T. (2023). Bioeconomy and resilience to economic shocks: insights from the COVID-19 pandemic in 2020. *Bio-based and Applied Economics* 12(4), 367-377. Recuperado de: <https://doi.org/10.36253/bae-14827>
- ROBERT, N., GIUNTOLI, J., ARAUJO, R., AVRAAMIDES, M., BALZI, E., BARREDO, J. I., BARUTH, B., BECKER, W., BORZACHIELLO, M.T., BULGHERONI, C., CAMIA, A., FIORE, G., FOLLADOR, M., GURRIA, P., NOTTE, A., LUSSER, M., MARELLI, L., M'BAREK, R., PARISI, C., PHILIPPIDIS, G., RONZON, T., SALA, S., SANCHEZ, J., & MUBAREKA, S. (2020). Development of a bioeconomy monitoring framework for the European Union: An integrative and collaborative approach. *New Biotechnology*, 59, 10-19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.06.001>
- ROBIN (2024). PROYECTO EUROPEO "Deploying circular BIOecoNomies at Regional level with a territorial approach". Recuperado de: <https://robin-project.eu/>
- ROJAS-SERRANO, F., GARCIA-GARCIA, G., PARRA-LÓPEZ, C., & SAYADI, S. (2024) Sustainability, circular economy and bioeconomy: A conceptual review and integration into the notion of sustainable circular bioeconomy. *New Medit*, 23(2), 3-22. doi: <https://doi.org/10.30682/nm2402a>
- SAYADI, S, CÁTEDRA, M, CAPOTE, C, PARRA, C, GARCIA, G, ARGÜELLES, M, & ORTIZ, E. (2023). Análisis estratégico de la implantación de la bioeconomía circular en Andalucía a través del análisis DAFO. *C3-BIOECONOMY*, 4, 75-94. doi: <https://doi.org/10.21071/c3b.vi4.16294>



Proyecto Water2REturn: caso práctico del modelo de economía circular en mataderos

Antonia María Lorenzo López ^{1,2}, Pilar Zapata Aranda ³ y Alejandro Caballero Hernández ^{4,5}

Autor de Correspondencia: alorenzo@bioazul.com

Resumen:

La **escasez de agua y la recuperación de recursos** son importantes retos globales, y existe una demanda creciente de soluciones circulares que permitan reutilizar el agua y recuperar recursos. Estas soluciones se vuelven imprescindibles cuando se trata de sectores industriales como los mataderos, una industria altamente consumidora de agua y que genera aguas residuales con alta concentración de materia orgánica, una valiosa fuente de nutrientes para la agricultura si se recuperan adecuadamente.

El uso de productos manufacturados a partir de recursos no renovables, como los fertilizantes químicos, se está revisando para encontrar otras opciones más respetuosas con el medio ambiente y evitar posibles problemas de contaminación de las aguas, y su eutrofización.

Water2Return, proyecto financiado por el H2020 de la Comisión Europea, promueve la **simbiosis industrial** convirtiendo las instalaciones de tratamiento de aguas residuales de los mataderos en **biorrefinerías**, siguiendo los **principios de la Economía Circular**, abordando **la escasez de agua y la recuperación recursos valiosos, y contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios**. Se llevó a cabo un caso práctico en **“Matadero del Sur”** en Sevilla (España) tratando 50m³ aguas residuales/día, produciendo agua regenerada, energía y materias primas secundarias para la formulación de productos agrícolas de alto valor añadido.

Palabras clave: aguas residuales, matadero, economía circular, bioestimulantes, fertilización, materias primas secundarias, recuperación de nutrientes, escasez de agua, productos agronómicos.

Water2REturn project: a practical case of circular economy model in slaughterhouses

Antonia María Lorenzo López ^{1,2}, Pilar Zapata Aranda ³ and Alejandro Caballero Hernández ^{4,5}

Abstract:

Nowadays, **water scarcity** and **resource recovery** are global concerns. Thus, there is a rising demand for **implementing circular solutions** to reuse water and to recover resources that may be embedded in water streams. These solutions become a must when dealing with industrial sectors

¹ BIOAZUL SL, (España), alorenzo@bioazul.com; 0000-0001-9452-2317.

² Universidad de Córdoba, Grupo de investigación WEARE (España), ep2loloa@uco.es; 0000-0001-9452-2317.

³ BIOAZUL SL, (España), pzapata@bioazul.com; 0000-0002-3839-8603

⁴ BIOAZUL SL, (España), acaballero@bioazul.com; 0000-0002-7420-2153

⁵ Universidad de Sevilla, Tecnología y Aplicación de Enzimas, Departamento de Bioquímica y Biología Molecular (España), alecabher@alum.us.es; 0000-0002-7420-2153.

like **slaughtering**, a **water-intensive industry** that generates wastewater containing a high proportion of organic matter, a valuable source of nutrients for agriculture if properly recovered

Furthermore, the use of manufactured products based on non-renewable resources, such as chemical fertilizers, is being revised to move to other much more environmentally friendly options to avoid potential danger to the water bodies, that can get polluted and suffer eutrophication, among other environmental problems.

Water2Return, a project financed by the H2020 programme of the European Commission, promotes **industrial symbiosis** by turning wastewater treatment facilities in slaughterhouses into **bio-refineries**, following the **Circular Economy principles**, addressing **water scarcity while simultaneously recovering valuable resources, contributing to the Food System sustainability**. A real case study was carried out in “**Matadero del Sur**”, a slaughterhouse in Seville (Spain) treating 50m³ wastewater/day, producing reclaimed water, energy and different secondary raw materials for the formulation high added value agricultural products.

Key Words: waste water, slaughterhouse, circular economy, biostimulants, fertilisation, secondary raw materials, nutrient recovery, water scarcity, agronomic products.

1. INTRODUCCIÓN

La demanda de fertilizantes químicos por parte del sector agrícola está en continuo crecimiento debido, principalmente, al constante aumento de la población mundial que necesita ser alimentada. Según Naciones Unidas, seremos 9.700 millones en 2050, pudiendo llegar a unos 11.000 millones en 2100.

La agricultura del siglo XXI enfrenta múltiples desafíos; debe alimentar a esta población creciente en un contexto de despoblamiento rural y, por tanto, con una mano de obra rural mermada, y en un contexto de cambio climático con la escasez de recursos que lleva asociado, y las limitaciones en el uso del terreno debido, entre otros factores, a la degradación del suelo.

Una de las claves para enfrentar esta situación es la transición necesaria de la **economía lineal** actual (extracción – fabricación – utilización – eliminación) hacia una **economía circular** (extensión del ciclo de vida de los productos y reducción de la producción de residuos). Esta transición contribuye al Nuevo Plan de Acción de Economía Circular que lanza a Comisión Europea en marzo de 2020, y que constituye uno de los principales pilares del Pacto Verde Europeo, la nueva agenda de Europa para el crecimiento sostenible.

Según la Fundación Ellen MacArthur, el concepto de economía circular constituye un nuevo modelo económico que aborda los crecientes desafíos

relacionados con los recursos para las empresas y las economías. La implementación de estos modelos genera crecimiento, crea empleos y reduce los impactos ambientales, incluidas las emisiones de carbono. En línea con esta perspectiva, la implementación de modelos de economía circular en mataderos reducirá sus emisiones y promoverá la revalorización de los residuos que generan.

En el proyecto **Water2return** se ha trabajado, desde un enfoque de economía circular, en dos sectores económicos, el de los mataderos industriales y el de la fabricación de productos agronómicos.

El sector europeo de los mataderos se caracteriza por un alto consumo de agua y energía, y a su vez por la elevada generación de agua residual y residuos, que son emitidos al medio ambiente teniendo un alto contenido en materia orgánica fácilmente metanizable y nutrientes, que potencialmente pueden transformarse en energía, productos fertilizantes y bioestimulantes, pero son peligrosos para el medio ambiente si se descargan sin tratamiento adecuado.

La demanda agrícola de fertilizantes químicos está aumentando debido al crecimiento de la población mundial, alcanzando alrededor de 20 millones de toneladas en 2018. Su uso extensivo es problemático, pues están asociados a las emisiones de óxido nitroso, un potente gas de efecto invernadero, así como a otros problemas medioambientales como la eutrofización si llegan a las masas de agua. Además, también pueden tener un efecto negativo en la salud humana, especialmente cuando contienen nitrógeno, potasio, fósforo y metales pesados. Estos impactos pueden causar cáncer, enfermedad de Parkinson, aumentar el riesgo de enfermedad de Alzheimer y diabetes, efectos neurológicos y reproductivos.

Por otra parte, la importancia del reciclaje de nutrientes es crucial en Europa, donde la ausencia general de nutrientes representa **una amenaza considerable para la seguridad alimentaria de la UE**. Esta tensión entre la escasez de recursos y la creciente demanda de los mismos continuará **disparando sus precios en el futuro próximo**.

Water2REturn contribuye a la necesidad de encontrar fuentes alternativas de nutrientes que contribuyan a la seguridad alimentaria de la Unión Europea, y fomenta la **simbiosis industrial** proponiendo una solución integrada para el tratamiento de aguas residuales de mataderos y la recuperación de nutrientes, para la producción de biofertilizantes y bioestimulantes. Este enfoque convierte las plantas de tratamiento de aguas residuales en "**bio-refinerías**".

Water2REturn tiene como objetivo recuperar **tres materias primas secundarias de alto valor**: concentrado de nutrientes, lodos hidrolizados fermentados con *Bacillus spp.* y biomasa algal, la base para fabricar tres productos agronómicos, un biofertilizante alternativo y dos bioestimulantes que fomentan el crecimiento de las plantas, así como para producir energía.

2. MÉTODO/DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA DE INNOVACIÓN

Water2Return es una Acción de Innovación cofinanciada por la Comisión Europea dentro de su Programa Horizonte 2020 (número de contrato 730398) y en primera convocatoria de "agua en el contexto de la economía circular". El proyecto, coordinado por BIOAZUL SL, comenzó en julio de 2017, con una duración de 57 meses y un presupuesto de 7.129.322,00 € (contribución CE: 5.871.895,44 €) para implementar las actividades previstas en el proyecto.

El consorcio de **Water2REturn** está compuesto por 15 socios multidisciplinares: 9 PYMEs, 2 asociaciones europeas y 4 instituciones investigadoras. **Water2REturn** reúne la experiencia de actores de **toda la cadena de valor** en ocho países diferentes (España, Portugal, Eslovenia, Rumanía, Italia, Bélgica, Alemania y Reino Unido): expertos en tratamiento de aguas residuales y recuperación de nutrientes, valorización de lodos, producción de energía y Tecnologías de la Información y Comunicación, fabricantes experimentados en la producción de fertilizantes que invertirán en el reciclaje de nutrientes y usuarios finales de la tecnología de recuperación de nutrientes (organización que representa la industria cárnica a nivel europeo) y de los productos agronómicos (organización europea de propietarios rurales), así como una cooperativa agrícola que pondrá a prueba los tres productos agronómicos en sus propios terrenos.

Water2Return se centra en la recuperación y reciclaje de nutrientes del agua residual generada por los mataderos siguiendo un modelo de economía circular. Así, Water2Return enfrenta los retos ambientales y económicas de los mataderos como una **oportunidad de mercado**, aplica los preceptos de la economía circular para extraer el máximo valor posible de sus residuos y posibilita la recuperación de nutrientes del agua residual y su conversión en productos agronómicos de alto valor añadido y de mercado para la industria agroquímica y, en consecuencia, para el sector agrícola.

Water2Return propone una **demonstración a gran escala** para la recuperación integrada de nutrientes de las aguas residuales en la industria de los mataderos en un caso de estudio real en el matadero 'Matadero del Sur' ubicado en Salteras, España. La novedad del sistema Water2Return radica en su innovadora combinación en cascada, **de tecnologías y procesos bioquímicos y físicos para tratar y regenerar las aguas residuales de matadero**. Todas estas tecnologías se agrupan en cuatro líneas de tratamiento dentro del sistema Water2Return, denominadas: **línea de aguas, línea de lodos, línea de energía y línea de algas**.

1. **La línea de aguas** recibe las **aguas residuales del matadero** y consiste en un **sistema de tratamiento y un módulo de recuperación de nutrientes**. La tecnología propuesta es un Reactor Discontinuo Secuencial (SBR según sus siglas en inglés), con una capacidad de tratamiento de 50m³/día. El agua tratada pasa al **módulo de recuperación de nutrientes** que consiste en una **unidad de filtración**: microfiltración, ultrafiltración y ósmosis inversa. El subproducto resultante es un **concentrado de nutrientes**, que constituye **la materia prima secundaria 1 (MPS1)**, que servirá de base para producir el primer producto agronómico (PA1): un **biofertilizante alternativo líquido rico en Nitrógeno**.

Además, el agua regenerada resultante puede descargarse al entorno receptor de acuerdo con las regulaciones de aplicación, o usarse en la línea de algas, llenando los estanques donde crecen las algas y, por lo tanto, cerrando completamente el ciclo.

2. **Línea de lodos.** La pauta de operación del SBR permite la generación de un segundo subproducto, los lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales. Este lodo entra en la línea de lodos, pasando por un primer **proceso de pretratamiento** donde se eliminan los microorganismos patógenos y se consigue su higienización. Posteriormente, pasa a la **unidad de fermentación**, un biorreactor donde el lodo se fermenta con *Bacillus spp.* Como resultado, se obtiene un **lodo hidrolizado** con alta disponibilidad de materia orgánica, y puede ser utilizado en otros procesos biológicos como la digestión anaeróbica en la línea de energía, produciendo biogás. El lodo hidrolizado también constituye la **materia prima secundaria (MPS2)** que sirve de base para producir el segundo producto agronómico (PA2): un **bioestimulante**. Las pruebas agronómicas realizadas en el proyecto han demostrado que, en general, aumenta la productividad de los cultivos en los que se ha aplicado (melón, tomate y pepino).

Además, la línea de lodos cuenta con un innovador sistema de pretratamiento, desarrollado por la Universidad de Sevilla, avalado por la **Verificación Tecnológica Medioambiental de la UE** (ETV según sus siglas en inglés), que es la herramienta oficial de la Comisión Europea para verificar el rendimiento de tecnologías innovadoras con carácter ambiental. El objetivo principal de la ETV es facilitar la entrada en el mercado de nuevas tecnologías innovadoras que tengan un beneficio ambiental en comparación con las tecnologías existentes y confirmar sus credenciales ecológicas.

3. El lodo hidrolizado se valoriza en la **línea de energía**, donde pasa por un proceso de digestión anaeróbica, en el que la materia orgánica se transforma en biogás, compuesto principalmente por metano y CO₂. El biogás se convierte después en energía en una unidad de cogeneración. La energía generada se puede utilizar para alimentar al matadero o al propio sistema.

4. **En la línea de algas** se lleva a cabo un proceso de tratamiento de algas, se utiliza la **tecnología AlgaBioGas (AGB)**, que se basa en un sistema de **estanques de algas** que permite controlar y medir los parámetros de entrada y salida del agua, al que llega parte del lodo hidrolizado y el digestato resultante de la línea de energía para contribuir al crecimiento de biomasa

algal. La **biomasa algal** que se produce constituye la **materia prima secundaria** (MPS3) que servirá de base para producir el tercer producto agronómico (PA3): un **bioestimulante**. Las pruebas agronómicas realizadas en el proyecto han demostrado la alta eficiencia de este producto. Se ha probado en varios cultivos y frutas como el pepino y el albaricoque. Se obtiene un mayor desarrollo vegetativo cuando el bioestimulante se aplica en el suelo, y cuando se aplica sobre las hojas, ha aumentado la intensidad y calidad de floración y brotación, y del rendimiento del fruto. También ha demostrado ser un producto competitivo, con un rendimiento igual que los mejores productos del mercado, pero constituyendo una alternativa mucho más ecológica.

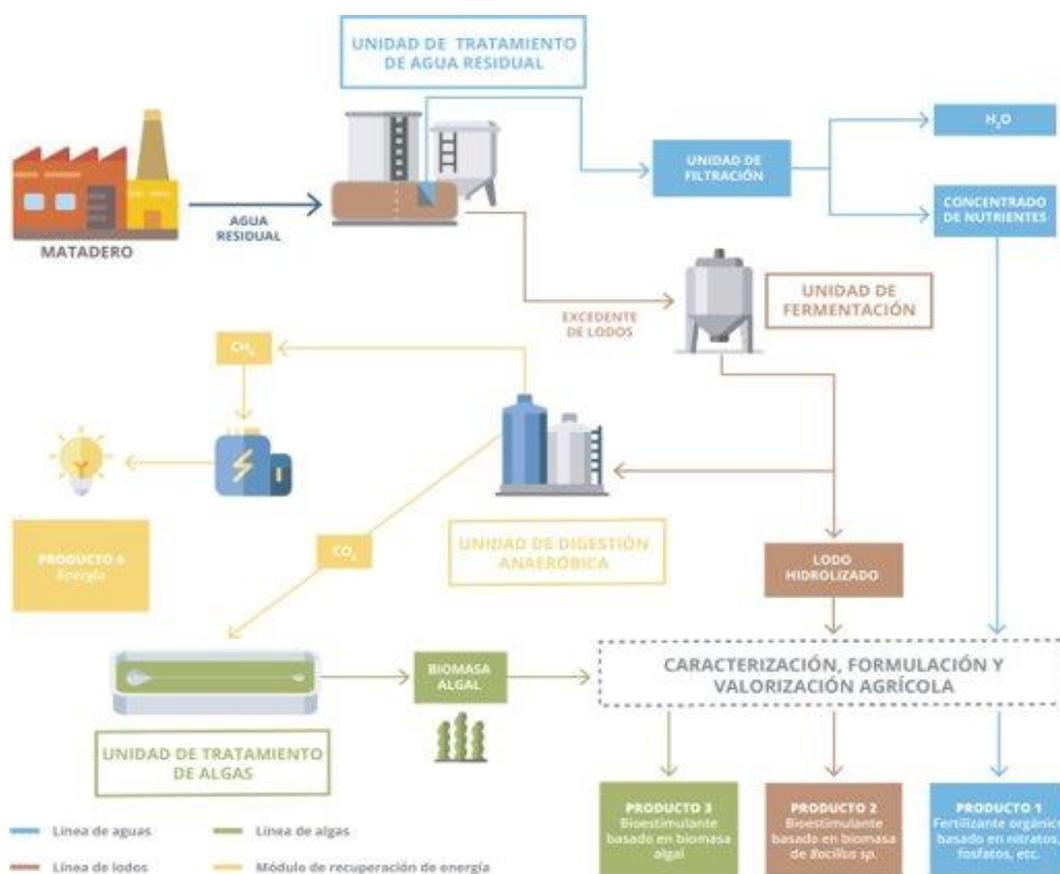


Figura 1. Esquema del sistema Water2Return



Figura 2. Sistema Water2Return instalado en Matadero del Sur, Salteras (Sevilla)

3. RESULTADOS

Los resultados que se presentan a nivel técnico son los asociados a la línea de agua que ha sido liderada por la empresa BIOAZUL.

La puesta en marcha de la línea de agua comenzó en abril de 2020, inoculando lodos activos procedentes de la depuradora en funcionamiento del Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA), y posteriormente se adaptó el funcionamiento del SBR a las fluctuaciones de caudal y carga orgánica de las aguas residuales procedentes de Matadero del Sur.

CENTA propuso el protocolo de análisis que permitía evaluar el rendimiento y las tasas de eficiencia del tratamiento de acuerdo con la Directiva del Consejo [91/271/CEE](#), y sus transposiciones nacionales. R.D. Ley 11/1995, R.D. 509/1996 y R.D. 2116/1998, relativa va la "recogida, tratamiento y vertido de aguas residuales urbanas y al tratamiento y vertido de aguas residuales de determinados sectores industriales". Los requisitos para el vertido de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas sujetas a los artículos 4 y 5 de la

Directiva son los siguientes (aplicando los valores de concentración o el porcentaje de reducción):

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5 a 20 °C) sin nitrificación: concentración permitida, 25 mg/l O₂; Porcentaje mínimo de reducción requerido, 70-90%.
- Demanda química de oxígeno (DQO): concentración permitida, 125 mg/l O₂; Porcentaje mínimo de reducción exigido, 75%.
- Sólidos suspendidos totales (SST): concentración permitida, 35 mg/l; Porcentaje mínimo de reducción exigido, 90%.

Además de estos parámetros, también se monitorizó el Nitrógeno midiendo semanalmente el N-NH₄ y el N-NO₃ en muestras tomadas en diferentes puntos de muestreo: el afluente del SBR (pozo de bombeo de entrada), el reactor del SBR, el efluente tratado (pozo de salida foso de la instalación de tratamiento) y, a partir de junio de 2021, en el Flotador por Aire Disuelto, (DAF según sus siglas en inglés).



Figura 3. Water2Return SBR instalado en Matadero del Sur, Salteras (Sevilla)

Desde septiembre de 2020 se tomaron dos tipos de muestras semanalmente: muestras puntuales y muestras agregadas de 24 horas. Todas las muestras fueron tomadas, conservadas y trasladadas siguiendo las normas normalizadas para el desarrollo de la actividad. Las determinaciones analíticas se realizaron en los laboratorios del CENTA.

Los resultados de las analíticas del efluente del SBR se presentan en la tabla 1 y las figuras (4-6).

Tabla 1. Resultados analíticos influente/efluente del 07/09/2020 al 10/03/2022

	N-NH ₄ (mg/l)	N-NO ₃ (mg/l)	N-Total*(mg/l)
Max Influyente	43940,00	103,00	650,00
Min Influyente	0,10	0,60	2,70
Media Influyente	865,12	7,69	199,72
Max Efluente	80,70	72,00	33,60
Min Efluente	0,00	0,10	0,80
Media Efluente	1,94	10,52	9,57

*Analíticas desde el 23/03/2021

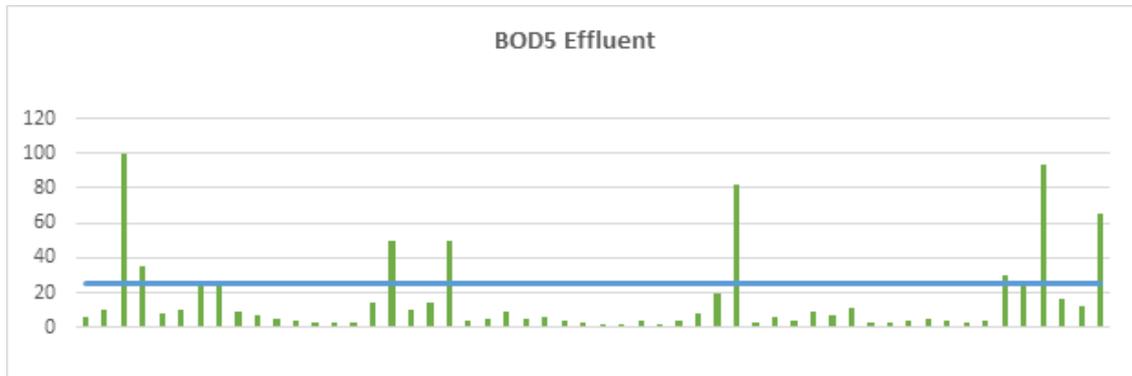


Figura 4. DBO₅ (mg/l O₂) de septiembre de 2020 a marzo de 2022



Figura 5. DQO (mg/l O₂) de septiembre de 2020 a marzo de 2022

con SST superiores a 35 mg/l se cumple el porcentaje de eliminación requerido (mínimo del 90%).

El subproducto resultante, **concentrado líquido de nutrientes**, resultó no ser comercialmente factible debido a que las aguas residuales del matadero presentaban una concentración de nitrógeno más baja de lo esperado. Esto podría ser consecuencia de las mejoras que se fueron implementando en el matadero durante la implementación del proyecto, incluyendo la crisis del SARS-CoV-2, además del alto coste de su transporte por lo que sí se consideró como un muy buen candidato para la fertilización directa de campos locales cercanos al matadero. Esta opción contribuye a la reducción de agua de riego y de los fertilizantes.

En relación con las materias primas secundarias que se obtuvieron en la línea de lodos y la de algas, tras su caracterización, se procedió a la formulación de dos bioestimulantes que se testaron con diferentes cultivos tal como albaricoques tomates, pepinos y melón, en el marco del proyecto con resultados muy prometedores (confidenciales en este momento) que abrirán nuevas líneas de negocio para algunos de los socios del proyecto.

Por otra parte, se puede concluir que, de forma general, la implementación de esta tipología de proyectos donde se proponen enfoques de economía circular para convertir residuos en recursos, son necesarios en la transición hacia una economía sostenible y descarbonizada, especialmente en un contexto de Cambio Climático. En el caso de Water2Return, son varios los beneficios identificados:

Para la industria de los mataderos y de procesamiento de carne:

- Reducción del impacto ambiental de la producción.
- Menores costes de tratamiento de aguas residuales y lodos.
- Recuperación de energía y de nutrientes.
- Apertura de nuevas oportunidades de negocio.

Para los distribuidores de productos agronómicos y el sector agrícola convencional y orgánica:

- Reducción del impacto ambiental de la producción de alimentos y promoción de sinergias entre sectores industriales clave (agricultura, mataderos y tratamiento de aguas).
- Nuevas materias prima para producción de productos bio-agronómicos.
- Nuevas oportunidades de mercado brindando soluciones novedosas y con alta demanda.

Para la sociedad y el medio ambiente:

- Disminución de la dependencia de nutrientes y aumento de la seguridad del suministro de alimentos en la UE.
- Sustitución de fertilizantes convencionales por productos fertilizantes alternativos y bioestimulantes.
- Reducción de los efectos adversos de las emisiones de nutrientes en los cuerpos de agua y el suelo.
- Cierre de los ciclos de agua y nutrientes en toda la cadena de valor de producción y consumo.
- Reducción de los efectos negativos sobre la salud humana.
- Creación de nuevos empleos e industrias verdes en torno a la recuperación y reciclaje de nutrientes contenidos en el agua.
- Creación de nuevas oportunidades de negocio para la industria y las PYMEs en la UE y mejora de la competitividad de las empresas el mercado global.
- Mejora de la política y las condiciones del mercado en la UE y a nivel global para el despliegue a gran escala de soluciones innovadoras para la economía circular.

Creación de evidencia que facilitan la transición hacia una economía circular en la UE.

REFERENCIAS

Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition. 2013. Ellen Macarthur Foundation. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition> .

Fertilizers Europe Annual Overview 2018-2019. Consumo total de fertilizantes minerales (N+P₂O₅+K₂O) en Europa según datos de Fertilizers Europe / Eurostat, e incluyendo productos para uso agrícola e industrial. https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2019/08/Fertilizers_Europe_Annual_Overview_2018-2019_web.pdf

UDEIGWE, T. K., TEBOH, J. M., EZE, P. N., STIETIYA, M. H., KUMAR, V., HENDRIX, J., MASCAGNI, H. J., JR, YING, T., & KANDAKJI, T. (2015). Implications of leading crop production practices on environmental quality and human health. *Journal of environmental management*, 151, 267–279. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.024>



Bioinsumos y bioeconomía circular contra el cambio climático: Alianza para la productividad, regeneración de suelos y captura de carbono en la agricultura de México, Biofábrica Siglo XXI

Paula Medina Morales ¹, Marcel Morales Ibarra ¹ y César González Monterrubio ¹

Autor de Correspondencia: paula.medina@biofabrica.com.mx

Resumen:

El cambio climático es la mayor amenaza que enfrentamos actualmente, y la producción de alimentos impacta significativamente en esta problemática, ya que se estima que una tercera parte de las emisiones GEI provienen de esta actividad¹. No obstante, la agricultura representa una solución viable a la crisis climática, debido a la capacidad del suelo para secuestrar carbono, sin embargo, esto sólo ocurre en suelos sanos². En 2022, la ONU estimaba que el 40% de los suelos del mundo están degradados³. Otro problema derivado de esta degradación es la baja productividad agrícola.

Incentivar la regeneración del suelo, no sólo permitiría obtener la productividad necesaria para satisfacer la demanda de alimentos, sino para convertir los suelos agrícolas en sumideros de carbono. Con este objetivo, Biofábrica propone un modelo de producción basado en el uso de bioinsumos y bioeconomía circular. Para impulsar su implementación a gran escala, ha promovido una alianza público-privada entre instituciones que coadyuven con apoyos económicos, financieros, capacitación, medición de resultados, entre otros. En este trabajo mostramos los resultados (productivos, económicos, uso eficiente de fertilizantes y agua, regeneración de suelo y captura de carbono) obtenidos con la aplicación del modelo en cultivos de caña de azúcar en México.

Palabras clave: agricultura, sustentabilidad, bioinsumos, bioeconomía.

Bioproducts and a circular bioeconomy to counter climate change: Alliance for productivity, soil regeneration, and carbon capture in Mexican agriculture, Biofábrica Siglo XXI

Paula Medina Morales ¹, Marcel Morales Ibarra ¹ y César González Monterrubio ¹

Abstract:

Climate change is the greatest threat we currently face. Food production has a significant bearing on this problem, as it is estimated that a third of GHG emissions come from this activity¹. Nonetheless, agriculture offers a viable solution to the climate crisis, due to the soil's capacity to capture carbon. However, this only happens in healthy soils². In 2022, the UN estimated that 40% of the world's soils are degraded³. An additional problem that arises from this degradation is low agricultural productivity.

Encouraging soil regeneration would not only favors the productivity needed to meet the demand for food, but also convert agricultural soils into carbon sinks. With this aim, Biofabrica proposes a production model based on the use of bioproducts and a circular bioeconomy. To promote large-

¹ Biofábrica Siglo XXI. México

scale implementation, it has promoted a public-private alliance between institutions that contribute economic and financial support, training, measurement of results, among other things. In this paper, we show the results (production, economic, efficient use of fertilizers and water, soil regeneration and carbon capture) obtained through the application of a model applied in sugarcane crops in Mexico.

Key Words: agriculture, sustainability, bioproducts, bioeconomy.

1. INTRODUCCIÓN

El 31 de julio de 2023, tras la confirmación científica de que ese mes fue el más caluroso de los últimos 120 000 años, el secretario general de la ONU, Antonio Guterres, declaró que “la era del calentamiento global ha terminado, ahora es el momento de la era de la ebullición global”.

El dato, confirmado por la Organización Meteorológica Mundial y el Servicio de Cambio Climático Copernicus, significa que se ha superado el límite de 1,5° C de incremento de la temperatura mundial por encima de la era preindustrial, amenazando con dejar obsoleto el Acuerdo de París, el cual persigue evitar traspasar esta barrera de forma permanente. Fue después de dicho acuerdo, en el 2015, que las Naciones Unidas estableció los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030, todas las personas disfruten de paz y prosperidad. A día de hoy, faltando poco más de 5 años para llegar al 2030, estos objetivos están muy lejos de conseguirse.

La complicación principal para alcanzar los objetivos de mantener a raya el calentamiento del planeta, es que las propias actividades humanas, son las responsables directas del deterioro ecológico, que causan, no sólo la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que calientan la atmósfera, sino de la acelerada pérdida de biodiversidad a gran escala, entre otras problemáticas igualmente alarmantes. Un claro ejemplo de esto, lo encontramos en la producción de alimentos, ya que es una de las actividades humanas que más contribuye a la degradación de los ecosistemas y el medio ambiente, impactando negativamente de distintas formas: grandes emisiones GEI; degradación de suelos; contaminación y desperdicio de agua; pérdida de biodiversidad; desperdicio de alimentos; transporte; etc.

En Latinoamérica, la agricultura genera el 26% de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y el cambio de uso de suelo (indicador que señala la deforestación realizada principalmente para la producción agropecuaria) genera el 21%⁴. Esto implica que casi la mitad de las emisiones son generadas por la producción primaria de alimentos.

Otro reto, no menor, es la pérdida de productividad agrícola debido a la degradación de los suelos. En 2022, las Naciones Unidas estimaba que hasta el 40% de los suelos del mundo están moderada o gravemente degradados³.

Asimismo, en la última edición del Informe Planeta Vivo, del World Wide Fund for Nature (WWF), que mide el cambio promedio en el tamaño de las poblaciones de más de 5,000 especies, muestra que, a escala global, han bajado un 73%, pero en Latinoamérica, la disminución es del 95% en 50 años. Esta alarmante pérdida de biodiversidad está impulsada principalmente por nuestro sistema alimentario⁵.

Sin embargo, la agricultura también representa una alternativa viable en la lucha contra el cambio climático, no sólo por el margen para reducir sus emisiones, sino por el gran potencial que tiene el suelo para secuestrar el excedente de carbono presente en la atmósfera. Según la iniciativa 4 por 1000, si lográramos aumentar el 0.4% de la materia orgánica de los suelos agrícolas del mundo, lograríamos remover gran parte del CO₂ causante del calentamiento global.

Así pues, promover la regeneración de los suelos representa una alternativa viable para que la agricultura pueda alcanzar los niveles productivos que permitan satisfacer la creciente demanda de alimentos sin necesidad de expandir más la superficie agropecuaria, y, al mismo tiempo, puede representar una solución viable contra el cambio climático, convirtiendo los suelos agrícolas del mundo en importantes sumideros de carbono.

1.1 Antecedentes

Biofábrica Siglo XXI cuenta con más de veinte años de experiencia como una empresa comprometida con el desarrollo de alternativas a la productividad y sostenibilidad agropecuaria, articulando el trabajo de la investigación científica

con la producción, en una perspectiva de mercado, ecológica y de responsabilidad social. En el año 2003, la empresa nace tras la celebración de convenios de licenciamiento tecnológico con el Centro de Investigación de Fijación de Nitrógeno (hoy Centro de Ciencias Genómicas) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), para la producción, investigación y comercialización de biofertilizantes, con base en microorganismos fijadoras de nitrógeno atmosférico, promotoras de crecimiento y fortalecimiento del sistema inmunológico, entre otras funciones.

Desde entonces, mediante el uso de la biotecnología, hemos desarrollado tecnologías basadas en microorganismos benéficos tanto para la nutrición, la regeneración física, química y biológica del suelo, como para el control biológico de plagas y enfermedades del suelo. Asimismo, hemos incorporado indicadores de evaluación, para medir, tanto impactos productivos como de sostenibilidad.

Por más de veinte años hemos trabajado en los cultivos más importantes del país. En el caso de caña de azúcar, llevamos más de quince años trabajando en el efecto de biofertilizantes microbianos más allá de la producción y productividad, conformando un modelo de evaluación que incorpora indicadores de sostenibilidad que incluyen, uso eficiente de fertilizantes y agua, regeneración física, química y microbiológica del suelo y secuestro de carbono.

Esta experiencia se remonta a un primer trabajo de validación realizado en el 2009 con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el Campo Experimental ubicado en Zacatepec, Morelos. Los resultados demostraron que el uso de biofertilizantes no solo incrementó el rendimiento de los cultivos, sino que también permitió reducir significativamente la fertilización química y los costos de producción.

Posteriormente, desde el año 2013 se comenzó un trabajo de seguimiento de y evaluación de resultados durante diez años consecutivos en una parcela ubicada en el Estado de Morelos. El trabajo consistió principalmente en el uso de fertilizantes microbianos compuestos por bacterias fijadoras de nitrógeno, promotoras de crecimiento y hongos micorrízicos, así como la reducción de la fertilización sintética utilizada por el productor, que fue desde el 50% en el primer

año (plantación), y del 30% en los años subsecuentes. Este caso fue publicado en el segundo número de la revista C3-Bioeconomy (2021).

Con este trabajo, comprobamos la capacidad de este modelo de producción para incrementar rendimientos, reducir costos de fertilización y extender la vida útil del cultivo, la cual, en la región se renueva en promedio cada cuatro años, pudiendo llevar este caso hasta los diez años de producción. Los resultados más relevantes de ese caso mostraron una producción promedio de 145 toneladas por hectárea en la parcela con biofertilizantes, mientras que en la parcela testigo (producción convencional con el 100% de fertilización sintética), fue de 102 toneladas por hectárea. Así mismo, las mediciones de sostenibilidad y regeneración de suelos hacen ver que los efectos positivos derivados de la regeneración del suelo (diversidad y cantidad de microorganismos, estructura del suelo, formación de macro agregados, etc.), se acumulan con el paso del tiempo, lo que potencia dichos efectos, no sólo a corto, sino a mediano y largo plazo.

1.1.1 Proyecto del Fondo de Impacto Bonsucro

Bonsucro es el estándar y la plataforma de productividad y sostenibilidad líder a nivel mundial para la caña de azúcar. Certifica que la producción de caña de azúcar y la cadena de suministro cumplan con requisitos de sustentabilidad que abarcan desde indicadores medioambientales (consumo de energía y agua, emisión de GEI, el uso adecuado y racional de agroquímicos); hasta indicadores sobre derechos laborales y humanos.

A mediados del 2022, Bonsucro, lanzó una convocatoria internacional denominada 'Fondo de Impacto Bonsucro', que busca dotar de recursos para apoyar proyectos colaborativos e innovadores con potencial de aplicación a gran escala, que abonen al incremento de la productividad y la sustentabilidad en la producción de caña. En dicha convocatoria, Biofábrica Siglo XXI, en conjunto con The Coca Cola Company y la Unión Nacional de Cañeros A.C. (UNC-CNPR), participó con la experiencia generada con el uso de fertilizantes microbianos y reducción de la fertilización sintética, bajo el título "Reducción del calentamiento global a través de la producción de caña de azúcar en México". A finales del 2022, nuestra propuesta fue seleccionada, iniciando actividades en

enero de 2023 en el Estado de Morelos, en los municipios de Zacatepec, Yautepec, Axochiapan y Mazatepec.

Este trabajo tiene como objetivo difundir un sistema de producción de caña de azúcar más sustentable y productivo, basado en el uso de biofertilizantes microbianos, reducción del uso de agroquímicos y mejores prácticas agrícolas, a través de la transferencia de tecnología y la colaboración entre distintos participantes de la cadena de valor (comprador final, productores primarios e industriales, instituciones financieras y empresa proveedora de insumos). Nuestra propuesta cumple con los dos requisitos fundamentales que busca el Fondo de Impacto Bonsucro: proyectos colaborativos y escalables.

Ejes principales del proyecto:

- Enfoque innovador mediante el uso de biotecnologías sustentables ampliamente estudiadas y probadas en la producción de caña de azúcar, basadas en microorganismos benéficos 100% naturales y seguros, principalmente bacterias y hongos que ayudan al proceso biológico de nutrición, desarrollo y sanidad vegetal, asimismo, actúan como potenciador de la vida del suelo, incrementando así su capacidad para secuestrar carbono de la atmósfera y convertirlo en un insumo productivo.
- Principios de bioeconomía circular, haciendo una reutilización de los residuos de la producción como la cachaza y otros subproductos resultantes del proceso de obtención del azúcar y residuos vegetales, los cuales, pueden convertirse en composta y utilizarse como una aportación de materia orgánica a los suelos agrícolas.
- Uso racional de los insumos, llevando a cabo una reducción en la aplicación de agroquímicos como fertilizantes sintéticos.
- Incorporación de mejores prácticas y tecnologías, como el uso de cosechadoras mecánicas que permiten la eliminación de la quema de la caña y la incorporación del material vegetal al suelo.

- Modelo de trabajo colaborativo que une a algunos de los principales actores de la cadena de caña de azúcar (productores, consumidor final, investigación aplicada, proveduría de insumos), para trabajar de manera conjunta en la implementación y escalabilidad de proyectos que generen un impacto positivo en la productividad y en el medio ambiente (reducir la huella de carbono mediante la disminución de emisiones GEI y un mayor secuestro de CO₂ en el suelo).
- Evaluación y seguimiento de resultados: para demostrar a los productores y demás actores involucrados en la cadena, que el modelo de producción propuesto en este proyecto efectivamente genera un impacto positivo en la sustentabilidad y la rentabilidad de la producción del cultivo.

A continuación, presentamos con mayor detalle el desarrollo de la experiencia, así como los resultados más relevantes obtenidos en el primer año del proyecto: rendimientos, ganancia del productor, regeneración de la microbiología del suelo, uso eficiente del agua, resistencia al estrés hídrico y captura de carbono.

2. MÉTODO/DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

Establecimiento de cuatro parcelas demostrativas y de evaluación de resultados, con distintos años de uso de biofertilizantes y distintas reducciones en la aplicación de fertilización química, localizadas en las zonas más representativas de producción de caña en el Estado de Morelos (zona centro de México), que abastecen los ingenios Emiliano Zapata, Casasano y Atencingo.

Tabla 1. Información de parcelas

Localización (municipio)	Nombre del productor	Superficie	Años de uso de biofertilizantes	Ingenio
Yautepec	Héctor Rojas	1.3 has	6	Casasano
Zacatepec	Jorge González	2.5 has	3	E. Zapata
Mazatepec	Heriberto Jaime	2 has	1	E. Zapata
Axochiapan	Ricardo Tepozteco	2.5 has	1	Atencingo

2.1 Materiales y método

En cada parcela se establecieron tratamientos con biofertilizantes y una reducción del fertilizante sintético (Yautepec 40%, Zacatepec 30%, Mazatepec 20%, Axochiapan 75%) dejando un área sin aplicación y con el 100% del fertilizante como parcela testigo. El resto del manejo de la parcela se mantuvo sin cambios.

Los biofertilizantes utilizados en este proyecto son dos productos innovadores de Biofábrica Siglo XXI, desarrollados con microorganismos cuidadosamente seleccionados.

1. Maxifer: inoculante bacteriano en formulación líquida compuesto por la bacteria *Azospirillum brasilense*. Su principal función es fijar nitrógeno atmosférico, transformándolo en una forma asimilable por las plantas, además de actuar como promotor del crecimiento vegetal y ayudar a fortalecer las defensas naturales de las plantas.

2. Micorrizafer Plus: biofertilizante en polvo formulado con hongos micorrízicos de la especie *Rhizophagus irregularis*. Este producto facilita la absorción de nutrientes y agua, promueve la regeneración del suelo y mejora la eficiencia en el uso de fertilizantes, incrementando la productividad del cultivo y la resistencia a la sequía.

Dosis y aplicación en caña de azúcar:

- Durante la siembra: una dosis de 1 litro de Maxifer y dos dosis de Micorrizafer Plus (1 kg cada una).
- Refuerzo: entre dos y seis semanas después de la siembra, se aplican las mismas dosis de ambos productos.

2.2 Evaluación de resultados

Las variables de respuesta evaluadas abarcan indicadores clave que representan tanto la productividad agrícola como la sostenibilidad ambiental. Entre ellas se incluyen métricas relacionadas con la productividad, así como con la sostenibilidad y la salud del suelo. Este enfoque integral proporciona una visión

completa de los beneficios del modelo de producción propuesto, considerando tanto su impacto en la producción como en el equilibrio ambiental.

- Indicadores de productividad:
 - Rendimiento (biomasa aérea -caña- y raíz).
 - Ingreso neto del productor.
- Indicadores de sustentabilidad y salud del suelo:
 - Uso eficiente de fertilizantes químicos (nitrógeno).
 - Uso eficiente del agua (biomasa producida por volumen de agua).
 - Microbiología del suelo (análisis metagenómico).
 - Materia orgánica.
 - Captura de carbono (CO₂ equivalente).

3. RESULTADOS

3.1 Productividad

3.1.1 Rendimiento (caña y raíces)

Rendimientos: En la producción de biomasa, se hicieron mediciones para comparar, tanto la parte aérea (caña), como la producción de raíz, en ambos casos se obtuvieron incrementos muy significativos. En promedio, en la producción de caña hubo un incremento del 56% y la producción de raíz, el aumento fue del 100% con respecto a las parcelas testigo (producción convencional).

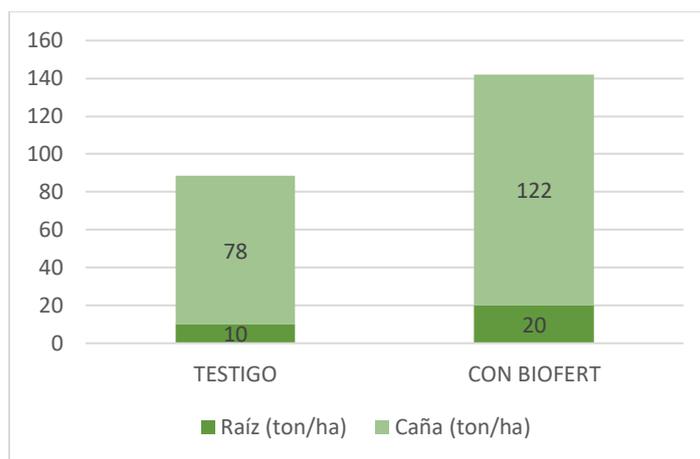


Figura 1. Resultados de rendimientos de caña y raíz (ton/ha)

3.1.2 Ingreso del productor

Ingreso de los productores: las parcelas con biofertilizantes mostraron un incremento del ingreso neto promedio del 115% con respecto a las parcelas testigo impulsado por mayores rendimientos y una disminución en la aplicación de fertilizantes químicos.

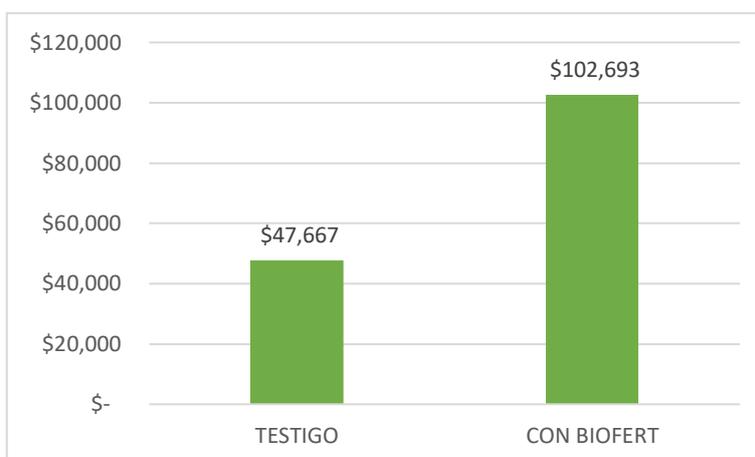


Figura 2. Resultados ingreso neto promedio (mxn/ha)

3.1.3 Uso eficiente del fertilizante sintético

Uso eficiente del fertilizante: El uso de biofertilizantes mejoró notablemente la cantidad de nitrógeno asimilado en los tejidos del cultivo de caña, como se puede ver en la figura 3, la relación del nitrógeno en el tejido de la caña con biofertilizantes se invierte en relación al testigo. En el caso del tratamiento con biofertilizantes se puede observar que el cultivo acumuló 100 kg de nitrógeno más en relación al fertilizante aplicado (281 kg de N contra 181 aplicados como

fertilizante), mientras que el testigo sólo acumuló 175 kg de N en sus tejidos mientras que en la parcela se usaron 266 kg de nitrógeno en forma de fertilizante.

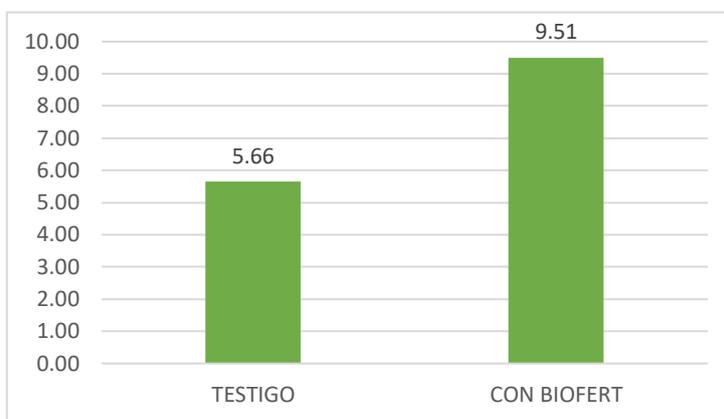


Figura 3. Nitrógeno asimilado en planta en relación al aplicado como fertilizante (kg/ha)

3.1.4 Uso eficiente del agua y resistencia al estrés hídrico

Uso eficiente del agua y resistencia al estrés hídrico: El impacto de los biofertilizantes en la eficiencia del uso del agua y la resistencia al estrés hídrico está ampliamente respaldado por la literatura científica. En este estudio, las parcelas tratadas con biofertilizantes lograron producir, en promedio, 3.85 kilogramos adicionales de caña por metro cúbico de agua utilizada en comparación con las parcelas testigo.

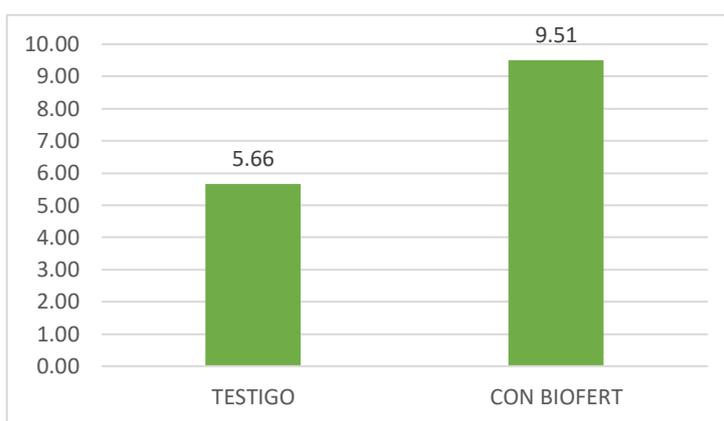


Figura 4. Eficiencia en el uso del agua (kg caña/m³ agua)

Un aspecto destacado fue la notable mejora en la resistencia a la sequía, especialmente evidente durante 2023, uno de los años más secos registrados en México y en el estado de Morelos. En Mazatepec, por ejemplo, la disponibilidad

de agua en el pozo de riego se redujo drásticamente, limitando los riegos de 10 a 4 aplicaciones. Este contexto adverso permitió observar con mayor claridad las diferencias entre los tratamientos. En la parcela testigo, los efectos del estrés hídrico fueron particularmente severos, como se muestra en la fotografía tomada el 20 de julio (figura 5), el punto más crítico de la sequía.



Figura 5. Diferencia entre parcela testigo y con biofertilizantes (Mazatepec, Morelos, Junio 2023)

Adicionalmente, una imagen satelital del campo Los Vicentes (figura 6) confirmó estas observaciones mediante el Índice de Clorofila de Borde Rojo (RECI). Este indicador mostró niveles más altos de clorofila (representados en verde) en las parcelas biofertilizadas, mientras que las parcelas testigo presentaron niveles significativamente bajos (marcados en rojo), evidenciando la superioridad de los tratamientos biofertilizantes para mitigar los efectos de la sequía y optimizar el uso de recursos hídricos.

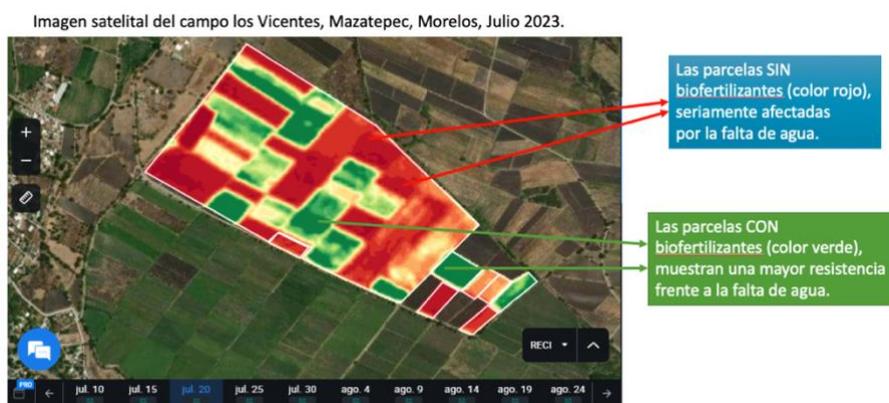


Figura 6. Imagen satelital que muestra el Índice de Clorofila de Borde Rojo (RECI)

3.2 Regeneración del suelo y captura de carbono

3.2.1 Materia orgánica (MO)

Materia Orgánica (MO): El uso de biofertilizantes permitió un aumento significativo en el contenido de materia orgánica del suelo, con un incremento del 18%. En las parcelas tratadas, el contenido de materia orgánica pasó de 92 toneladas por hectárea en el testigo (considerando los 30 cm superiores del suelo) a 109 toneladas por hectárea. Este incremento es fundamental para mejorar la captura de carbono en el suelo, ya que la materia orgánica actúa como el principal reservorio de carbono orgánico almacenado. En promedio, se estima que la materia orgánica del suelo está compuesta por un 58% de carbono orgánico, lo que resalta la importancia de su aumento para promover prácticas agrícolas sostenibles y mitigar el cambio climático.

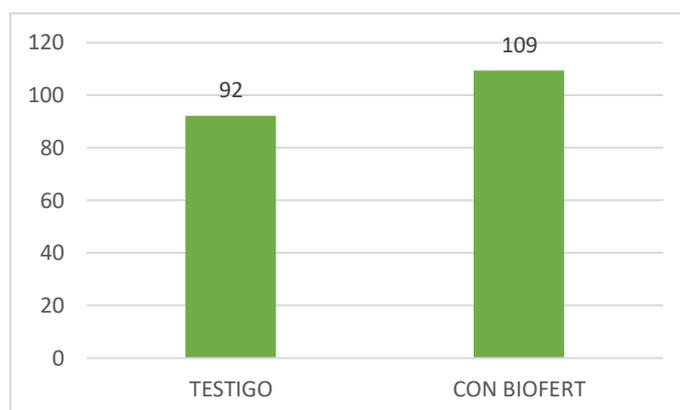


Figura 7. Materia orgánica del suelo (ton/ha)

3.2.2 Vida microbiana

Vida microbiana: En este análisis realizado con la tecnología BeCrop® de la empresa Biome Makers, se realizaron perfiles microbianos procariotas (secuenciación del amplicón 16S) y eucariotas (secuenciación del amplicón ITS), en muestras de suelo de caña de azúcar en 4 áreas, cada una dividida en una zona testigo (manejo convencional) y una zona tratada con biofertilizantes de Biofábrica Siglo XXI. La finalidad de estos análisis es entender si la aplicación de biofertilizantes mejora el microbioma del suelo. Los resultados muestran que la aplicación prolongada de biofertilizantes parece aumentar significativamente la diversidad y composición del microbioma del suelo, lo que se traduce en un mayor rendimiento del cultivo. Este efecto es más pronunciado

en las parcelas que han recibido biofertilizantes durante más tiempo, en comparación con las parcelas que solo han tenido un año de aplicación. También se encontró que la aplicación de biofertilizantes parece aumentar especialmente los índices relacionados con la producción de fitohormonas, la adaptación al estrés y la disponibilidad de macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio). Esto indica que los biofertilizantes no sólo mejoran la biodiversidad del suelo, sino que también potencian su capacidad para soportar condiciones adversas y optimizar la absorción de nutrientes esenciales para el crecimiento de los cultivos.

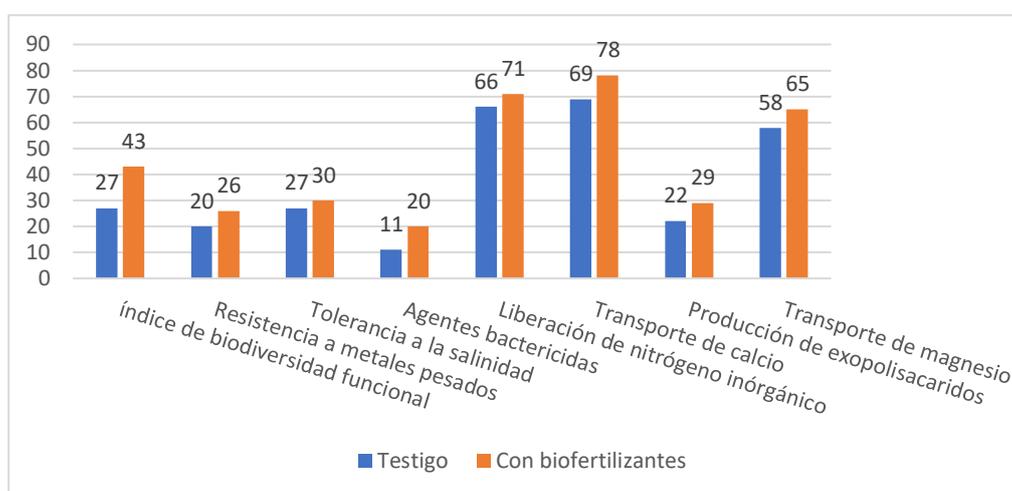


Figura 8. Indicadores funcionales asociados a la abundancia de microorganismos que han mostrado mejoras entre las prácticas con biofertilizantes y las prácticas convencionales, obtenidos a través del análisis metagenómico del suelo

3.2.3 Secuestro de Carbono

Secuestro de Carbono: La gráfica (figura 9) ilustra el efecto positivo del uso de biofertilizantes en la captura de carbono en el suelo, medida en toneladas de CO₂ equivalente por hectárea. Mientras que el tratamiento testigo presentó una cantidad de 239 toneladas por hectárea, el tratamiento con biofertilizantes alcanzó 290 toneladas por hectárea, esto representa una diferencia de 51 toneladas de CO₂ equivalente extra en el tratamiento con Biofertilizantes. Este resultado está directamente relacionado con el aumento del contenido de materia orgánica en el suelo, ya que aproximadamente el 58% de su composición corresponde a carbono orgánico almacenado. La mejora en la captura de carbono no solo refleja el potencial de los biofertilizantes para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también

evidencia su contribución al desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles y resilientes.

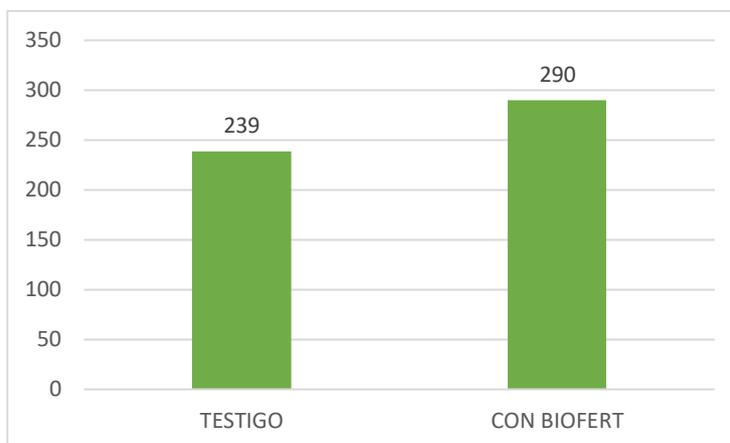


Figura 9. CO₂ eq (ton/ha)

3.3 Estrategia de masificación: alianza para lograr los objetivos

Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la ONU, el número 17 se refiere a las Alianzas para lograr los objetivos, y hace referencia a que “los Objetivos de Desarrollo Sostenible solo se pueden lograr con el compromiso decidido a favor de alianzas mundiales y cooperación”.

En este sentido, Biofábrica ha promovido una alianza público-privada en México, compuesta por instituciones que coadyuven a la aplicación de los distintos componentes del modelo descrito en el punto anterior, mediante apoyos económicos, financiamiento, capacitación y asistencia técnica, medición de resultados, difusión, etc. Algunas de las instituciones que forman parte de esta alianza son: el Instituto Interamericano de Cooperación Agrícola (IICA), la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), Syngenta, la Unión Nacional de Cañeros (UNC-CNPR), Bonsucro (estándar mundial de producción de caña de azúcar sustentable), Biome Makers (empresa de análisis metagenómico del suelo), ingenios y grupos azucareros.

Actualmente se está conformando un programa piloto en los Estados de Morelos y Quintana Roo, donde, además de las instituciones mencionadas anteriormente, se suma la participación de los gobiernos estatales,

universidades e instituciones de investigación, organizaciones de productores locales, gobiernos municipales, entre otros.

Paralelamente se plantea llevar a cabo proyectos que permitan la emisión de bonos de carbono, lo que supone un incentivo para sumar al proyecto a un mayor número de productores, así como el escalamiento hacia otros cultivos de relevancia económica y social.

4. CONCLUSIONES

La producción de alimentos es una de las actividades que más contribuyen al deterioro de los ecosistemas, pues libera grandes emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, provoca la degradación de los suelos, y es la principal responsable de la pérdida de biodiversidad en el mundo. Sin embargo, si incentivamos la regeneración de los suelos, la agricultura representa una oportunidad en la solución a la crisis climática, debido a que los suelos regenerados tienen un gran potencial para secuestrar el excedente de CO₂ que se encuentra presente en la atmósfera, causante del llamado calentamiento global.

Los resultados de este trabajo muestran que la implementación de prácticas de agricultura regenerativa incrementa la productividad y la sostenibilidad en la producción de alimentos. Para lograr acelerar y masificar este proceso, una de las herramientas más efectivas es el establecimiento de alianzas que fomenten la cooperación entre el sector público y privado, sumando esfuerzos de organizaciones, instituciones y sociedad civil, que coadyuven a la implementación de modelos de producción más sostenibles, rentables y resilientes, como el propuesto en el presente trabajo.

REFERENCIAS

1. PROGRAMA PARA EL MEDIO AMBIENTE ONU (2021). Debemos Transformar el Sistema Alimentario Mundial para Frenar la Pérdida de Biodiversidad.

Recuperado de:

<https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/debemos-transformar-el-sistema-alimentario-mundial-para#:~:text=Los%20impactos%20de%20producir%20m%C3%A1s,emisiones%20producidas%20por%20el%20hombre.>

2. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (2015). Los Suelos Ayudan a Combatir y Adaptarse al Cambio Climático.

Recuperado de:

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/27afefc7-e73e-4c91-ba7d-cd113115cf7a/content>

3. NACIONES UNIDAS (2024). Nuestras Tierras. Nuestro Futuro.

Recuperado de:

<https://www.un.org/es/observances/environment-day#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20Convenci%C3%B3n%20de%20las,mitad%20de%20la%20poblaci%C3%B3n%20mundial.>

4. GRUPO BANCO MUNDIAL, Hoja de Ruta para la Acción Climática en América Latina y el Caribe 2021-2025

Recuperado de:

<https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/1a7421c1-fa2b-58b9-b2ed-b8f6e07bf392/content>

5. World Wide Fund for Nature, WWF (2024). Informe Planeta Vivo 2024.

Recuperado de:

<https://www.wwf.org.mx/?391453/Informe-Planeta-Vivo-2024>

PAGINAS WEB CONSULTADAS

<https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

<https://efeverde.com/nuevo-informe-planeta-vivo-wwf/>

<https://4p1000.org/>