

**Análisis del potencial de transformación de lactosuero en Galactooligosacaridos
(GOS) como una estrategia de valorización para el control de residuos lácteos: Revisión
sistemática de literatura**

John Jairo Vargas Guapacha

Directora

María Isabel Páez Valencia MSc.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Ingeniería de Alimentos

2026

Resumen

La industria láctea se encuentra en constante evolución tecnológica para brindar a sus clientes nuevas respuestas frente a sus necesidades, como lo son la nutrición (calcio, vitaminas, proteínas), la salud y el bienestar a lo largo de la vida. Sin embargo, enfrenta un desafío crítico en la gestión del lactosuero, un subproducto que representa entre el 85% y el 90% del volumen de leche procesada y que, debido a su elevada Demanda Biológica y Química de Oxígeno, constituye un contaminante severo si no se trata adecuadamente. El presente trabajo de grado, desarrollado bajo la modalidad de monografía, tiene como objetivo analizar el potencial de transformación del lactosuero en Galactooligosacaridos (GOS) como una estrategia de valorización y control de residuos. Para ello, se ejecutó una Revisión Sistemática de Literatura (RSL) siguiendo la metodología PRISMA, consultando bases de datos como Scopus, PubMed y ScienceDirect, lo que permitió seleccionar y analizar 45 estudios relevantes. Los hallazgos indicaron que es posible convertir el suero en GOS mediante la reacción de transgalactosilación catalizada por la enzima β -galactosidasa. Se identificó que variables como la fuente enzimática (fúngica o de levaduras), el pH, la temperatura y la concentración de lactosa son determinantes para optimizar el rendimiento del proceso y evitar la hidrólisis simple. Asimismo, se evidenció que la incorporación de GOS en matrices lácteas se alinea con la normativa colombiana (Resolución 3096 de 2007 del INVIMA), permitiendo declaraciones de propiedades en salud y fomentando la economía circular. Se concluye que la producción de GOS a partir de lactosuero es una alternativa tecnológica viable que mitiga el impacto ambiental y genera valor agregado, aunque enfrenta barreras económicas por la importación de tecnologías y enzimas en el contexto local.

Palabras clave: Galactooligosacaridos, prebióticos, β -galactosidasa, Postbiotico, trasgalactosilación.

Abstract

The dairy industry is continually evolving technologically to offer its customers new solutions to their needs, such as nutrition (calcium, vitamins, proteins), health, and lifelong well-being. However, it faces a critical challenge regarding whey management, a by-product representing between 85% and 90% of the processed milk volume. Due to its high Biological and Chemical Oxygen Demand, it constitutes a severe pollutant if not adequately treated. This degree project, developed as a monograph, aims to analyze the potential of transforming whey into Galactooligosaccharides (GOS) as a valorization and waste control strategy. To this end, a Systematic Literature Review (SLR) was conducted following the PRISMA methodology, consulting databases such as Scopus, PubMed, and Science Direct, enabling the selection and analysis of 45 relevant studies. The findings indicated that converting whey into GOS is possible through the transgalactosylation reaction catalyzed by the enzyme β -galactosidase. Variables such as the enzymatic source (fungal or yeast), pH, temperature, and lactose concentration were identified as crucial for optimizing process yield and preventing simple hydrolysis. Furthermore, it was evidenced that incorporating GOS into dairy matrices aligns with Colombian regulations (INVIMA Resolution 3096 of 2007), allowing for health claims and promoting a circular economy. It is concluded that GOS production from whey is a viable technological alternative that mitigates environmental impact and generates added value, although it faces economic barriers regarding the importation of technologies and enzymes in the local context.

Keywords: Galactooligosaccharides, prebiotics, β -galactosidase, Postbiotic, transgalactosylation.

Tabla de Contenido

Introducción.....	3
Justificación.....	5
Objetivos.....	7
Objetivo General.....	7
Objetivos específicos.....	7
Planteamiento del Problema.....	8
Pregunta de Investigación.....	10
Marco Teórico.....	11
La industria Láctea y la Generación de Residuos.....	11
Lactosuero.....	12
Composición Química del Suero.....	12
El Lactosuero como Contaminante.....	14
Antecedentes del Lactosuero para GOS.....	15
Galactooligosacaridos.....	16
Beneficios de los GOS.....	16
Transformación del Suero en GOS.....	17

Factores que Afectan el Rendimiento en la Producción de GOS	18
Marco Conceptual	19
Lactosa	19
Lactasa	19
β - galactosidasa	20
Lactosuero.....	20
Impacto Ambiental.....	21
Seguridad Alimentaria	21
Transgalactoosilación.....	21
Permeado.....	23
Retentado	23
Ultrafiltración	24
Nanofiltración.....	24
Microfiltración.....	24
Prebiótico	25
Postbiotico	25
Probióticos	25

Metodología.....	27
Tipo de Investigación.....	27
Bases de Datos Consultadas	27
Estrategia de Búsqueda de la Información y Ecuaciones	27
Criterios de Inclusión y Exclusión de Artículos.....	28
Criterios de Inclusión	28
Criterios de Exclusión	28
Proceso de Selección y Extracción de Datos (Metodología PRISMA)	29
Síntesis y Análisis de la Información.....	31
Organización de la Información	31
Fichaje y Registro Sistemático	31
Comparación de la Información	31
Capítulo 1. Características Fundamentales de los Galactooligosacáridos (GOS), su Estructura Química, los Principales Métodos de Producción Biotecnológica y sus Mecanismos de Acción Prebiótica.....	32
Definición y Estructura Química de los GOS	32
Producción biotecnológica de GOS en la elaboración de alimentos.....	33
Parámetros que Alteran el Rendimiento de GOS	35
Concentración	35

Temperatura.....	35
Ph.....	35
Tipo y Origen de la β - Galactosidasa.....	35
Presencia de aceptores de galactosa.....	35
Tiempo de Reacción.....	35
Forma de Inmovilización Enzimática.....	35
Mecanismos de Acción Prebiótica de los GOS.....	36
Prebiótico.....	36
Tipos de Prebióticos.....	36
Frútanos.....	36
Galactooligosacaridos.....	37
Almidón y Oligosacáridos Derivados de la Glucosa.....	37
Otros Oligosacáridos.....	37
Fermentación de Prebióticos.....	37
 Capítulo 2. Aplicaciones Tecnológicas de los Galactooligosacáridos en la Industria Láctea como una Estrategia de Valorización para la Gestión del Impacto Ambiental del Lactosuero.....	
Lactosuero.....	39
Aplicaciones Tecnológicas de los GOS en la Industria Láctea.....	39
Influencia de los GOS en las Características Sensoriales y la Vida Útil de los Productos Lácteos.....	44

Influencia de los GOS en las Características Sensoriales:	45
Influencia de los GOS en la Vida Útil de los Productos	46
Capítulo 3. Panorama Actual de Galactooligosacaridos, Aspectos Regulatorios y Tendencias del Mercado.....	48
Aspectos Regulatorios.....	48
Estado de los GOS como Ingrediente Funcional.....	48
Consideraciones Claves del INVIMA	48
Rotulado y Contexto de Dieta.....	48
Asociación Prebióticos en Formulas	49
Prohibición de Términos	49
Función Principal Prebiótico.....	49
Aplicaciones Comunes.....	50
Formulas Infantiles	50
Otros Alimentos y Suplementos	50
Regulaciones de Claims o Declaraciones	50
Declaraciones de Propiedades Nutricionales	51
Declaraciones de Propiedades en Salud	51
Tendencias Actuales del Mercado de GOS en Colombia	54
La Inclusión de GOS en Alimentos de Consumo Masivo	54

	10
Liderazgo de Marcas Consolidadas.....	54
Segmento Lácteo Funcional.....	54
Nutrición Infantil Avanzada	55
Auge de los Simbióticos (Prebióticos y Probióticos)	55
Enfoque en Inmunidad y Digestión.....	55
Suplemento Dietarios Innovadores.....	55
Retos Principales	57
Dependencia de la Importación y Costos.....	57
Volatilidad del Tipo de Cambio	57
Discusión	58
Síntesis de los Hallazgos.....	58
Fundamentos de Producción de GOS, Estructura, Producción y Mecanismos de Acción,.....	58
Estructuras Químicas.....	58
Producción Biotecnológica Transformación de la Lactosa.....	58
Enzima Clave β -Galactosidasa	59
Mecanismos de Acción	59
Mecanismo de Acción Prebiótica Alimento Selectivo.....	59
Desafíos y Barreras para la Implementación a Escala Industrial	60

Falta de Desarrollo Tecnológico Local	61
Barreras Económicas Logísticas.....	61
Competencias de Alternativas más Económicas	62
Barreras Regulatorias y de Mercados	62
Restricciones de Reclamaciones INVIMA	62
Proceso de Registro Lento	62
Baja Concientización del Consumidor.....	62
Ventajas de Producción de GOS	63
Ventajas Competitivas del GOS (Alto Valor Nutricional)	63
Ventajas Estratégicas y Regulatorias	64
Limitaciones en la Literatura Actual y Futuras Líneas de Investigación.....	65
Vacíos Producción Tecnológica y Química.....	65
Vacíos Clínicos y Mecanismos de acción.....	66
Conclusiones.....	67
Referencias Bibliográficas.....	68

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Composición promedio de los lactosueros dulces y ácidos derivados de la elaboración de queso.</i>	13
Tabla 2 <i>Aplicaciones tecnológicas de los GOS en la industria láctea</i>	41
Tabla 3 <i>Normatividad específica aplicable en Colombia para GOS</i>	52
Tabla 4 <i>Sector lácteo involucrado con alimentos (GOS) en Colombia.</i>	56

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Estructura química del GOS</i>	17
Figura 2	<i>Esquema de la hidrolisis y transglicosilación de la β - galactosidasa</i>	23
Figura 3	<i>Diagrama de flujo PRISMA para el proceso de revisión sistemática de literatura.</i>	30

Introducción

De acuerdo con la Federación Colombiana de Ganaderos, en el año 2023 la producción de leche en el país alcanzó un volumen de 7.114 millones de litros. Esta producción se concentra principalmente en los departamentos de Antioquia, Córdoba, Cundinamarca, Caquetá y Boyacá. Una fracción significativa de la leche se destina a la industria quesera, donde se estima que aproximadamente entre el 10-12% se destina para la producción de queso y el 88 – 90% restante se genera como lactosuero. Carulla (2024).

Este subproducto dominante de la industria láctea, también conocido como suero, plantea grandes desafíos ambientales y económicos para su gestión. El suero es la fase sérica de la leche que se obtiene tras la precipitación de la caseína (proteína) y la eliminación de la grasa; a pesar de ser un desecho, contiene cerca del 55% de los nutrientes totales de la leche, principalmente lactosa y minerales solubles (Nishigandha & Singh, 2024).

La problemática ambiental del lactosuero radica en su alta Demanda Biológica de Oxígeno (DBO > 30.000 ppm) y Demanda Química de Oxígeno (DQO > 60.000 ppm), lo que lo convierte en un contaminante severo si no se trata adecuadamente y aunque se estima que el 50% del suero se reutiliza en diversos subproductos, el 50% restante se elimina como residuo (Nishigandha, 2024). Es precisamente en este contexto de desperdicio donde la valorización del lactosuero, mediante su transformación en productos de alto valor como los Galactooligosacáridos (GOS), emerge como una estrategia fundamental para contribuir a la sostenibilidad del ecosistema.

La industria láctea ha experimentado una transformación significativa, impulsada por la creciente demanda de productos funcionales que no solo satisfacen las necesidades

nutricionales de los consumidores, sino que también aportan beneficios para la salud Muñoz (2018).

Los Galactooligosacaridos (GOS) son carbohidratos no digeribles clasificados como prebióticos que promueven la mejora de la salud intestinal (Contexto ganadero, 2024). Estos estimulan selectivamente el crecimiento y la actividad de bacterias beneficiosas en el tracto intestinal, como los *Lactobacilos* y *Bifidobacterias* contribuyendo a fortalecer el sistema inmune y prevenir enfermedades gastrointestinales (Abdaltef et al. 2024)

Esta transformación representa una estrategia sostenible que integra salud, innovación, economía circular y cuidado ambiental.

Por lo tanto, se hace necesario realizar una Revisión Sistemática de Literatura para recopilar, filtrar y sintetizar la evidencia científica disponible. Este proyecto tiene como objetivo analizar el potencial de la transformación de lactosuero en Galactooligosacaridos (GOS) como una estrategia de valorización.

Justificación

En Colombia el sector lácteo es de gran importancia para la economía nacional. Actualmente representa el 0,83 % del PIB del país, el 9,1 % del PIB del sector agrícola, y el 24,3 % del PIB del sector ganadero, generando más de 700.000 empleos. Gómez (2023).

Pese a la magnitud del sector, son pocas las empresas que invierten e implementan las tecnologías necesarias para la disposición y aprovechamiento del lactosuero, debido a los altos costos de inversión; causando que, además de ser un problema ambiental debido al poder contaminante, también, se desaprovecha un subproducto que podría generar un impacto económico en las empresas lácteas y mejorar la salud de la población colombiana.

El lactosuero posee componentes nutricionales como proteínas de alto valor biológico, minerales, vitaminas y lactosa, lo que lo convierte en un subproducto de gran interés para la industria láctea innovadora.

En este contexto, la transformación de lactosuero en Galactooligosacáridos (GOS) se presentan como una oportunidad para dar valor agregado al suero lácteo ya que permite obtener un subproducto que genera bienestar al consumidor, minimiza el impacto ambiental e implementa el desarrollo agrícola sostenible. Desde el punto de vista nutricional los oligosacáridos (GOS) actúan como prebióticos, estimulando selectivamente el crecimiento y la actividad de bacterias beneficiosas en el tracto intestinal, como los Lactobacilos y Bifidobacterias. Esto contribuye a fortalecer el sistema inmune y prevenir enfermedades gastrointestinales Abdaltes et al. (2024)

De acuerdo con las Naciones Unidas (2018), la transformación de lactosuero en GOS (Galactooligosacáridos), responde directamente a la necesidad de generar procesos productivos sostenibles, ya que convierte un subproducto de alto poder contaminante en un

ingrediente funcional de alto valor agregado, en primer lugar se contribuye al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 12 (producción y consumo responsable), ya que, se fomenta la economía circular dentro de la industria láctea, reduciendo el desperdicio y aprovechando al máximo los recursos derivados de la leche; así mismo impacta el ODS 3 (salud y bienestar), dado que los GOS actúan como prebióticos que promueven la salud intestinal y fortalecen el sistema inmunológico, favoreciendo la nutrición de la poblaciones vulnerables como niños y adultos mayores, también, contribuye al cumplimiento del ODS 9 (industria, innovación e infraestructura) porque este proceso requiere de aplicación de biotecnologías avanzadas (enzimas, fermentación, filtración por membrana), incentivando la innovación en el sector agroindustrial y abriendo nuevas oportunidades de mercado en alimentos funcionales y suplementos y, de manera indirecta, se fortalece el ODS 6 (agua limpia y saneamiento) y el ODS 13 (acción por el clima), debido a que el vertimiento de lactosueros será menor disminuyendo la carga contaminante sobre los ríos y fuentes hídricas, evitando procesos de eutrofización y liberación de gases de efecto invernadero.

Esta transformación representa una estrategia sostenible que integra salud, innovación, economía circular y cuidado ambiental. Por lo tanto, realizar una revisión sistemática de literatura que analice el potencial de transformación de lactosuero en GOS permitirá consolidar la evidencia científica disponible. Este análisis servirá como base para impulsar la valorización de este subproducto y fomentar estrategias efectivas para el control de residuos en la industria láctea.

Objetivos

Objetivo General

Analizar el potencial de la transformación de lactosuero en Galactooligosacáridos (GOS) como estrategia de valorización para el control de residuos lácteos

Objetivos Específicos

Describir las características fundamentales de los Galactooligosacáridos (GOS), su estructura química, los principales métodos de producción biotecnológica y sus mecanismos de acción prebiótica.

Evaluar las aplicaciones tecnológicas de los Galactooligosacáridos (GOS) en la industria láctea como una estrategia de valorización para la gestión del impacto ambiental del lactosuero.

Examinar el panorama actual de Galactooligosacáridos abordando aspectos regulatorios y las tendencias del mercado que impulsan su incorporación en alimentos funcionales.

Planteamiento del Problema

La seguridad alimentaria en Colombia, en el contexto actual, se ha convertido en una preocupación fundamental en todo el territorio nacional. Fortalecer la política de seguridad alimentaria en Colombia a través de la disponibilidad, acceso y nutrición a través del consumo de la leche y sus derivados, en atención al desarrollo sostenible hambre cero, partiendo de los programas, alimentación escolar, son parte de los desafíos que debemos seguir trabajando de manera articulada. Programa Mundial de alimentos (2023)

En Colombia, el queso se consolida como el producto lácteo más importante, combinando facilidad de producción, tradición cultural, accesibilidad económica y un fuerte arraigo en la dieta diaria (Gómez & Sánchez, 2018); Silvestri (2025). De los 7.700 millones de litros de leche producidos anualmente, la industria formal procesa 3.300 millones, destinando 1.155 millones de litros exclusivamente a la fabricación de queso. Como consecuencia directa, se genera una alta producción de lactosuero, que representa entre el 85 % y el 90 % de cada litro de leche procesada.

A pesar de que el lactosuero posee un contenido significativo de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales susceptibles de aprovechamiento, su gestión es un desafío crítico. El lactosuero constituye un efluente de alto impacto ambiental debido a su elevada DBO (35.000 – 45.000 mg/L) y DQO (60.000 – 80.000 mg/L). Cuando no es tratado correctamente, su vertimiento disminuye drásticamente la concentración de oxígeno en los afluentes donde es vertido.

La industria ha intentado valorizar el lactosuero, principalmente enfocándose en la producción de lactosuero en polvo, WPC (Whey Protein Concentrate – concentrado de proteína de suero), WPI (Whey Protein Isolate – Aislado de proteína de suero), ya que estos

tienen alta demanda y rentabilidad. Sin embargo, se genera un permeado compuesto mayoritariamente por lactosa que sigue siendo un residuo problemático.

La lactosa, según (Gómez & Sánchez, 2018), representa el 4,8 % del lactosuero y se considera un compuesto no comercial debido a su bajo valor económico, a su mercado reducido debido a que sus características fisicoquímicas y sensoriales limitan su uso directo. Se suma la intolerancia a este compuesto que afecta la salud del sistema digestivo a un 70 % de la población mundial, abriendo una oportunidad para la obtención de otros productos como los Galactooligosacaridos (GOS), prebióticos en forma de fibras dietarias que benefician la flora intestinal.

A pesar de esta clara oportunidad de valorización (convertir un residuo contaminante en un ingrediente funcional de alto valor), en este sector industrial son pocas las empresas que invierten e implementan las tecnologías necesarias para la disposición y aprovechamiento del lactosuero como subproducto del queso, debido a los altos costos de inversión; causando problema ambiental de alto impacto.

Si bien se identifica que el sector lácteo aprovecha parte del suero que produce, la falta de diseños optimizados no permite un aprovechamiento integral. Esta deficiencia impide visualizar otros usos y recuperar material valioso de los residuos, como la lactosa, la cual representaría una clara alternativa para la obtención de productos de alto valor agregado, como los Galactooligosacaridos (GOS).

Por lo tanto, el problema central de esta investigación es la falta de una síntesis estructurada y crítica de la literatura científica que analice el potencial de la transformación de lactosuero en GOS como una estrategia de valorización y control de residuos en el contexto agroindustrial.

Pregunta de Investigación

¿La revisión de literatura científica del aprovechamiento de suero lácteo, permitirá aportar información relevante sobre el potencial de transformación de lactosuero en GOS como estrategia de valorización para el control de residuos lácteos?

Marco Teórico

La industria Láctea y la Generación de Residuos

La leche de vaca se consume diariamente como alimento. En 2022, el valor mundial del lácteo se estimó en 893 millones de dólares y se proyecta que alcance 1243 mil millones de dólares para el 2028. Este producto se presenta de diversas formas, incluyendo leche fresca, en polvo y procesada, que conlleva a un aumento en la generación de residuos lácteos, que pueden dividirse en efluentes (aguas residuales y residuos sólidos (lodos)). Estos residuos se generan en diversas etapas, incluyendo la producción, el procesamiento, el envasado y el transporte de los productos terminados. Cuando estas aguas residuales se vierten en cuerpos de aguas, su contenido orgánico agota el oxígeno disuelto perjudicando la vida acuática y el medio ambiente debido a una capa superficial creada en los cuerpos de agua por los efluentes grasos y oleosos, impidiendo que el oxígeno llegue a las plantas y animales acuáticos. Debido a la elevada carga orgánica de los residuos de la industria láctea, estos exigen un tratamiento adecuado antes de su eliminación; esto representa un gran desafío debido a los elevados costos y la complejidad de los procesos involucrados. Por lo anterior, la valoración de los residuos es una solución fundamental en los paradigmas de sostenibilidad contemporáneos, cuyo objetivo es reutilizar los materiales de desecho para convertirlos en productos valiosos, fomentando la economía circular y mitigando la degradación ambiental.

Las consecuencias ambientales de los residuos lácteos pueden ser perjudiciales, ya que contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), lo que a su vez aumenta el calentamiento global, los métodos biológicos, como la digestión anaeróbica y la fermentación, utilizan microorganismos para descomponer los residuos lácteos, la

utilización de estas técnicas de valorización de residuos puede contribuir con un ambiente más seguro (Udourioh & Solomon, 2025).

Lactosuero

Es una sustancia líquida, obtenida por la separación del coágulo de la leche en la elaboración del queso y otros productos lácteos, la caseína representa aproximadamente el 85 – 90% del volumen total de la leche utilizada y contiene cerca del 55% de sus nutrientes sólidos, contiene principalmente lactosa y galactosa, ácido láctico y proteínas de suero y minerales (Limnaios & Tsevdou, 2024).

Composición Química del Suero

En la Tabla 1 se muestra la composición promedio del lactosuero, este puede clasificarse en ácido y dulce, cuyas diferencias composicionales dependen del método de coagulación utilizado mediante la producción de queso. El lactosuero dulce, generado por coagulación enzimática, presenta un pH mayor a 6,0, baja acidez y niveles moderados de proteína y minerales. En contraste, el lactosuero ácido, producido por fermentación láctica o acidificación directa, exhibe un pH menor a 4,5, una concentración elevada de ácido láctico y un mayor contenido de minerales como calcio, fósforo y cenizas totales debido a la subilización de las micelas de caseína en condiciones ácidas, ambos contienen cantidades similares de lactosa y grasa, el suero ácido presenta menor nivel de proteína, parte de ellas se precipitan mediante la acidificación (Arias & Escobar, 2021).

Composición promedio de los lactosueros dulces y ácidos derivados de la elaboración de queso.

Tabla 1

Composición promedio de los lactosueros dulces y ácidos derivados de la elaboración de queso.

Componente	Lactosueros dulces (g/kg de lactosuero)	Lactosueros ácidos (g/kg de lactosueros)
Materia seca	55 - 75	55 - 65
Lactosa	40 - 50	40 - 50
Grasa bruta	0 - 5	0 - 5
Proteína bruta	9 - 14	7 - 12
Cenizas	4 - 6	6 - 8
Calcio	0,4 - 0,6	1,4 - 1,6
Fosforo (fosfato g/l)	0,4 - 0,7 (1,0 - 3,0)	0,5 - 0,8 (2,0 - 4,5)
Potasio	1,4 - 1,6	1,4 - 1,6
Cloruros	2,0 - 2,2	2,0 - 2,2
Ácido láctico	0 - 0,3	7 - 8
PH	>6,0	<4,5
Grados dornic	<20	>50

Nota: Esta tabla muestra la composición promedio de los lactosueros dulces y ácidos derivados de la elaboración de queso. *Fuente:* (Arias & Escobar, 2021)

El Lactosuero como Contaminante

La industria láctea actualmente es considerada como una de las más contaminantes, tanto por el vertimiento de sus residuos al medio ambiente como por las características intrínsecas que esta posee. Se estima que por cada litro de leche procesado se generan de 0,2 a 10 litros de agua residuales. La composición y caudal de estas aguas varían dependiendo del tipo de producto lácteo elaborado. Por esta razón, la calidad de estas aguas residuales es determinante para la protección del medio ambiente e incluso en la salud pública. Lizárraga et al. (2023).

En Colombia, se procesan 7700 millones de litros de leche para la producción nacional. De este volumen se estima que entre el 85 y 90%, se convierte en lactosuero. de no ser procesado industrialmente, será arrojado a una fuente hídrica, representando una amenaza a la salud humana, a la biodiversidad y al ecosistema en general, este residuo vertido a fuentes hídricas estimula el crecimiento desmedido de maleza acuática, como los lirios, desencadenado el fenómeno de eutrofización, donde se produce el aumento de nutrientes, y el bloqueo al paso de la luz causando la disminución del oxígeno disuelto en el agua, dando lugar a condiciones anaerobias, que tienen como consecuencia la generación de malos olores y la reproducción de insectos perjudiciales para la salud pública, como los mosquitos transmisores del dengue, chikunguña, zika, fiebre amarilla, malaria, esto ayuda a la muerte de la flora y fauna acuática (Arango & Ramírez, 2022).

Componentes del suero como la lactosa, sales orgánicas y grasa provocan efectos desfavorables como la turbidez del agua, pH ácido, la generación de sólidos disueltos y en suspensión, así como la alta demanda química de oxígeno (DQO), y la demanda biológica de oxígeno (DBO), cuando estas proteínas son descargadas en el agua, las bacterias

producidas bajo estas condiciones pueden transformar las proteínas en compuestos inorgánicos como el amonio, amoniaco, nitritos, nitratos, generando toxicidad como la nitrificación que en los humanos hace que el transporte de oxígeno en la sangre sea inadecuado (Arango & Ramírez, 2022).

Antecedentes del Lactosuero para GOS

En la producción de queso solo el 30% de los residuos generados se aprovecha como alimento para animales, mientras que el 70% restante se desecha y una gran proporción va a parar a afluentes de agua. El uso de este lactosuero está prohibido en la regulación colombiana, este producto fue utilizado por el ingeniero químico Daniel Oliveros Pineda, magister de ingeniería química de la Universidad Nacional de Colombia (UNAL), para producir unos compuestos conocidos como GOS que actúan como prebióticos debido a su uso como alimento para la flora intestinal. Su investigación se basó en el uso de enzimas (proteínas) aisladas de los hongos *Aspergillus Oryzae*, conocido comúnmente como koji, empleado en la cocina china con fines alimentarios, y *Aspergillus Níger* que suele producir un hongo negro en las verduras, la enzima seleccionada fue la β -galactosidasa, uno de los desafíos del estudio fue lograr que el proceso fuera eficiente y económicamente viable, ya que estas materias primas suelen ser costosas y su vida útil es limitada. Su propuesta consistió en utilizar 2 técnicas para determinar cuál era la más efectiva al reutilizarlas; la primera técnica consistió en encapsularlas en esferas de gel de alginato, y la segunda en forma de aglomerados con reactivos, similares a grumos de arena, donde las enzimas logran unirse entre sí y son más fáciles de extraer. Se encontró que al trabajar juntas, las enzimas lograban incrementar la producción de GOS en 36% en comparación con el uso de β -galactosidasa sola. KTBM (2024).

El lactosuero en su estado líquido se utiliza, tradicionalmente, para la alimentación animal y como fertilizante para cultivos, se utiliza como aditivo en los productos para infantes, bebidas y productos farmacéuticos, las aplicaciones del suero en la actualidad están orientadas a la utilización de sus proteínas en diferentes productos por sus propiedades de gelificantes, emulsificantes (aceite en agua) y estabilizantes de alimentos (Gómez & Sánchez, 2019).

Galactooligosacaridos

Los GOS son formados por cadenas cortas de galactosa con una molécula terminal de glucosa, se obtienen comúnmente a través de la enzimólisis de la lactosa, mediante enzimas como la β galactosidasa por una reacción de transglicolisación, son sustancias no digeribles ni absorbibles que pasan a través del sistema digestivo sirviendo de alimento y estimulando el crecimiento de la microbiota intestinal benigna, principalmente Bifidobacterias y lactobacilos con pretensión de mejorar la salud. Faroux (2025).

Beneficios de los GOS

La fibra dietética es conocida como un componente potencial para la salud humana debido a sus efectos beneficiosos en el control de enfermedades crónicas potencialmente mortales, como las enfermedades cardiovasculares, la diabetes mellitus, la obesidad y el cáncer, en las últimas décadas, la comunidad científica internacional ha demostrado gran interés en evaluar la interacción entre fibra dietética y la microbiota intestinal. Diversos estudios epidemiológicos y clínicos han revelado que la fibra dietética modula la formación y la actividad metabólica de las comunidades microbiológicas que residen en la microbiota intestinal humana, las cuales desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento de la salud y el bienestar (Ramin & Li, 2020).

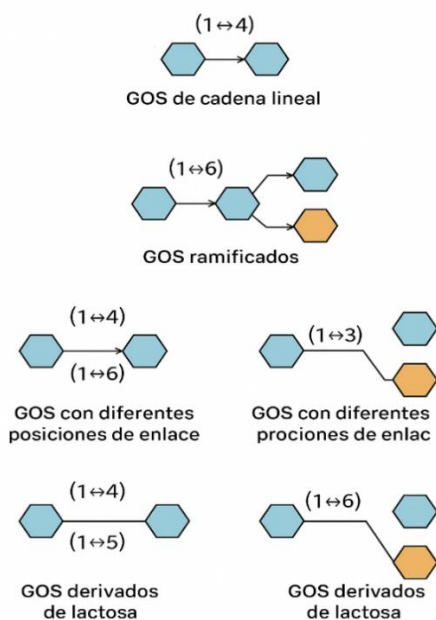
Transformación del Suero en GOS

LOS GOS están compuestos por varias unidades de galactosa unidas por enlaces glucosídicos entre los carbonos 1 – 4, 1 -3, 1 – 6, además de contar con una unidad terminal de glucosa (

Figura 1). Estos son sintetizados mediante un proceso denominado; trasgalactosilación, en donde se transforma la lactosa, en una reacción controlada y catalizada por β -galactosidasa, generando primero una hidrolisis parcial de la lactosa (rompimiento de la molécula en glucosa y galactosa), como resultado de la reacción controlada se obtienen oligosacáridos con distintos grados de polimerización, algunos oligosacáridos como glucosa y galactosa (Liburdi & Esti, 2022).

Figura 1

Estructura química del GOS



Nota: La figura muestra la estructura química del Gos. *Fuente:* Gympel (2021)

Factores que Afectan el Rendimiento en la Producción de GOS

Los GOS son compuestos prebióticos obtenidos por la acción de la enzima β -galactosidasa sobre la lactosa, su producción depende de la reacción de trasgalactosilación, cuyo rendimiento varía según la enzima utilizada y las condiciones del proceso, la optimización de su producción ha sido objeto de estudio científico y desarrollo tecnológico, enfocados en mejorar la selectividad, pureza y rendimiento del proceso. Albuquerque *et al.* (2021).

Fuente de β -galactosidasa (Origen Bacteriano o Fúngico). La fuente biológica de la β -galactosidasa, importa mucho: diferentes organismos dan enzimas con diferente especialidad para los enlaces glicosídicos y diferentes rendimientos de (GOS), ejemplo: *Bacillus Circulans*, *Aspergillus Oryzae*

Concentración de la Lactosa. La baja concentración de lactosa en la mezcla de reacción desfavorece el rendimiento de (GOS). Frederics *et al.* (2017).

Temperatura y pH del Medio. Temperaturas elevadas aumentan la solubilidad de la lactosa y mejora el rendimiento de (GOS), rango particular entre 45°C y 55°C para balancear la síntesis y la estabilidad de la enzima inmovilizada. Frederics *et al.* (2017).

Tiempo de Reacción. Es crítico la síntesis puede durar de 0,5 a 100 horas, pero a escala industrial prefieren entre 12 y 36 horas para equilibrar la productividad y el costo. Frederics *et al.* (2017).

Marco Conceptual

Lactosa

Es un disacárido que comprende una molécula de glucosa ligada a una molécula de galactosa por un enlace β (1 – 4). La lactosa en soluciones acuosas está presente en forma α y β , la lactosa es el mayor componente de los sólidos presentes en la leche de vaca, con excepción de la grasa que en ciertas razas de vacas como la Jersey que producen leche con alto contenido de grasa, el peso molecular de la lactosa es de 342 g/mol, es considerablemente menos dulce que la sacarosa o la glucosa debido a que tiene bajo poder edulcorante de 20 % y 30 % del poder de la sacarosa (Gómez & Sánchez, 2018).

La lactosa, es un hidrato de carbono con un índice glucémico bajo. Durante la digestión, la enzima natural lactasa separa la lactosa en azúcares simples, glucosa y galactosa, para que puedan ser absorbidos por el torrente sanguíneo. La mayoría de las personas producen suficiente lactasa en el momento del nacimiento y durante la infancia para digerir cantidades normales de lactosa. Sin embargo, algunas personas, a medida que crecen, pueden experimentar una disminución en los niveles de lactasa intestinal, lo que puede causar una mala digestión de este azúcar. Mehabie et al. (2025).

Lactasa

Enzima responsable de hidrolizar el azúcar de la leche (lactosa), separándola en sus componentes simples: glucosa y galactosa. Este proceso enzimático es crucial para una digestión adecuada. La actividad de la lactasa es más alta durante la infancia, cuando la leche es la principal fuente de nutrición.

A nivel industrial, se produce la enzima lactasa se obtiene de diversas fuentes, incluyendo el intestino de mamíferos jóvenes y de ciertos microorganismos. Se han derivado preparaciones puras de lactasa a partir de especies como *Escherichia Coli*, *Saccharomyces* y diversos hongos. En la industria alimentaria, se utilizan principalmente dos clases de lactasa, la lactasa de levadura proveniente de la levadura láctea *S. lactis* y es la más utilizada. Sus condiciones óptimas de reacción se relacionan con la temperatura y el pH naturales de la leche (temperatura 35 – 40°C, pH 6,6 – 6,8) y la lactasa fúngica, derivada de *Aspergillus niger*, con condiciones óptimas de proceso de 50°C y pH 3,5 – 4,5. Vincent (2025).

β- galactosidasa

Catalizan la hidrólisis de los residuos terminales no reductores de β-D- galactosa en los β-galactosidos. Son importantes para la producción de lácteos sin lactosa, la reducción del contenido de lactosa en el suero de leche y la producción de Galactooligosacáridos (GOS) como aditivos prebióticos en formulas infantiles, para el uso industrial de las β-galactosidasas, se emplean procedimientos de inmovilización enzimática para mejorar su actividad y estabilidad y minimizar la cantidad y el costo de la enzima (Mehabie & Dwan, 2025).

Lactosuero

Importante subproducto de la industria láctea. Es un líquido amarillento que contiene principalmente lactosa, galactosa, ácido láctico, proteínas del suero y minerales, se obtienen dos principales tipos de suero, ácido y dulce. La principal diferencia entre ambos tipos radica en la acidez, especialmente en su contenido de ácido láctico, el suero ácido

contiene mayores cantidades de ácido láctico, hasta un 0,53% p/v, por lo tanto tiene un pH de 4,21 a 4,48, esto se debe a procesos de producción relacionados, en la precipitación de la caseína se realiza mediante procesos de coagulación acida durante la fermentación de la leche con bacterias lácticas o ácidos minerales, como en la producción de yogurt griego colado o algunos quesos frescos por ejemplo (requesón). El suero dulce se separa del precipitado de caseína durante los procesos industriales que implica la coagulación con cuajo de la caseína de la leche, como en la elaboración de quesos duros y semiduros, exhibiendo así un menor contenido de ácido láctico ($0,25 \pm 0,03\%$ p/v) y un valor de pH más alto (6,0 a 6,5) (Limnaios & Tsevdou, 2024).

Impacto Ambiental

Se define como el resultado de una actividad humana que genera un efecto sobre el medio ambiente que supone una ruptura del equilibrio ambiental, los más conocidos son contaminación del aire, contaminación de las aguas, contaminación del suelo, generación de residuos, contaminación acústica, empobrecimiento de los ecosistemas y pérdida de biodiversidad Globalstd (2023).

Seguridad Alimentaria

La seguridad alimentaria se define como la condición en la que todas las personas tienen acceso a alimentos suficientes, seguros y nutritivos para su crecimiento, desarrollo y una vida activa y saludable. Medina, et al. (2021).

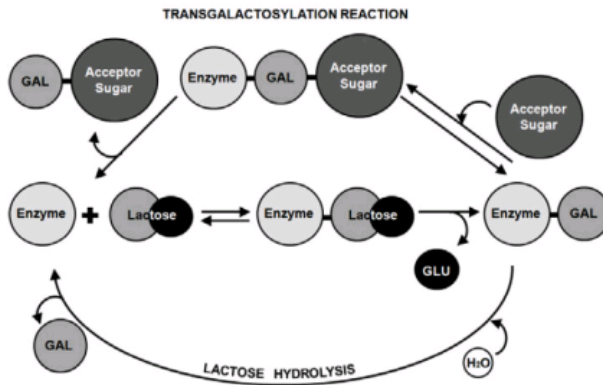
Transgalactosilación

Los GOS pueden ser obtenidos por reacciones de transgalactosilación catalizadas por la enzima β - galactosidasa durante la hidrólisis de la lactosa (Figura 2). Los

mecanismos propuestos para la acción de esta enzima han demostrado que varias β – galactosidasas de diferentes orígenes microbianos poseen 2 residuos de ácido glutámico GLU 482 – GLU 551 que actúan respectivamente, como donador de protones y como nucleófilo, de manera simultánea en la reacción enzimática. Esto se hace químicamente a través de 3 pasos, el primero formación del complejo enzima – galactosilo (acilación), la lactosa se une al sitio activo de la β -galactosidasa, el residuo Glu nucleófilo (Glu 551) ataca el carbono anomérico de la lactosa, se rompe el enlace β -1,4 de la lactosa, se libera glucosa y se forma el intermediario enzima galactosilo, se convierte la enzima en un donador de galactosa; segundo paso ataque del aceptor nucleofílico (agua u otro azúcar), sobre el intermediario enzima galactosilo actúa un aceptor con un grupo –OH, si el aceptor es agua, el resultado es hidrolisis, produciendo galactosa, pero si el aceptor es otro carbohidrato (lactosa, glucosa, galactosa) se inicia la síntesis GOS, el residuo Glu ácido/base (Glu 482) facilita la desprotonación del aceptor. Tercer paso transferencia de galactosilo al aceptor (desacilación), el aceptor ataca el enlace covalente, liberando a la enzima y formándose el nuevo enlace glicosídico, con agua produce galactosa (hidrolisis) y si la transferencia es otro carbohidrato como la lactosa. Se producen di – tri y/ o GOS de mayor grado de polimerización. Rodríguez (2015).

Figura 2

Esquema de la hidrólisis y transglucosilación de la β - galactosidasa



Nota: La figura muestra el esquema de la hidrólisis y sus transglucosilación de la β – galactosidasa. *Fuente:* Rodríguez (2015)

Permeado

Se fabrica mediante la eliminación de proteínas y otros sólidos de la leche o el suero, lo que da como resultado un producto con alta concentración de lactosa. La eliminación de los componentes lácteos se logra mediante técnicas de separación física como la filtración y la diafiltración. La acidez del permeado lácteo se puede ajustar añadiendo ingredientes seguros y adecuados. Corriente rica en lactosa (65 – 80%) con ~ 5 – 6% de sólidos totales. MSS (2025).

Retentado

Concentración y fraccionamiento de proteínas lácteas, lo que es fundamental para producción de ciertos tipos de quesos y yogures, técnica eliminación de agua por ultrafiltración, filtración tangencial por membranas para eliminar el 70% del agua en la

leche en la propia explotación y reutilizarla en diversa aplicaciones, tanto en la granja como en la planta, permite reducir costos y el consumo energético del transporte y la refrigeración, no sufre cambios físicos, químicos ni organolépticos, la osmosis inversa incrementa el rendimiento en el queso (Eghbalin & Bulat, 2025).

Ultrafiltración

Se refiere a una técnica de separación en la que se emplea una membrana para separar los diferentes compuestos de una mezcla de fluidos, las membranas de ultrafiltración tienen tamaños de poro inferiores a 0,001 micras, la separación se produce en función de tamaño molecular y las interacciones químicas entre la membrana y los componentes del fluido en contacto con ella, en este proceso se utiliza presión para poder expulsar las moléculas de agua a través de los poros de la membrana, reteniendo al mismo tiempo los sólidos coloidales y las sales. Las presiones de operaciones típicas oscilan entre 30 y 150 psi y un factor de concentración del volumen de 1,5 – 3 veces. MSS (2025).

Nanofiltración

Se encuentra entre la osmosis inversa y la ultrafiltración, separa compuestos de bajo peso molecular por encima de (200 y 1000 Da) de moléculas más grandes, las membranas de nanofiltración pueden eliminar moléculas más pequeñas (micromoléculas) como azúcares, sales divalentes y se aplica a la desmineralización parcial del suero. Caperva (2024).

Microfiltración

Es una tecnología de separación ampliamente utilizada en la industria láctea debido a su capacidad para eliminar partículas sólidas y microorganismos no deseados del suero de

la leche y otros líquidos utilizados en la producción de productos lácteos. Se utilizan membranas con poros microscópicos que permiten el paso de componentes líquidos mientras retienen partículas más grandes. Fabermaq (2025).

Prebiótico

Según Nutribiótica (2025) el concepto de prebióticos es más reciente que el de los probióticos y, los responsables de su nomenclatura y popularización fueron los investigadores Gibson y Roberfroid en el año 1995. Son el alimento de las bacterias, junto con los probióticos se lograr repoblar la microbiota con bacterias beneficiosas, son compuestos no digeribles por el ser humano, que están presentes en la dieta y que estimulan el crecimiento de algunos huéspedes de nuestra microbiota, es fibra soluble y fermentable.

Postbiótico

Productos metabólicos o subproductos generados por las bacterias prebióticas, durante el proceso de fermentación en el intestino o en un entorno de laboratorio controlado. Estos metabolitos incluyen una gran variedad de sustancias: ácidos grasos de cadena corta (AGCC), péptidos antimicrobianos, enzimas, vitaminas, aminoácidos, exopolisacáridos y fragmentos celulares. Los Postbiótico son preparaciones de microorganismos inanimados y sus componentes confieren un beneficio a la salud del huésped. Carreira (2024).

Probióticos

Son microorganismos vivos como (bacterias y levaduras) que al consumirlos proporcionan beneficios para la salud, se encuentran naturalmente presentes en algunos alimentos fermentados, agregados a algunos alimentos y disponibles como suplementos

dietéticos, actúan en el aparato digestivo donde pueden afectar el microbioma intestinal, los probióticos comunes incluyen lactobacilos, Bifidobacterias, Saccharomyces, estreptococos, enterococos, Escherichia, bacilos. ODS (2022).

Metodología

Tipo de Investigación

Cualitativa, revisión sistemática de literatura (SLR):

Es una metodología de investigación para recopilar, identificar y analizar críticamente los estudios de investigación disponibles (por ejemplo, artículos, actas de conferencia, libros y disertaciones) a través de un proceso sistemático, este sistema actualiza al lector con una literatura actual sobre un tema, el objetivo es revisar los puntos críticos del conocimiento actual sobre un tema, sobre las preguntas de investigación para sugerir áreas para un examen más detallado. Carrera *et al.* (2022)

Bases de Datos Consultadas

Las bases de datos empleadas para la elaboración de la monografía fueron PubMed, Scopus, Sciences Direct.

Estrategia de Búsqueda de la Información y Ecuaciones

La información bibliográfica recuperada incluye los trabajos más relevantes relacionados con la transformación de lactosuero en Galactooligosacaridos. La ecuación de búsqueda fue diseñada utilizando los términos “Galactooligosacaridos”, “prebióticos”, “alimento funcional”, “lactosa”, “Transgalactosilación” y “ β Galactosidasa” en inglés conectadas con el operador booleano 'AND'. La consulta final fue la siguiente:

Whey AND Galactooligosaccharides AND Prebiotics AND "Functional Food"

Whey AND Galactooligosaccharides AND Prebiotics

Whey AND Galacto-Oligosaccharides AND Lactose AND Transgalactosylation
AND β Galactosidase

Se utilizaron las tres ecuaciones de búsqueda en las bases de datos para lograr el cumplimiento de los objetivos, ya que la información se encontró así, con diferentes ecuaciones no se lograba información amplia en las bases de datos.

Se complementó información con trabajos de grado relacionados con el tema de (GOS).

Criterios de Inclusión y Exclusión de Artículos

Criterios de Inclusión

Estudios con periodos de tiempo entre 2019 y 2025, que sean artículos científicos, revisiones, tesis de grado, en idioma inglés y español, que aborden el aprovechamiento del suero lácteo para obtener compuestos de valor agregado como Galactooligosacáridos, prebióticos o enzimas. Estudios de producción purificación o aplicación de oligosacáridos a partir de suero lácteo mediante enzimas como β - galactosidasa o análisis del impacto ambiental de los residuos lácteos. Artículos de acceso abierto o disponible a través de las bases de datos utilizadas.

Criterios de Exclusión

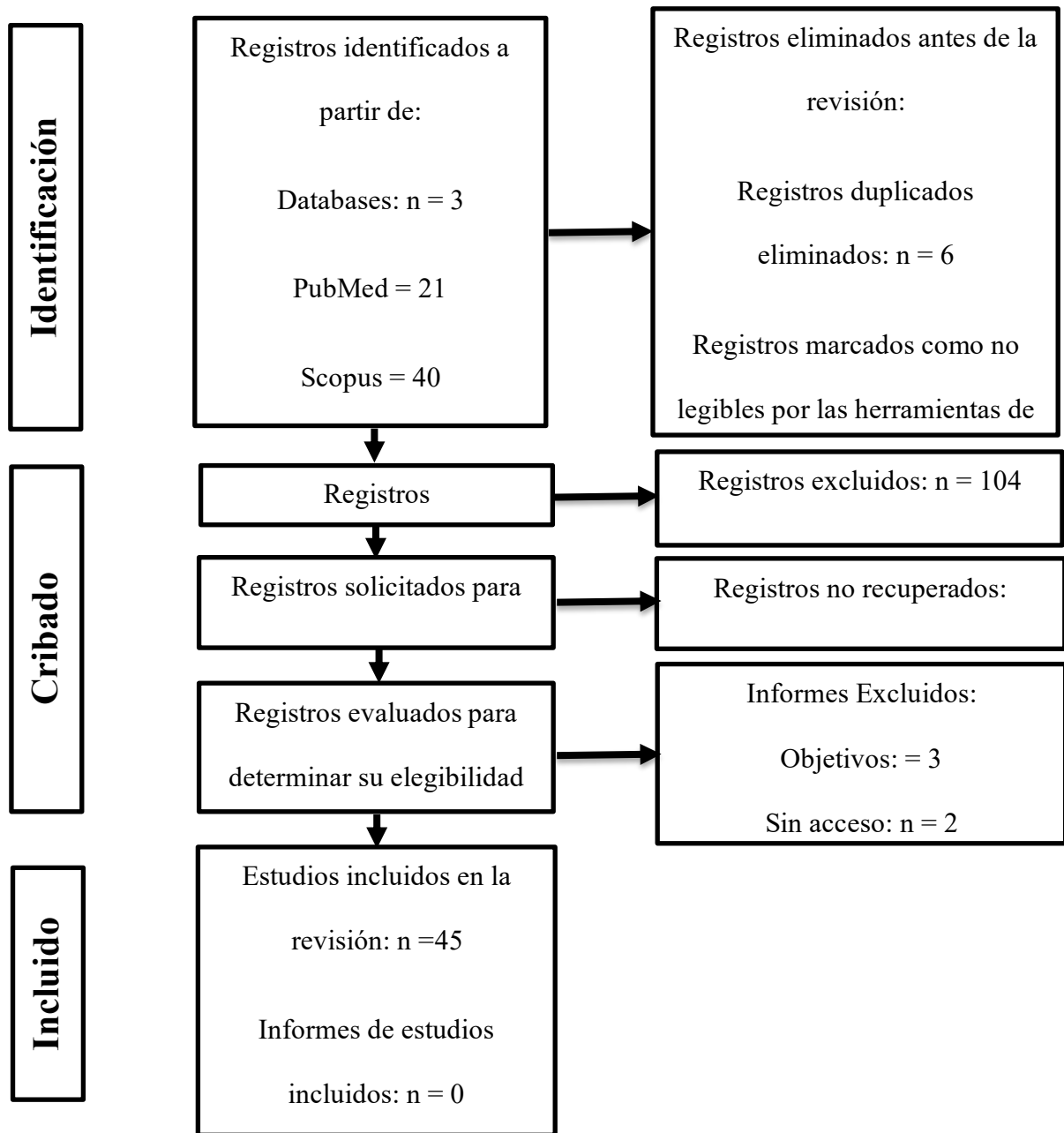
Artículos que traten sobre otros residuos alimentarios no relacionados con productos lácteos, que no incluyan ninguna de las palabras clave o se enfoque en compuestos no relacionados con carbohidratos y enzimas lácteas, fuentes sin respaldo científico (blogs, notas de prensa, paginas no académicas); artículos centrados exclusivamente en la producción de proteínas, lípidos o biogás del suero, sin relación con oligosacáridos o prebióticos; artículos en idiomas sin traducción disponible, artículos muy antiguos sin relevancia tecnológica o científica.

Proceso de Selección y Extracción de Datos (Metodología PRISMA)

Esta monografía se desarrolló bajo la metodología PRISMA (Figura 3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), este sistema ayuda a los revisores sistemáticos a informar de forma transparente sobre el motivo de la revisión, las acciones de los autores y los hallazgos; esta metodología se ha actualizado, incluye nuevas directrices de informe que reflejan los avances en los métodos de identificación, selección, evaluación y síntesis de estudios. Que permite realizar revisiones sistemáticas transparentes reducibles y rigurosas. Page et al. (2021). Se obtuvieron 157 documentos donde el 33.7% correspondieron a trabajos científicos publicados que se seleccionaron para la monografía, el 66.3% son artículos que tenían información sobre el tema pero no cumplían en fecha seleccionada para la revisión sistemática y se descartaron.

Figura 3

Diagrama de flujo PRISMA para el proceso de revisión sistemática de literatura.



Nota: La figura muestra el Diagrama de flujo PRISMA para el proceso de revisión sistemática de literatura. Fuente: Propia

Síntesis y Análisis de la Información

La estrategia utilizada para organizar, comparar e interpretar datos de la información se basó en varias fases:

Organización de la Información

Se seleccionaron y se redujeron los artículos seleccionados para la inclusión y exclusión, se estructuraron para la monografía.

Fichaje y Registro Sistemático

Se crea tabla para base de datos en Excel de los artículos seleccionados con información clave como año, tipo de suero y método de obtención de GOS. Innovación tecnológica, bienestar o impacto al medio ambiente.

Comparación de la Información

Fase de análisis y confrontación se utilizó la matriz de datos, para realizar una lectura cruzada y establecer relaciones o similitudes entre diferentes informes.

Se compararon validez y fiabilidad de los estudios, demostrando en los informes elegidos que los diseños metodológicos sean sólidos, evaluando limitaciones de cada estudio de informes citados, se redactó el documento de manera narrativa, describiendo las mejores opciones tecnológicas, métodos de producción, reportados en la literatura científica.

Características Fundamentales de los Galactooligosacáridos (GOS), su Estructura Química, los Principales Métodos de Producción Biotecnológica y sus Mecanismos de Acción Prebiótica

Definición y Estructura Química de los GOS

Los GOS son un tipo de fibra alimentaria no digerible que alimenta las bacterias intestinales beneficiosas, mejorando la salud humana, comprende un grupo de oligómeros derivados de la lactosa, son uno de los principales prebióticos utilizados en la elaboración de alimentos funcionales, los GOS se producen mediante trasgalactosilación de la lactosa, esta reacción es catalizada por la enzima β -galactosidasa, obtenida de una amplia variedad de microorganismos, bacterias, levaduras y hongos, es necesario controlar la termodinámica de la reacción aumentando la concentración de lactosa en el medio, lo que favorece la formación de GOS sobre la liberación de monosacáridos, la producción de este producto depende de muchos factores como concentración del sustrato y del azúcar inicial, el pH y la temperatura de reacción, la presencia de inhibidores enzimáticos y la fuente de la enzima. (Rico & Strani, 2021)

La preparación de GOS se basa en la actividad de trasgalactosilación de las β -Galactosidasas, que son enzimas utilizadas para producir productos lácteos sin lactosa. El GOS es una mezcla de compuestos que contienen de 2 a 8 unidades de monosacáridos, las unidades de galactosa están conectadas a la glucosa terminal. El rendimiento de GOS depende generalmente de la concentración de lactosa y del origen de la enzima, detener la reacción de enzima en un nivel específico de conversión de lactosa, ya que al alcanzar el contenido máximo de GOS, se produce su rehidrolisis. Los muestran propiedades de

aplicación favorables son solubles en agua y su dulzor son 0,3 – 0,6 en relación con la sacarosa, se caracterizan por su bajo contenido calórico. Harkavchenco et al. (2024)

Son bien reconocidos por sus propiedades prebióticas, efectos en los humanos. Actualmente, se ha explorado el potencial hidrolítico y de transgalactoosilación de la β -Galactosidasas para la producción de Galactooligosacáridos a partir de soluciones de lactosa, la glicolisación de la lactosa ocurre de manera eficiente cuando se expresan los genes responsables de las enzimas glicosiltransferasas que utiliza la lactosa como un sustrato aceptor. Nishigandha (2024).

La ultrafiltración es la operación más adecuada en la fragmentación del suero, ya que es altamente específica para la eliminación de proteínas y suave, sin alterar las propiedades de los compuestos. Nestlé nutrición informo el uso de la ultrafiltración para producir permeado de suero como fuente de lactosa utilizada como sustrato de síntesis de enzimática de Nestlé GOS, la nanofiltración permite fraccionar compuestos, siendo en principio aplicable para la síntesis de GOS. Vera et al. (2022).

Producción biotecnológica de GOS en la elaboración de alimentos

El rápido crecimiento de la industria láctea conlleva la producción de grandes cantidades de subproductos. Uno de los principales subproductos de esta industria es el suero, cuya eliminación plantea grandes desafíos, el suero se conoce como fase sérica de la leche, contiene el 55% de los nutrientes de la leche y se obtiene mediante descremado (eliminación de la grasa) y precipitación de proteínas (caseína), contiene una fracción hidrosoluble que incluye lactosa, minerales solubles y proteínas del suero; sin embargo aproximadamente el 50% del suero se procesa para obtener productos valiosos. Y el resto se desecha como residuo, existen varias categorías de suero, suero dulce y suero ácido. El

suero dulce también llamado suero de queso, se obtiene por la producción de queso coagulado con cuajo, y es objeto de investigación durante mucho tiempo en el mercado internacional. El suero ácido es el residuo de productos lácteos coagulados con ácidos ejemplos caseína y quesos blandos (quesos crema, ricota, requesón y paneer), el suero ácido es el líquido de la fase sérica que se obtiene durante la coagulación ácida de la leche hasta alcanzar un pH de 4,6, es decir el punto isoeléctrico de las proteínas. Deshmukh et al. (2024).

Las fuentes de β -galactosidasas más utilizadas en la industria son los hongos y las levaduras debido a su alta eficiencia y resistencia a un alto rango de pH y temperatura, enzimas de fuentes microbianas, Sigma (*Aspergillus Oryzae*), Maxilact L2000 (*Kluyveromyces fragilis*), Lactozyme 3000 L (*Kluyveromyces fragilis*). Deshmukh et al. (2024).

Parámetros que Alteran el Rendimiento de GOS

Concentración

Una concentración menor de lactosa desfavorece la trasgalactosilación sobre la hidrólisis disminuyendo la formación de GOS. Chen et al. (2023).

Temperatura

Cada β -galactosidasa tiene una temperatura óptima para su reacción, desviaciones de temperatura reducen actividad y estabilidad enzimática. Zhao et al. (2025).

Ph

El pH influye en la ionización de los residuos catalíticos como lo (GLU) involucrados en el mecanismo dependiendo del tipo de enzima. Zhao et al. (2025)

Tipo y Origen de la β - Galactosidasa

Enzimas lactasas como Kluyveromyces, Aspergillus o Bifidobacterium muestran diferentes capacidades de trasgalactosilación. Deshmukh et al. (2024).

Presencia de aceptores de galactosa

Otros carbohidratos pueden actuar como aceptores y modificar el perfil del GOS producido, estos depende de las enzimas y las condiciones de reacción. Vera et al. (2022).

Tiempo de Reacción

Los tiempos prolongados favorecen la hidrólisis secundaria, disminuyendo los GOS ya formados. Chen et al. (2023).

Forma de Inmovilización Enzimática

La inmovilización enzimática puede aumentar estabilidad, reutilización y selectividad. Hackenhaar et al. (2021).

Mecanismos de Acción Prebiótica de los GOS

Prebiótico

Grupo de nutrientes que se degradan por el microbiota intestinal. Su relación con la salud humana en general ha suscitado un gran interés creciente en los últimos años, nutren la microbiota intestinal y sus productos de degradación son ácidos cortos de cadena corta que se liberan al torrente sanguíneo. Es un ingrediente alimentario no digerible que beneficia el huésped al estimular selectivamente el crecimiento o la actividad de una o varias bacterias en el colon mejorando así la salud, debe ser resistente al pH ácido del estómago, no puede ser hidrolizado por enzimas de mamíferos y tampoco puede ser absorbido en el tracto intestinal, puede ser fermentado por la microbiota intestinal. Peña et al. (2022)

Tipos de Prebióticos

Existen muchos tipos de prebióticos. La mayoría son un grupo de carbohidratos, principalmente oligosacáridos, los artículos más relevantes de la revisión sistemática se centran en los oligosacáridos, pero hay evidencia que muestra que los prebióticos no son solo carbohidratos.

Frútanos

Estos prebióticos lo comprende lo que son la inulina y los fructooligosacáridos u oligofruktosas. Su estructura consiste en una cadena lineal de fructosa con enlace β -(2 \rightarrow 1). Generalmente presentan unidades terminales de glucosa con enlace β -(2 \rightarrow 1), la inulina

tiene un grado de polimeración de hasta 60, mientras que el grado de polimeración de los FOS son de 10. Peña et al. (2022)

Galactooligosacaridos

Los oligosacáridos, producto de la extensión de la lactosa, se clasifican en 2 sub grupos: los GOS con exceso de galactosa en (c3, c6, c4), Los GOS sintetizados a partir de lactosa mediante trasgalactosilación enzimática, el producto final de esta reacción es principalmente una mezcla de tri – a pentasacaridos con galactosa unida mediante enlaces β -(1→ 6), β -(1→ 3) y β -(1→ 4), también llamados transgalactooligosacaridos, estimulan Bifidobacterias y los lactobacilos. Peña et al. (2022)

Almidón y Oligosacáridos Derivados de la Glucosa

Existe un tipo de almidón resistente a la digestión en el intestino delgado. Conocido como almidón resistente, este promueve la salud al producir altos niveles de butirato, por ello se le conoce como prebiótico; ejemplo: la polidextroza que viene de la glucosa. Monserrat et al. (2023).

Otros Oligosacáridos

Estos se originan a partir de otro polisacárido conocido como pectina, se basa en la extensión del ácido galacturónico. Los grupos carboxilos pueden estar sustituidos mediante esterificación metílica, y la estructura puede estar acetilada en (C2 Y C3), diversos tipos de azúcar como arabinosa, galactosa y xilosa unen las cadenas laterales. Karina et al. (2023)

Fermentación de Prebióticos

Los Galactooligosacaridos llegan al colon sin ser digeridos, donde la microbiota intestinal, especialmente *Bifidobacterium* y *Lactobacillos* los fermenta para producir

ácidos grasos de cadena corta como acetato, propionato y butirato. Estudios in vitro han demostrado que la fermentación de GOS incrementa significativamente la concentración de ácidos grasos de cadena corta totales, reduce el pH colónico y disminuye la producción de compuestos perjudiciales como los ácidos grasos ramificados y el amonio. Marzorati et al. (2023).

Investigaciones en cultivos humanos también reportan un aumento de acetato y lactato de más del 49%, junto con una disminución sustancial de metabolitos putrefactos como el amonio, además de la fermentación de GOS en in vitro promueve el crecimiento bifidogénico es decir, es decir favorece la proliferación de *Bifidobacterium*, y la producción de ácidos grasos de cadena corta como el acetato, lo que destaca su potencial como prebiótico. Hwan et al. (2024)

Aplicaciones Tecnológicas de los Galactooligosacáridos en la Industria Láctea como una Estrategia de Valorización para la Gestión del Impacto Ambiental del Lactosuero

Aplicaciones Tecnológicas de los GOS en la Industria Láctea

Los Galactooligosacáridos representan aditivos funcionales de alto valor para la industria láctea debido a su capacidad para sintetizar in situ y en matrices lácteas mediante la acción de β -galactosidasas inmovilizadas, favoreciendo los productos sin lactosa y enriquecidos con prebióticos. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran algunas aplicaciones tecnológicas de los GOS en la industria láctea. (Luburdi & Esti, 2022) reportan que la síntesis de GOS durante la producción de leche sin lactosa por enzimas permiten obtener concentraciones funcionales sin comprometer la estabilidad del producto.

Estas aplicaciones son especialmente útiles en yogures lácteos de fórmula infantil o reducidos en lactosa, donde los GOS no sólo actúan como prebióticos si no también modulan la textura y la viabilidad de productos lácteos. Por ejemplo, un estudio con yogurt reducido en lactosa e incrementado en GOS mostró mejora en las características funcionales del producto. Venica et al. (2020).

La investigación aplicada también apunta al aprovechamiento del suero lácteo, grupos de ingeniería bioquímica desarrollan procesos de revalorización de lactosa del permeado de suero para obtener GOS de alta pureza mediante biocatálisis, lo que ofrece una solución sostenible y rentable para la industria láctea, los GOS han sido caracterizados como ingredientes funcionales adecuados para alimentos lácteos debido a su resistencia frente al proceso térmico y capacidad de mejorar las propiedades organolépticas con bajo

impacto calórico, lo que los convierte en candidatos ideales para productos dietéticos, infantiles y funcionales. M et al. (2024).

El impacto de los probióticos en las características estructurales del yogurt es un aspecto importante para evaluar sus propiedades funcionales, comparar los efectos de varios prebióticos de uso común, como los fructooligosacáridos, Galactooligosacáridos, la inulina y la polidextroza, sobre las propiedades gelificantes de las proteínas de la leche y las características estructurales, en cuanto a la textura y reología, del yogurt batido durante y después de la fermentación, los resultados revelaron que la suplementación con GOS no pareció estar involucrada en la construcción de la red proteica y apenas afectó las propiedades reológicas del gel durante la fermentación, estos hallazgos podrían ser útiles para la evaluación integral del potencial de aplicación de estos prebióticos en el yogurt, cuando se combinan con sus respectivas propiedades prebióticas. Dong et al. (2023)

Los simbióticos se formulan como complementarios o sinérgicos, estos se elaboran combinando prebióticos y probióticos, donde cada componente actúa de forma independiente y se ha demostrado que la combinación proporciona un beneficio clínico para la salud, los simbióticos sinérgicos requieren que el microbio añadido sea estimulado especialmente o que su persistencia o actividad se vean potenciadas por el sustrato afín. Gómez (2022)

La mayoría de los prebióticos se basan en oligosacáridos no digeribles con diferentes grados de polimeración. Predomina la aplicación de inulina, fructooligosacáridos seguida del uso de Galactooligosacáridos. Los oligosacáridos de tipo inulina y las mezclas de GOS han demostrado su eficacia en formulas infantiles, ya que aumentan las bacterias

fecales *Bifidobacterium*, y *Lactobacillus*, al tiempo que reducen significativamente las clostridias. Harkavchenco et al. (2024).

Los productos lácteos constituyen una de las categorías de alimentos más consumidas a escala mundial. El yogurt, el queso, el helado y la mantequilla son ejemplos de productos lácteos derivados principalmente de la leche, la producción de leche mundial anual supera los 850 millones de toneladas. Los productos lácteos son conocidos por su corta vida útil. En consecuencia los distribuidores responsables de la entrega de estos productos deben garantizar una refrigeración adecuada, los procesos de producción láctea juegan un papel importante en la contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero, para lograr el equilibrio de esta preocupación es necesario darle manejo a los residuos lácteos, para minimizar el impacto ambiental, es de gran ayuda implementar blockchain (cadena de bloques registro digital) en la industria láctea. Ha (2025)

Tabla 2

Aplicaciones tecnológicas de los GOS en la industria láctea

Aplicación tecnológica en productos	Descripción técnica	Referencia
Mejora de la textura y sinéresis en yogurt	Los GOS interactúan con proteínas lácteas, aumentando la firmeza del gel, mejorando la retención de agua y reduciendo la sinéresis, gracias a su efecto	(Dong, D et al 2023)

Aplicación tecnológica en productos	Descripción técnica	Referencia
Formulación de producto lácteos simbióticos	<p>sobre la red micelar de caseína.</p> <p>Incorporación de GOS junto con probióticos (Lactobacillos y Bifidobacterias), para mejorar la viabilidad microbiana, aumentando la estabilidad durante la fermentación y el almacenamiento</p>	(Gómez, D 2022)
Producción de GOS a partir del suero lácteo (revalorización)	<p>Conversión enzimática de lactosa del suero en GOS mediante β-galactosidasa, con rendimientos superiores al 50% permitiendo obtener ingredientes funcionales a partir de un subproducto lácteo.</p>	(Harkavchenco, D et al 2024)

Aplicación tecnológica en productos	Descripción técnica	Referencia
Fortificación de leches fermentadas	Los GOS aumentan la estabilidad de los cultivos lácticos, modulan el pH final y mejoran la consistencia de la leche fermentada.	
Sostenibilidad en la industria láctea	Subproductos del queso y yogurt se emplean como sustratos para producir GOS, reduciendo carga ambiental y generando ingredientes de alto valor agregado	(Ha Washin, D 2025)
Yogurt reducido en lactosa e incrementado en Galactooligosacáridos	Los GOS aplicados en yogures de formula infantil modulan la textura del yogurt y la viabilidad de productos lácteos	(Venica, C et al 2020).

Aplicación tecnológica en productos	Descripción técnica	Referencia
Revaloración de la lactosa del permeado de suero para obtener GOS de alta pureza mediante biocatálisis	GOS caracterizado como alimento funcional adecuados para productos lácteos, resistente a procesos térmicos y capacidad de mejorar propiedades organolépticas.	(M, A et al 2024).

Nota: La table muestra las aplicaciones tecnológicas de los GOS en la industria láctea.

Fuente: propia

Influencia de los GOS en las Características Sensoriales y la Vida Útil de los Productos Lácteos

Los Galactooligosacáridos ejercen efectos funcionales importantes sobre la calidad sensorial y la durabilidad de los productos lácteos gracias a sus propiedades fisicoquímicas y su interacción con las proteínas y microorganismos presentes en las matrices lácteas.

Influencia de los GOS en las Características Sensoriales:

Textura. Actúan como agentes estabilizantes y humectantes, incrementan la viscosidad del producto, reducen la sinéresis (perdida de suero), mejora la firmeza del gel. Dong et al. (2023)

Sabor. Los GOS tienen dulzor suave equivalente al 20% - 40% del azúcar común, lo cual permite mejorar el perfil dulce sin agregar sacarosa. Dong et al. (2023)

Aceptabilidad General. Los GOS aumentan la sensación de cuerpo y suavidad en la boca, mejoran la impresión sensorial de frescura y consistencia. Dong et al. (2023).

Los GOS son ingredientes adecuados para la aplicación en alimentos funcionales como productos horneados, evitando su secado excesivo y provocando un mejor sabor y textura. La estabilidad en soluciones ácidas y el bajo impacto en el sabor hacen que los GOS también sean adecuados para su incorporación en bebidas (saku, Matsumoto y tanaka), con jugos de frutas y refrescos, también se informaron efectos positivos en las características fisicoquímicas, ópticas y sensoriales cuando se agregó GOS al helado, se observó un aumento en la firmeza y una disminución en la velocidad de fusión, lo que resultó en un producto final más estable. Ambrogi et al (2021).

Como objetivo del presente estudio fue explorar la leche fermentada prebiótica desde una perspectiva de sabor. Estudios sobre propiedades microreológicas de alimentos que contienen prebióticos y simbióticos, han demostrado que los prebióticos juegan un papel definitivo en las propiedades de textura percibidas y la liberación de sabor de ciertos productos. En este contexto, explorar el efecto de los prebióticos en las características de sabor durante la fermentación tiene gran importancia en la producción de nuevos alimentos de fermentación con calidad mejorada. Chía et al. (2024)

Influencia de los GOS en la Vida Útil de los Productos

Estabilidad Microbiológica. Los GOS favorecen el crecimiento de bacterias ácido lácticas beneficiosas como (*Bifidobacterium* y *Lactobacillos*), estas bacterias producen bacterias antimicrobianas naturales (ácidos orgánicos y bacteriocinas) que inhiben microorganismos alterantes, disminuye el riesgo de deterioro microbiológico, estabilizan el pH durante el almacenamiento, esto prolonga la vida útil de los productos fermentados. (Harkavchenco et al. (2024)

Los probióticos son delicados y a menudo no tienen una vida larga útil, los prebióticos, en cambio, no están vivos y a diferencia de un probióticos, puede soportar calor, la humedad, la acidez, la luz solar y otras condiciones ambientales. Esto permite que se paleticen para una mejor palatabilidad, se administren con antibióticos sin temor a una menor eficacia y tenga una vida útil más larga para ofrecer un producto de calidad. Biozime (2025)

Protección de Probióticos. En productos simbióticos (probióticos + prebióticos) funciona como alimento selectivo para los microorganismos, aumentando la viabilidad durante el almacenamiento refrigerado, se mantiene la funcionalidad prebiótica hasta el final de la vida útil del producto. Harkavchenco et al. (2024).

Contribución a la Gestión del Impacto Ambiental. La conversión del suero lácteo en GOS contribuye una estrategia efectiva para reducir el impacto ambiental del suero, un subproducto altamente contaminante por su elevada demanda química y biológica de oxígeno. Estudios han demostrado que mediante la acción de β -galactosidasas se puede transformar una parte significativa de la lactosa presente en el suero en GOS, disminuyendo así la carga contaminante del suero y generando un producto de valor añadido. Geiger et al. (2016).

Desde un enfoque de economía circular, la obtención de GOS contribuye a la minimización de recursos, el aprovechamiento de subproductos, la reducción de emisiones derivadas del vertimiento y la optimización de uso de recursos, además los procesos enzimáticos son limpios, operan en condiciones suaves no requieren reactivos tóxicos y presentan una elevada eficiencia energética, lo que reduce el impacto ambiental asociado a la producción de ingredientes funcionales. Caballero et al. (2024).

Los GOS favorecen el desarrollo de productos lácteos simbióticos y funcionales, impulsando tecnologías sostenibles que prolongan la vida útil, disminuyen pérdidas por deterioro y mejoran la eficiencia de la cadena productiva, la producción de GOS representa una solución que mitiga el impacto ambiental del lactosuero, promueve la sostenibilidad del sector lácteo y genera valor económico y social. Peprah et al. (2020)

Capítulo 3. Panorama Actual de Galactooligosacaridos, Aspectos Regulatorios y Tendencias del Mercado

Aspectos Regulatorios

Estado de los GOS como Ingrediente Funcional

Los Galactooligosacaridos son un tipo de prebiótico en la industria alimentaria global y en Colombia, son ampliamente conocidos como alimentos funcionales, son derivados de la lactosa que se clasifican como probióticos. Deehan et al. (2024)

El INVIMA a través de actas de la sala especializadas de productos fitoterapéuticos y suplementos dietarios, han estandarizados las frases genéricas que pueden utilizarse para la fibra dietaria y los prebióticos.

Una adecuada alimentación y el consumo regular de probióticos y fibra prebiótica, pueden ayudar a normalizar las funciones digestivas, regular los movimientos intestinales normales y generar la flora intestinal. Sala especializada de alimentos (2021)

Consideraciones Claves del INVIMA

Los prebióticos como los GOS, son fibra soluble, por lo tanto el claim debe estar respaldado por un contenido significativo de fibra en el producto final. Los fabricantes deben demostrar el contenido y la naturaleza prebiótica del ingrediente. Sala especializada de alimentos (2007)

Rotulado y Contexto de Dieta

El claim aprobado siempre debe ir acompañado de la frase que lo contextualiza dentro de una alimentación saludable o dieta balanceada.

Regulación específica: esta resolución establece que cualquier declaración de propiedades en salud debe ser soportada por evidencia científica robusta y debe ser autorizada o estar incluida en el listado de declaraciones aceptadas por el INVIMA (2007)

Asociación Prebióticos en Formulas

En el caso de alimentos infantiles donde los GOS son muy comunes, las actas del Invima muestran que las propuestas de claims están muy vigiladas para no usar palabra como dosis y para que las frases sean correctas y concisas, como: favorecer el tránsito intestinal, contribuye a proteger al bebe contra alteraciones gastrointestinales. Lemoine et al. (2023)

Prohibición de Términos

El INVIMA prohíbe el uso de terminología que implique propiedades terapéuticas o curativas como: cura la diarrea, previene el cáncer de colon, trata el estreñimiento crónico.

Términos confusos o inadecuados como fibra suave o barriguita sana han sido rechazados en propuestas de rotulado. (Resolución 810 de 2021)

Función Principal Prebiótico

El efecto prebiótico es el principal motor de uso. Los GOS son compuestos no digeribles que sirven de alimento selectivo a las bacterias benéficas del intestino (probióticos) como las Bifidobacterias, estimulando su crecimiento y actividad en el colon. Chaves *et al.* (2022)

Aplicaciones Comunes

Formulas Infantiles

Son uno de los ingredientes funcionales más utilizados en este sector para replicar el efecto de la leche materna en el desarrollo de la microbiota intestinal saludable de los lactantes. Chaves et al. (2022)

Otros Alimentos y Suplementos

Se están incorporando cada vez más en otros alimentos funcionales y suplementos diarios, a menudo en combinación con prebióticos (simbióticos), ejemplo productos lácteos, bebidas y suplementos dietarios para promover la salud digestiva. Chaves et al. (2022)

Se asocia a la mejora de parámetros relacionados con la constipación, inmunomodulación, absorción de minerales (como el, calcio) y un efecto positivo en el eje intestino, cerebro. Harkavchenco et al. (2024)

Para mejorar la calidad sensorial y la dulzura, varios productos alimenticios pueden suplementarse con GOS, en bebidas y productos lácteos, se suplementan en alimentos para animales para mejorar la inmunidad y aumentar la tasa de crecimiento de microorganismos probióticos. Deshmukh et al. (2024).

Regulaciones de Claims o Declaraciones

Las declaraciones de propiedades en salud para suplementos dietarios están estrictamente regulados por el INVIMA, se dividen en:

Declaraciones de Propiedades Nutricionales

Relacionadas con la cantidad de un nutriente o de energía. (Resolución 3096 de 2007)

Declaraciones de Propiedades en Salud

Son mensajes que sugieren que existe una relación entre el alimento, componente o nutriente, y la salud. (Resolución 3096 de 2007)

La resolución 3096 del 2007 no otorga directamente un posicionamiento Premium al Galactooligosacáridos, sino que establece el marco regulatorio estricto, que al ser cumplido, permite a las empresas utilizar declaraciones de propiedades de salud (Claims). En estas declaraciones, a su vez, son las que generan el posicionamiento Premium o de valor agregado en el mercado. (Resolución 3096 de 2007)

La Tabla 3 resume la normatividad sanitaria colombiana (Leyes, Decretos, Resoluciones), aplicables a los suplementos dietarios, emitidas por entidades como ministerio de salud y protección social o el INVIMA, para alimentos en general, alimentos infantiles, y aspectos clave como el rotulado, las declaraciones de propiedades (claims) y las buenas prácticas de manufactura (BPM)

Tabla 3*Normatividad específica aplicable en Colombia para GOS*

Tipo de norma	Decreto/resolución/Acta	Objetivos de aplicación
Suplementos dietarios	Decreto 3249 de 2006	Reglamento general de suplementos dietarios
Suplementos dietarios	Resolución 3096 de 2007	Reglamento técnico para suplementos dietarios con énfasis en declaraciones de propiedades claims
Rotulado general	Resolución 5109 de 2005	Reglamento técnico sobre requisitos de rotulado y etiquetado que deben cumplir los alimentos envasados
Alimentos en general	Ley 09 de 1979	Marco general de medidas sanitarias en Colombia
Alimentos infantiles	Resolución 11488 de 1984	Norma sobre procesamiento, composición, requisitos y

Tipo de norma	Decreto/resolución/Acta	Objetivos de aplicación
INVIMA	Actas y listados de declaraciones	comercialización de alimentos infantiles Documentos específicos del Invima que detallan las cepas, dosis y declaraciones de claims aprobados.
Rotulado general	Resolución 810 de 2021	Define concepto de probióticos y prebióticos, establece las condiciones y restricciones, para las declaraciones de propiedades en salud (claims)
Etiquetado nutricional y frontal	Resolución 2492 de 2022	Se modifican artículos 2,3,16, 25, 32, 37 y 40, de la resolución 810 de 2021
Buenas prácticas de manufactura	Resolución 2674 de 2013	(BPM) que deben cumplir los fabricantes para garantizar la inocuidad y

Tipo de norma	Decreto/resolución/Acta	Objetivos de aplicación
		aptitud esencial para para la viabilidad de los probióticos

Nota: La tabla muestra la normatividad específica aplicable en Colombia para GOS.

Fuente: propia

Tendencias Actuales del Mercado de GOS en Colombia

La Inclusión de GOS en Alimentos de Consumo Masivo

El uso de (GOS) está migrando de nicho de fórmulas infantiles al mercado de alimentos funcionales para adultos, liderado por grandes empresas lácteas. Gusain (2025)

Liderazgo de Marcas Consolidadas

Empresas con gran penetración en el mercado como Alpina, están lanzando productos innovadores que incorporan (GOS), un ejemplo clave es el lanzamiento de kéfir Plus que se promociona como el primero en su categoría en Colombia en incluir fibra (GOS). Acis (2025)

Segmento Lácteo Funcional

Los productos lácteos fermentados (yogures, kéfir, bebidas lácteas) son el vehículo principal para la introducción de (GOS), ya que estos productos ya están asociados a la salud intestinal y permiten la formulación de productos simbióticos (probióticos + prebiótico). (Sionek & Szydłowska, 2025)

Nutrición Infantil Avanzada

Aunque es un mercado establecido, las fórmulas de crecimiento y leches infantiles continúan utilizando (GOS) y otros prebióticos (FOS/GOS), para imitar el perfil nutricional de la leche materna. Nestlebebe (2022)

Auge de los Simbióticos (Prebióticos y Probióticos)

La tendencia más fuerte es la combinación de (GOS) con cepas probióticas específicas como (*Lactobacillos reuteri* o *Bifidobacterias*) para un efecto sinérgico en la microbiota intestinal. (Resolución 3096 de 2007)

Enfoque en Inmunidad y Digestión

Los consumidores colombianos buscan cada vez más productos que ofrecen doble beneficio (inmunidad y digestión), lo que hace a los simbióticos extremadamente atractivos, especialmente después de los eventos de salud mundial recientes. Resolución (3096 de 2007)

Suplemento Dietarios Innovadores

Existe un crecimiento en la oferta de suplementos dietarios en formatos convenientes (Capsulas, polvos para mezclar, gomitas funcionales) que especifican el tipo de fibra dietética prebiótica que contienen, dando valor agregado al producto. Kemin (2025).

La Tabla 4 presenta las empresas más importantes de Colombia en el sector de suplementos dietarios nutracéuticos, que se están innovando y compitiendo en el mercado de la salud digestiva, utilizando ingredientes bioactivos como el GOS, para suplir las necesidades del consumidor, y creando una variedad de productos funcionales, desde

lácteos de consumo masivo hasta suplementos especializados, con el fin de ayudar la salud del consumidor y garantizando la inocuidad de sus productos, como empresas con buenas prácticas de fabricación e innovación

Tabla 4

Sector lácteo involucrado con alimentos (GOS) en Colombia.

Empresa	Categoría de productos	Observación
Alpina productos alimenticios BIC	Lácteos funcionales (Kéfir, yogurt, bebidas lácteas, alimentos infantiles)	Ha sido pionera en introducir el (GOS) en productos funcionales para adultos (ejemplo kéfir Plus) estableciendo una tendencia en el mercado colombiano.
Gloria Colombia	Leches y formulas infantiles	Como actor clave en la nutrición especializada, utilice (GOS) en formulaciones infantiles y de crecimiento para mejorar la digestión.
Colanta	Lácteos Funcionales	Participe en las categorías de producto que cuidan la salud digestiva, utilizando productos prebióticos y probióticos
Laboratorios Finlay de Colombia	Suplementos dietarios nutraceuticos	Importante fabricante que desarrolla y comercializa productos que contienen probióticos y prebióticos en capsulas y sobres.

Empresa	Categoría de productos	Observación
Procaps S.A	Suplementos dietarios nutracéuticos	Gran fabricante regional de capsulas blandas y soluciones nutracéuticos, con presencia en el mercado de productos que mejoran la salud digestiva
Novamed S.A	Productos farmacéuticos y suplementos	A través de sus divisiones, distribuye y comercializa líneas de salud digestiva que contienen formulas simbióticas con (GOS)

Nota: La tabla muestra un listado de las empresas del sector lácteo involucrado con alimentos (GOS) en Colombia. *Fuente:* propia

Retos Principales

Dependencia de la Importación y Costos

Alto costo de la materia prima, el (GOS) es un ingrediente de alta tecnología que no se produce localmente a escala industrial, esto incrementa significativamente el costo del producto, y ver otras opciones en otros prebióticos como la inulina que si posee fuentes locales. El nuevo siglo (2024)

Volatilidad del Tipo de Cambio

La fluctuación del dólar frente al peso colombiano afecta directamente el costo de adquisición de esta materia prima importada, lo que se traduce en una presión constante sobre los márgenes de utilidad de los fabricantes nacionales. Romero et al. (2022)

Discusión

Síntesis de los Hallazgos

Se presenta una síntesis de hallazgo relacionada con las características producción, aplicaciones, regulación y tendencias de mercado de los Galactooligosacáridos en el contexto de la valorización del lactosuero.

Fundamentos de Producción de GOS, Estructura, Producción y Mecanismos de Acción,

Estructuras Químicas

Los GOS son carbohidratos que se clasifican en oligosacáridos, que significa cadena corta de unidades de azúcar (2 a 10 unidades), su estructura base está formada por múltiples unidades de galactosa y generalmente, unidad terminal de glucosa.

Enlaces beta (β): el tipo de enlace es glicosídico que unen estas unidades. En los humanos, carecemos de las enzimas necesarias para romper estos enlaces beta, esta resistencia a la hidrólisis enzimática en el estómago y el intestino delgado es lo que permite que los Galactooligosacáridos viajen intactos hasta el colon, donde pueden ejercer su función.

Producción Biotecnológica Transformación de la Lactosa

Los GOS se producen en forma industrial para comercio principalmente a partir de lactosa, la lactosa se utiliza como sustrato de partida, a menudo derivada del lactosuero producido en la industria láctea, principalmente como residuo de la quesería.

Enzima Clave β -Galactosidasa

El proceso se conoce como trasglucosilación o transgalactoosilación y se lleva a cabo comúnmente utilizando una enzima llamada β -galactosidasa (conocida como lactasa), que genera los dos tipos de fase química (hidrolisis y transgalactoosilación).

Mecanismos de Acción

La β -galactosidasa seleccionada para (GOS) en lugar de hidrolizar completamente la lactosa en glucosa y galactosa (como ocurre en la digestión normal), la β -galactosidasa cataliza una reacción en la que transfiere unidades de galactosa a otra molécula de lactosa o una molécula de (GOS) ya existente, creando así cadenas más largas de GOS, este método es una forma eficiente de valorizar el lactosuero, el subproducto de la industria láctea que genera tanto impacto ambiental.

Mecanismo de Acción Prebiótica Alimento Selectivo

El mecanismo de acción del GOS es su función como prebiótico, según la definición aceptada, un prebiótico es un sustrato que es utilizado selectivamente por microorganismos del huésped confiriendo un beneficio para la salud, gracias a sus enlaces resistentes, llega inalterado al colon, una vez allí, actúa como fuente de alimento para ciertas bacterias benéficas, principalmente las del género *Bifidobacterias*, *Lactobacillos*, estas fermentan al (GOS), el resultado de esta fermentación es la producción de ácidos grasos de cadena (AGCC), como el butirato y el propionato, estos ácidos de cadena corta nutren las células del colon, mantiene un pH bajo (que inhiben el crecimiento de patógenos) y están vinculados a la modulación inmunológica y la salud metabólica.

Desafíos y Barreras para la Implementación a Escala Industrial

La implementación y producción a escala industrial de Galactooligosacaridos en Colombia enfrenta una serie de desafíos y barreras que se resumen a continuación, tomando en cuenta los objetivos relacionados con biotecnología, la regulación y el mercado.

Los Galactooligosacaridos de alta pureza no se producen a escala industrial en Colombia. El país depende de la importación de materia prima de grandes fabricantes globales (Asia y Europa). Esto implica un alto costo de adquisición, impactado directamente por la volatilidad del tipo de cambio peso a dólar, lo que encarece el producto final.

Adicionalmente, otro reto para la industria es la presencia de lactosa en los productos, ya que un gran número de consumidores presenta intolerancia, generando molestias digestivas y limitando su consumo. Durante el proceso se generan residuos líquidos y sólidos, un subproducto es el suero lácteo que corresponde aproximadamente entre 85 – 90% de la leche. Debido a su contenido orgánico y su alto potencial contaminante si no se dispone correctamente. Algunos problemas en la industria láctea es la lactosa, generando molestias en el consumidor debido a la intolerancia a la lactosa. Este residuo genera un desafío ambiental significativo, especialmente en países con creciente producción láctea como Colombia, donde su disposición inadecuada contribuye a la contaminación de fuentes hídricas y suelos.

Los Galactooligosacaridos (GOS) son compuestos prebióticos derivados principalmente de la lactosa mediante procesos enzimáticos, que han cobrado creciente relevancia en la industria láctea por sus beneficios funcionales y nutricionales. Surgen como una opción biotecnológica sostenible con doble beneficio: reducir el impacto

ambiental de los residuos lácteos y contribuir a la seguridad alimentaria, generando ingredientes funcionales que mejoren la calidad nutricional de los alimentos. Su incorporación en productos lácteos fermentados, formulas infantiles y otros derivados permite mejorar la salud intestinal al favorecer el crecimiento de bacterias benéficas como *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*. Esta monografía presenta una revisión detallada sobre la estructura, producción mecanismos de acción y aplicaciones tecnológicas de los GOS en la industria láctea. Se abordan también aspectos regulatorios, efectos en la salud humana y tendencias actuales del mercado, destacando el potencial de los GOS como ingrediente funcional clave en el desarrollo de alimentos lácteos con valor agregado.

Falta de Desarrollo Tecnológico Local

Existe una gran oportunidad de valorizar el lactosuero como sustrato por su alto contenido de lactosa, existe una gran barrera en la inversión (investigación, desarrollo e innovación), para desarrollar y escalar los procesos de transgalactosilación enzimática (usando β -galactosidasas) a nivel industrial local.

Necesidad tecnológica especializada, la síntesis y la purificación de los Galactooligosacaridos a las concentraciones requeridas para nutrición especializada demandan biorreactores y procesos de membrana complejos, cuya inversión inicial es bastante costosa.

Barreras Económicas Logísticas

Impacto en el precio final, los altos costos de importación de la materia prima se trasladan al precio final, haciendo que los productos finales con Galactooligosacaridos sean percibidos como Premium y potencialmente inaccesibles para amplios segmentos de la población colombiana, limitando el volumen de ventas masivas.

Competencias de Alternativas más Económicas

Los Galactooligosacáridos compiten con otros prebióticos funcionales como la inulina o los Fructooligosacáridos, que son fuente de suministros más locales o más baratos de importación, lo que presiona los márgenes de los productores colombianos.

Barreras Regulatorias y de Mercados

Restricciones de Reclamaciones INVIMA

La estricta vigilancia del INVIMA, es una barrera para el marketing y la diferenciación, las empresas no pueden comunicar los beneficios del GOS usando lenguaje que sugiera propiedades curativas o terapéuticas (ejemplo: trata de estreñimiento), debiendo limitarse a los reclamos funcionales genéricos (ejemplo: normaliza las funciones digestivas).

Proceso de Registro Lento

La obtención y la modificación del registro sanitario para nuevos productos con Galactooligosacáridos requieren presentar un soporte científico robusto que justifique el reclamo, lo que puede alargar el tiempo de llegada al mercado.

Baja Concientización del Consumidor

Aunque el interés por la salud intestinal crece, el consumidor promedio colombiano tiene un conocimiento limitado sobre el concepto de prebiótico y el nombre específico GOS como ingrediente, lo que requiere alta inversión en educación de mercado.

Ventajas de Producción de GOS

La producción tecnológica de Galactooligosacáridos a partir de lactosuero ofrece ventajas significativas frente a otras estrategias de valoración más tradicionales, especialmente cuando se evalúa bajo el estricto marco de la resolución 3096 del 2007 en Colombia.

Ventajas Competitivas del GOS (Alto Valor Nutricional)

Alto valor funcional y regulatorio, el GOS permite a los productores puedan utilizar declaraciones de propiedades en salud específicas como ayudar a normalizar las funciones digestivas o regenerar la flora intestinal, esto diferencia radicalmente el producto de un simple producto nutricional.

Ventajas Estratégicas y Regulatorias

Capacidad de Aportar un Claim de Salud. La resolución 3096 de 2007 se enfoca en regular declaraciones que impactan la salud de los consumidores en Colombia, El GOS al ser un prebiótico científicamente reconocido, permite a la industria láctea saltar de la categoría alimento básico a alimento funcional, esto se traduce a un mayor precio de venta y a un producto Premium.

Diferenciación de Mercado. La posibilidad de formular productos simbióticos (prebióticos + probióticos), avalados por la resolución 3096 de 2007, ofrece una poderosa herramienta de diferenciación comercial que es inalcanzable para la simple proteína y lactosa.

Gestión Ambiental de Alto Valor. La producción de alcohol también reduce la demanda química de oxígeno (DQO), la producción de GOS logra el mismo beneficio ambiental (uso de lactosa), genera un producto con un valor económico exponencialmente mayor en el sector nutracéuticos.

Soporte Científico Sólido. El GOS tiene un respaldo científico robusto a nivel mundial, esto simplifica el proceso de justificación y soporte científico que exige la resolución 3096 de 2007 para la elaboración de declaraciones de salud ante el INVIMA.

La producción GOS no es solo una estrategia de valoración técnica y ambiental del lactosuero, sino que es la única opción entre las principales alternativas que permite al producto final beneficiarse de las altas valoraciones económicas y posicionamiento Premium que otorga la resolución 3096 de 2007 al permitir reclamos específicos de salud.

El valor Premium de GOS en Colombia es un resultado directo de su capacidad para permitir declaraciones de propiedades (Claims), verificables bajo la estricta resolución

3096 de 2007 (suplementos dietarios) y normativas complementarias, este respaldo regulatorio garantiza al consumidor que está pagando por un beneficio de salud real y comprobado, elevan los GOS de producto alimento a producto funcional para nutrición especializada.

Limitaciones en la Literatura Actual y Futuras Líneas de Investigación

El estudio de los Galactooligosacáridos está en constante evolución. Si bien su rol como prebiótico está bien establecido, persisten vacíos de conocimiento que limitan su optimización en aplicaciones industriales y clínicas

Vacíos Producción Tecnológica y Química

La literatura actual, aunque extensa, no siempre correlaciona de forma precisa la estructura científica del GOS especialmente los tipos de enlace β - (1 \rightarrow 6), β -(1 \rightarrow 4) con su efecto biológico óptimo, los procesos de producción biotecnológica actuales (transgalactoosilación enzimática) suelen producir una mezcla heterogénea de GOS. Rico (2018)

Falta de métodos escalables y económicamente viables para producir GOS de alta pureza o con una estructura de enlace definida que maximice la selectividad por *Bifidobacterias* específicas. Rico (2018)

A pesar de la obvia ventaja de usar lactosuero, la literatura carece de protocolos estandarizados para tratar y preconcentrar eficientemente el suero proveniente de diferentes procesos lácteos, garantizando la concentración de la lactosa para la síntesis de GOS a escala industrial. Rico (2018)

Vacios Clínicos y Mecanismos de acción

La dosis efectiva de GOS necesaria para lograr un efecto prebiótico significativo varía ampliamente en la literatura, los estudios clínicos a menudo no logran establecer una relación clara dosis – respuesta para poblaciones específicas (adultos mayores, atletas, pacientes con antibióticos). Rojas *et al.* (2022)

Escases de ensayos clínicos grandes, que definen la dosis mínima eficaz de GOS para cepas específicas o mezclas simbióticas, especialmente relevante para soporte de reclamaciones bajo regulaciones como la resolución 3096 de 2007. Rojas *et al.* (2022)

Efectos a largo plazo, la mayoría de los estudios son cortos o a mediano plazo, faltan datos sobre efectos a largo plazo con el uso de Galactooligosacáridos en los consumidores de consumo crónico, en la estabilidad en la microbiota y la prevención de enfermedades crónicas. Seijo *et al.* (2022)

Solo se conoce, que pueda hacer esta hidrólisis y transgalactosilación las lactasas de β -galactosidasas, no se abierto la investigación para otro tipo de bacterias o hongos que aumenten el porcentaje de GOS minimizando costo en la enzima y aumentando su eficacia sin modificar parámetros de concentración de la lactosa, garantizando la transgalactosilación efectiva, parando la hidrólisis que puede afectar los enlaces de lo GOS. Kaur *et al.* (2023)

Conclusiones

Se determinó que la producción efectiva de GOS depende intrínsecamente de la reacción de trasgalactosilación catalizada por la enzima β -galactosidasa, donde la lactosa actúa como sustrato primario. El análisis de la literatura confirma que variables críticas como el origen de la fuente enzimática (fúngica o de levaduras), el pH, la temperatura y, fundamentalmente, una alta concentración de lactosa, son determinantes para favorecer la síntesis de enlaces glicosídicos (β -1,4, β -1,6) sobre la hidrólisis simple. Esto confirma que el control termodinámico de la reacción es el factor técnico más relevante para obtener rendimientos viables a escala industrial.

La transformación del lactosuero en GOS constituye una estrategia de economía circular altamente eficiente, capaz de mitigar el impacto ambiental de un residuo que representa entre el 85% y 90% del volumen de leche procesada. Al convertir la lactosa en un ingrediente prebiótico, se logra una doble valorización: la reducción de la carga contaminante y la generación de aditivos funcionales que mejoran la textura y estabilidad microbiológica en matrices lácteas como yogures y leches fermentadas.

El análisis del panorama actual evidencia que el mercado colombiano de alimentos funcionales está transitando hacia productos con beneficios digestivos e inmunológicos comprobables. La normativa vigente (Resolución 3096 de 2007) actúa como un habilitador de mercado al permitir *claims* de salud específicos para los GOS, lo cual no es posible para la lactosa sin procesar. Sin embargo, la brecha entre la demanda creciente de fórmulas infantiles y suplementos dietarios, frente a la falta de desarrollo tecnológico local para la purificación de GOS, subraya la necesidad urgente de inversión en infraestructura biotecnológica nacional para reducir la dependencia de importaciones.

Alejando Caballero, & Orts, J. (2024). Economía circular del suero de leche: bioproceso para su conversión en. *C 3 Bioeconomy*. Obtenido de

<https://idus.us.es/server/api/core/bitstreams/7030283b-0f01-412d-a19b-ec0284a559c7/content>

Alimentos, P. M. (2023). Colombia mejora su seguridad alimentaria, pero la mitad de la población continúa en vulnerabilidad por riesgos económicos y climáticos.

Programa Mundial de Alimentos. <https://es.wfp.org/noticias/colombia-mejora-su-seguridad-alimentaria>

Alimentos, R. (2023). Conozca los beneficios de la lactasa para la industria de alimentos.

Revista Alimentos. <https://www.revistaialimentos.com/es/noticias/conozca-los-beneficios-de-la-lactasa-para-la-industria-de-alimentos>

Allahyari, P. (2024). Una revisión sistemática de los efectos beneficiosos de los

prebióticos, probióticos y simbióticos en el TDAH. *National library of medicine*.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38623929/>

Ambroggi, V., & Bottacini, F. (2023). Galacto-oligosacáridos como prebióticos infantiles:

producción, aplicaciones, actividades bioactivas y perspectivas futuras. *Taylor y francis*, 63(6).

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2021.1953437#d1e190>

Anastasia Zerva, & Limnaios, A. (2021). A novel thermophile β -galactosidase from

Thermothielavioides terrestris. *El Sevier*.

<https://pdf.sciencedirectassets.com/277035/1-s2.0-S1871678421X00039/1-s2.0-S1871678421000431/main.pdf?X-Amz-Security->

Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEKz%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEa
 CXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQCLoYWliIBJGQyGBprq9kCX%2B5FLYXU83B
 od7oUBAWoUfwIgbtn1GRRp78

Anbima , G., & Qu, Y. (2024). Review. *Nutrients*.

file:///C:/Users/JHON/Downloads/nutrients-16-01002.pdf

Arango, A. M., & Ramirez, D. (2022). Alternativas biotecnológicas para el uso. *Cuantica*.

file:///C:/Users/JHON/Downloads/QuanticaVol3.2.4.pdf

Arias, D. S., & Escobar, S. G. (2021). *Elaboración de lactocream partiendo del lactosuero, producto*.

<https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/b5fce85c-4042-4302-a573-f33973f0ab8e/content>

Bala, K., & Iata, P. (2023). Quadratic Model Analysis of β -Galactosidase from

Kluyveromyces. *Trends In Carbohydrate Research*, 15(2).

file:///C:/Users/JHON/Downloads/EBSCO-FullText-10_28_2025%20(3).pdf

Bilal, M., & Hafiz , M. (09 de 2019). Bioconversión sostenible de residuos alimentarios en productos de alto valor mediante enzimas inmovilizadas para afrontar los retos y oportunidades de la bioeconomía: una revisión. *Science Direct*, 123.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996919302984?via%3>

Dihub

Biozime. (2025). Prebióticos vs. probióticos:. *Biozime*.

<https://biozymeinc.com/additive/ao-biotics-amaferm/prebiotics-vs-probiotics/>

- Blen, E., & Huescas, L. (2022). Impacto sustentable en el aprovechamiento de residuos de productos lácteos. *Journal of Environmental Sciences and Natural Resources*, 8(22), 18 - 24.
[file:///C:/Users/JHON/Downloads/Journal_of_Environmental_Sciences_and_Natural_Resources_V8_N22_31%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/JHON/Downloads/Journal_of_Environmental_Sciences_and_Natural_Resources_V8_N22_31%20(1).pdf)
- Carulla, J. E. (2024). Colombia enlechada: los componentes de la crisis del sector lechero. *Periodico UNAL*. <https://periodico.unal.edu.co/articulos/colombia-enlechada-los-componentes-de-la-crisis-del-sector-lechero>
- Chen, T., & Wang, S. (2023). Biocatálisis basada en biopelículas para la producción de galactooligosacáridos mediante la presentación superficial de β -galactosidasa en *Pichia pastoris*. *Revista internacional de ciencias modulares*.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10094928/pdf/ijms-24-06507.pdf>
- Caballero, A., & Orts, J. (2024). Economía circular del suero de leche: bioproceso para su conversión en. *C3 Bioeconomy*.
file:///C:/Users/JHON/Downloads/4_17754_Parrado.pdf
- Cao, T., & Arijit, N. (2024). *Producción de galactooligosacáridos por Reactores de membrana enzimáticos que utilizan gas libre-Galactosidasa*.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/cite.202300218>
- Caperva. (26 de 07 de 2024). Tecnología de filtración por membrana para lácteos. *Caperva*.
<https://www.caperva.com/tecnologia-de-filtracion-por-membrana-para-lacteos/>

- Capital, F. (2025). Viabilidad legal como identificar y cumplir con las leyes y regulaciones que afectan su proyecto. *Faster Capital*.
<https://fastercapital.com/es/contenido/Viabilidad-legal--como-identificar-y-cumplir-con-las-leyes-y-regulaciones-que-afectan-su-proyecto.html>
- Carreira, M. (2024). Postbióticos: qué son y dónde se encuentran. *Mañre salud*.
<https://www.salud.mapfre.es/cuerpo-y-mente/naturopatia/postbioticos/>
- Carrera, A., & Ochoa, W. (2022). Cómo realizar una revisión sistemática de la literatura: una guía rápida para la investigación en informática. *Elsevier*, 9.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016122002746>
- Carulla, J. E. (2024). Colombia enlechada: los componentes de la crisis del sector lechero. *Periodico UNAL*. <https://periodico.unal.edu.co/articulos/colombia-enlechada-los-componentes-de-la-crisis-del-sector-lechero>
- Castro, G. A. (2020). *Desarrollo de un proceso de*. Bogota.
<https://bfrrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/6a6dc0ed-3db6-40de-b36c-4b0ccab1280a/content>
- Castro, M. E. (2020). *Searching for novel*.
<https://ruc.udc.es/rest/api/core/bitstreams/81e5d778-8138-4f1d-8fae-64b9a9531d24/content>
- Chavez, A. F., & Gabardo, S. (2022). *Galactooligosacáridos: beneficios fisiológicos, estrategias de producción y aplicaciones industriales*.

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168165622002279?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=9a07954389d0f7b8

Cheng, Z., & Jin, X. (2025). Caracterización de una β -galactosidasa de *Kosakonia oryzendophytica* y su expresión heteróloga en *Bacillus subtilis* para la producción de galactooligosacáridos. *MDPI*. https://www.mdpi.com/1420-3049/30/22/4343?utm_source=chatgpt.com

Chia, X., & Yang, Q. (2024). Mejora de las propiedades reológicas y sensoriales de la leche fermentada con *Lactobacillus helveticus* mediante prebióticos. *Elsevier*, 23. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590157524005674>

Clara Luiza de Oliveira, & Zanlorenzi, L. (2024). Selectivities of the β -galactosidase of *Bacillus circulans* in the production of. *El Servier*. [https://pdf.sciencedirectassets.com/271450/1-s2.0-S1359511324X00094/1-s2.0-S1359511324002186/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEKz%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJIMEYCIQCy0cp3zWjIINbw03SF2Yfrj1wMRZRq7DFsC8wLfw9pgIhANeLQW%2FAQN](https://pdf.sciencedirectassets.com/271450/1-s2.0-S1359511324X00094/1-s2.0-S1359511324002186/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEKz%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJIMEYCIQCy0cp3zWjIINbw03SF2Yfrj1wMRZRq7DFsC8wLfw9pgIhANeLQW%2FAQN)

Colombia, C. d. (1979). LEY 9 DE 1979. *Función pública*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1177>

Colombia, S. d. (Noviembre de 2022). Asoleche: Los cinco desafíos para el sector lácteo colombiano. (1031, Ed.) *SAC*. <https://sac.org.co/asoleche-los-cinco-desafios-para-el-sector-lacteo-colombiano/>

Cuartas, B. (2009). A study of the separation of lactose from whey ultrafiltration permeate using nanofiltration. *Science direct*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001191640900143X?via%3>

Dihub

Deehan, E., & Antwan, S. (2024). Revisando los conceptos de prebiótico y efecto prebiótico a la luz del progreso científico y regulatorio: un documento de consenso de la Asociación Prebiótica Global. *Elsevier*, 15(12).

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2161831324001637>

Deiry, T. U. (2017). Productos lácteos estadounidenses > lactosa. *Think USA Deiry*.

<https://www.thinkusadairy.org/es/inicio/productos-lacteos-estadounidenses/lactosa/salud-y-nutricion>

Delgado, P. (2022). *Estudio de las actividades α - y β -galactosidasas de*. Madrid.

file:///C:/Users/jhon/Downloads/delgado_fernandez_paloma.pdf

Deshmukh, N., & Rao, S. (2024). De residuo a nutrición: La evolución del suero, un subproducto de la producción de galactooligosacáridos. 4.

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X24000388?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=99ffbacd6c5bf7b0

Deshmukh, N., Singh, P., & Sharma, H. (2024). De los residuos a la nutrición: La evolución del suero, un subproducto de la producción de galactooligosacáridos.

Science Directas. <https://pdf.sciencedirectassets.com/780605/1-s2.0->

[S2772753X23X00033/1-s2.0-S2772753X24000388/main.pdf?X-Amz-Security-](https://pdf.sciencedirectassets.com/780605/1-s2.0-S2772753X23X00033/1-s2.0-S2772753X24000388/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEFMaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQDTct7%2BA89)

[Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEFMaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQDTct7%2BA89](https://pdf.sciencedirectassets.com/780605/1-s2.0-S2772753X23X00033/1-s2.0-S2772753X24000388/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEFMaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQDTct7%2BA89)

0sz1raSkRgowHxAi6TOMjPjJgot5TXfMWQIgXMyUUWjae%2BbjORMdPVq
 HVs4B9WV%2FKMWHG4EjWL

Dong , D., & Lai, M. (2023). Efectos de diferentes prebióticos sobre las propiedades del gel de la proteína de la leche y las características estructurales del yogur. *MDPI*.

https://www.mdpi.com/2310-2861/9/11/863?utm_source=chatgpt.com

Eghbalian, S., & Bulat, T. (2025). Producción de queso Kashar (un queso de pasta hilada) utilizando leche de ósmosis inversa: Efectos sobre el rendimiento y las propiedades físicas y microestructurales. *Elsevier*, 105.

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856425003078?getft_integrator=scopus&pes=vor&utm_source=scopus

Evla D.F. Vieira a, & Stiles, D. (2022). Nutritional, rheological, sensory characteristics and environmental impact. *El Sevier*. [https://pdf.sciencedirectassets.com/282117/1-s2.0-S1878450X22X00048/1-s2.0-S1878450X22001524/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEKz%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQCLoYWliIBJGQyGBprq9kCX%2B5FLYXU83Bod7oUBAWoUfwIgbtn1GRRp78](https://pdf.sciencedirectassets.com/282117/1-s2.0-S1878450X22X00048/1-s2.0-S1878450X22001524/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEKz%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQCLoYWliIBJGQyGBprq9kCX%2B5FLYXU83Bod7oUBAWoUfwIgbtn1GRRp78)

Fabermaq. (2025). Microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa: tecnologías de membrana para la industria láctea. *Fabermaq*.

<https://fabermaq.com/actualidad/tecnologias-de-membrana/>

Fabermaq. (2025). Ultrafiltración. *Fabermaq*.

<https://fabermaq.com/tecnologias/ultrafiltracion/>

Farias, D., Araujo, F., & Neri, A. (2019). Prebióticos: Tendencias en alimentación, salud y aplicaciones tecnológicas. *Scienc Direct*, 93.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224419303371?via%3>

Dihub

Faroux, J. M. (2025). Síntesis, caracterización y nuevas aplicaciones de. *Dialnet*.

[http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/181887/Documento_completo.pdf?](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/181887/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/181887/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Frederic, B., Cao, L., & Broekhuis, A. (2017). lo: Producción de galacto-oligosacáridos.

Oficina española de.

<https://patentimages.storage.googleapis.com/b5/20/43/ffc265aedc913b/ES2641498>

T3.pdf

Gallego Lobillo, P. (2021). *Carbohidratos prebióticos: mecanismos de digestión*.

Madrid.file:///C:/Users/JHON/Downloads/gallego_lobillo_pablo.pdf

Ganadero, C. (12 de 12 de 2024). El lactosuero transformado en prebióticos ayuda a la

digestión. *Contexto Ganadero*. [https://www.contextoganadero.com/ganaderia-](https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/el-lactosuero-transformado-en-prebioticos-ayuda-a-la-digestion)

[sostenible/el-lactosuero-transformado-en-prebioticos-ayuda-a-la-digestion](https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/el-lactosuero-transformado-en-prebioticos-ayuda-a-la-digestion)

García, M., & Moreno, J. (2020). New perspectives in fermented dairy products and their

health relevance. *Scienses Direct*. [https://pdf.sciencedirectassets.com/277412/1-](https://pdf.sciencedirectassets.com/277412/1-s2.0-S1756464620X00090/1-s2.0-S1756464620302838/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEO3%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEa)

[s2.0-S1756464620X00090/1-s2.0-S1756464620302838/main.pdf?X-Amz-Security-](https://pdf.sciencedirectassets.com/277412/1-s2.0-S1756464620X00090/1-s2.0-S1756464620302838/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEO3%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEa)

[Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEO3%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEa](https://pdf.sciencedirectassets.com/277412/1-s2.0-S1756464620X00090/1-s2.0-S1756464620302838/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEO3%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEa)

[CXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQD301%2Fg%2BM6hUsMk%2BWzMIXuJNhjJen](https://pdf.sciencedirectassets.com/277412/1-s2.0-S1756464620X00090/1-s2.0-S1756464620302838/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEO3%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEa)

[QLfXA5Oho%2B%2BfEj6wIgBb](https://pdf.sciencedirectassets.com/277412/1-s2.0-S1756464620X00090/1-s2.0-S1756464620302838/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEO3%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEa)

- Geiger, B., & Minh, H. (2016). De subproducto a componentes valiosos: Conversión enzimática eficiente de lactosa en suero utilizando β -galactosidasa de *Streptococcus thermophilus*. *National Library of Medicine*.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5117255/?utm_source=chatgpt.com
- Globalstd. (2023). ¿Qué es un estudio. *Globalstd*. https://www.globalstd.com/wp-content/uploads/2023/06/Ebook_Que-es-un-estudio-de-impacto-ambiental.pdf
- Gomez, D., & Reen, C. (2022). The Future of Synbiotics: Rational Formulation and Design. *Frontiers*.
<https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2022.919725/full>
- Gómez, J. A., & Sanchez, O. J. (2018). Producción de galactooligosacáridos: alternativa para el aprovechamiento del lactosuero. Una revisión. *Redalyc*.
<https://www.redalyc.org/journal/852/85263723008/html/>
- Gómez, N. (2023). Sector lácteo en Colombia: Un análisis global y retos a futuro. *Aneia*.
<https://aneia.uniandes.edu.co/sector-lacteo-en-colombia-un-analisis-global-y-retos-a-futuro/>
- Gympel, S. (2021). *Galacto-oligosacridos (GOS): Características, propiedades y tecnología de obtención para su uso como ingrediente funcional en alimentos*.
<http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/bitstream/handle/11185/5835/TFI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Gusain, P. (2025). Informe de análisis del tamaño, la participación y las tendencias del mercado mundial de galactooligosacáridos (GOS): descripción general de la industria y pronóstico hasta 2032. *Data Bridge*.
<https://www.databridgemarketresearch.com/es/reports/global-galactooligosaccharides-gos-market>
- Hackenhaar, C. R., & Strapasson, L. (2021). Síntesis por lotes de galactooligosacáridos a partir de subproductos del procesamiento de la leche utilizando β -galactosidasa inmovilizada de *Bacillus circulans*. *Elsevier*, 36.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818121002322?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=9a00a8033c04f77e
- Harkavchenko, D., & Macûrková, A. (2024). Preparation of a potentially synbiotic dairy. *Journal of Dairy Research*. <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/9C63BB4347DB315B91B50F3C023CD4DC/S0022029925000093a.pdf/preparation-of-a-potentially-synbiotic-dairy-product-fortified-with-galactooligosaccharides.pdf>
- Hawashin, D., & Salah, K. (2025). Enhancing sustainability in dairy industry: Blockchain-based. *Elsevier*. [https://pdf.sciencedirectassets.com/776466/1-s2.0-S2666188824X00039/1-s2.0-S2666188825000991/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEO7%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQCrWiGVD6jGYSVTEmRISKs%2B1TYek82lq18mKfO7TFq8DwIgc5bpZk%2F](https://pdf.sciencedirectassets.com/776466/1-s2.0-S2666188824X00039/1-s2.0-S2666188825000991/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEO7%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQCrWiGVD6jGYSVTEmRISKs%2B1TYek82lq18mKfO7TFq8DwIgc5bpZk%2F)

- Herlandia ^ Cotrim Santos, & Fonseca, G. (2024). Enhancing dairy sustainability: Rheological, sensory, and physical-chemical. *El Sevier*.
[https://pdf.sciencedirectassets.com/271750/1-s2.0-S0959652624X00025/1-s2.0-S0959652624006061/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEJn%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQCIQCJm3i4RpX1dREgl2xDuoHdyPqruPELabpRa75P9YBykAIgctxffj%2F29I](https://pdf.sciencedirectassets.com/271750/1-s2.0-S0959652624X00025/1-s2.0-S0959652624006061/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEJn%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQCIQCJm3i4RpX1dREgl2xDuoHdyPqruPELabpRa75P9YBykAIgctxffj%2F29I)
- Hwan , J., & Bae , G. (2024). Eficacia y seguridad del galacto-oligosacárido en el tratamiento del estreñimiento funcional: ensayo clínico aleatorizado. *Food &*.
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2024/fo/d4fo00999a>
- Ignatova, I. (02 de 2025). Efectos prebióticos de los α - y β -galactooligosacáridos: la relación estructura-función. *MDPI*. <https://www.mdpi.com/1420-3049/30/4/803>
- Illarze, G., & del Pino, A. (2024). Diferencias en las comunidades bacterianas e indicadores de patógenos de los efluentes crudos y estabilizados en lagunas de las explotaciones lecheras. *MDPI, 12*(2). <https://www.mdpi.com/2076-2607/12/2/305>
- INVIMA. (2006). Decreto 3249 DE 2006. *INVIMA*.
<https://www.invima.gov.co/sites/default/files/medicamentos-y-productos-biologicos/farmacovigilancia/Decreto%203249%20DE%202006.pdf>
- INVIMA. (2007). Resolución 3096 DE 2007. *INVIMA*.
<https://www.invima.gov.co/sites/default/files/medicamentos-y-productos-biologicos/salas-expecializadas-de-la-comisi%C3%B3n-revisora/Resoluciones-Nuevos/resolucion%203096%20DE%202007.pdf>

Izarraga, M., & Magdalena, M. (2024). El inocente impacto ambiental del suero de la leche. *Scielo*, 17(35).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-81962023000200088#:~:text=Por%20su%20potencial%20alto%20de,al%20mismo%20tiempo%20su%20revalorizaci%C3%B3n.

J. Lung, & G. Remondetto. (2024). Elsevier. *The affinity of milk fat globule membrane fragments*. [https://pdf.sciencedirectassets.com/279785/1-s2.0-S0022030224X00077/1-s2.0-S0022030224005721/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEJr%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCICrRGzt7Qn%2BMFEjYExxafQuDKGItnPO2b04ZxhRTkmh5AiEAtaFD%2B0Kr](https://pdf.sciencedirectassets.com/279785/1-s2.0-S0022030224X00077/1-s2.0-S0022030224005721/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEJr%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCICrRGzt7Qn%2BMFEjYExxafQuDKGItnPO2b04ZxhRTkmh5AiEAtaFD%2B0Kr)

Juan, F. (2025). Síntesis, caracterización y nuevas aplicaciones de galacto-oligosacáridos (GOS) en alimentos funcionales. *Sedici*.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/181887>

Karina, S., & Freitas, D. (2025). Energy Footprint of Cheese: A Critical Review of the. *Applied Sciences*. [file:///C:/Users/JHON/Downloads/EBSCO-FullText-10_28_2025%20\(8\).pdf](file:///C:/Users/JHON/Downloads/EBSCO-FullText-10_28_2025%20(8).pdf)

Kaur, M., & Sood, A. (2023). β -galactosidase: A Potential Biotechnological Enzyme. *Trends In Carbohydrate Research*, 14(4).
<file:///C:/Users/JHON/Downloads/BetagalactosidaseManpreet.pdf>

- Kemin. (2025). Tendencias en suplementos dietéticos en 2025: Una mirada al futuro de la salud y el bienestar. *Kemin*. <https://www.kemin.com/sa/es/blog/human-nutrition/2025-trends>
- KTBM. (2024). Lactosuero se puede transformar en prebióticos que serían útiles en alimentos. *Agencias de noticias.UNAL(227)*. https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/lactosuero-se-puede-transformar-en-prebioticos-que-serian-utiles-en-alimentos?utm_source=chatgpt.com
- Kumari, N., & Jassal, S. (2025). Oligosacáridos: una revisión exhaustiva de los diversos tipos, actividades biológicas y beneficios emergentes para la salud. *Springer Nature*, 207(242). https://link.springer.com/article/10.1007/s00203-025-04446-5?utm_source=getftr&utm_medium=getftr&utm_campaign=getftr_pilot&getft_integrator=scopus
- Lemoine, A., & Tounian, P. (2023). Prebióticos, probióticos, sinbióticos y postbióticos en las fórmulas infantiles: ¿Cuáles son los beneficios inmunológicos para los lactantes? *MDPI*. <https://www.mdpi.com/2072-6643/15/5/1231>
- Liburdi, K., & Esti, M. (2022). Síntesis de galacto-oligosacáridos (GOS) durante la producción enzimática de leche sin lactosa: Estado actual y oportunidades emergentes. *MDPI*, 8(2). <https://www.mdpi.com/2306-5710/8/2/21>
- Limit, D., & Mo, K. (2025). Transformación del retenido ácido del suero en un sustituto eficaz de la grasa en el queso crema sin grasa. *Science Direct*, 170. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X25006782?via%3Dihub>

- Limnaios, A., & Tsevdou, M. (2024). Cheese and Yogurt By-Products as Valuable Ingredients for the Dairy. *Dairy*. file:///C:/Users/JHON/Downloads/dairy-05-00007-v2.pdf
- Liu Shaoran, & W. H. (2021). Comprensión de la microbiota intestinal y la sarcopenia: una revisión sistemática. *National library of medicine*.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34523250/>
- M, A., & Al-Shawi, S.G, S. (2024). Galacto-oligosaccharides as functional foods and their properties. *Food Research*.
https://www.myfoodresearch.com/uploads/8/4/8/5/84855864/_25__fr-2022-501_abdaltef.pdf
- M.A. Noriega , & , F. Rico-Rodríguez. (2024). Kinetics of galactooligosaccharides (GOS) production with two. *El sevier*. [https://pdf.sciencedirectassets.com/276837/1-s2.0-S0263876224X00118/1-s2.0-S0263876224006300/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEKz%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIH0xh8NVyRm0f9lcpfcYSKsW9YIiinni%2B6LrNjOMx%2B%2FeAiA%2FKSPU](https://pdf.sciencedirectassets.com/276837/1-s2.0-S0263876224X00118/1-s2.0-S0263876224006300/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEKz%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIH0xh8NVyRm0f9lcpfcYSKsW9YIiinni%2B6LrNjOMx%2B%2FeAiA%2FKSPU)
- Mafre. (2020). ¿Qué es el impacto ambiental y cómo se mide? *Mafre*.
<https://www.mapfre.com/actualidad/sostenibilidad/impacto-ambiental/>
- Manpreet, K., & Apoorva, S. (2023). β -galactosidase: A Potential Biotechnological Enzyme. *Trends In Carbohydrate Research*, 14(4).
file:///C:/Users/JHON/Downloads/EBSCO-FullText-10_28_2025%20(4).pdf

- Marzorati, M., & Ghyselinck, J. (2023). Los galactooligosacáridos (GOS) reducen los ácidos grasos de cadena corta ramificada, el amonio y el pH en un modelo de fermentación colónica a corto plazo. *MDPI*. <https://www.mdpi.com/2673-8007/3/1/8>
- Medina, J., & Ortega, M. (2021). ¿Seguridad alimentaria, soberanía alimentaria o derecho a la alimentación? Estado de la cuestión. *Revistas Javerianas*, 18. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/view/25419>
- Mehabie, D., & Dwan, O. (2025). Immobilized β -galactosidase BgaC from *Bifidobacterium adolescentis*. *Applied Microbiology and Biotechnology*.
file:///C:/Users/JHON/Downloads/EBSCO-FullText-10_28_2025%20(2).pdf
- Mehabie, D., & Dwan, O. (2025). Immobilized β -galactosidase BgaC from *Bifidobacterium adolescentis* retains stability and activity during repeated cycles of use. *Springer Nature*, 109(174). https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-025-13564-5?utm_source=getftr&utm_medium=getftr&utm_campaign=getftr_pilot&getft_integrator=scopus
- Mei, Z. (09 de 2022). Biological activity of galacto-oligosaccharides: A review. *PMC*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9485631/>
- Montserrat, V., & Aleman, S. (2023). Almidón resistente como prebiótico y sus beneficios en el organismo humano. *Scielo*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2021000100221

- Mora, J., & Portilla, D. A. (2022). Lactosuero: materia prima para la. *CE Ingenierias*, 9(1).
file:///C:/Users/JHON/Downloads/CEI+Vol.9No.1+103-106%20(3).pdf
- Morales, V. B. (2020). *Influencia de los galactooligosacáridos sobre la*. Burgassot.
file:///C:/Users/Jhon/Downloads/content.pdf
- Morogieva, O., & Osarhumwese, O. (2021). *The Effect of Dietary Fibre on Gut Microbiota, Lipid Profile*,. file:///C:/Users/Jhon/Downloads/nutrients-13-01805.pdf
- MSS. (2025). ¿Qué es la ultrafiltración? ¿Cómo funciona? MSS.
<https://www.mssincorporated.com/ultrafiltration/>
- Muna, A. O. (2021). Dairy Wastage Footprint Analysis: A Farm-to-Fork Life. *Proceedings of the First Central American and Caribbean International Conference on Industrial Engineering and*. file:///C:/Users/JHON/Downloads/EBSCO-FullText-10_28_2025%20(6).pdf
- Muñoz, J. F., & Vallejo, V. E. (2023). Aprovechamiento de lactosuero para la elaboración de una. *Investigación e Innovación en Ingenierías*.
file:///C:/Users/JHON/Downloads/EBSCO-FullText-10_28_2025%20(1).pdf
- Muñoz, J. P. (2018). Elaboración de manjar con nueces (juglans regia) utilizando diferentes niveles de lactosuero como sustituto de la leche. *journal prosciences*, 2(10).
<https://journalprosciences.com/index.php/ps/article/view/67>
- Nabbou, N., & Benyagoub, E. (2020). Risk assessment for chemical pollution of dairy efuents from a milk. *Applied Water Science*.
file:///C:/Users/JHON/Downloads/s13201-020-01309-w.pdf

Nasser, A.-H., & Maha, A.-K. (2024). Health Benefits of Prebiotics, Probiotics, Synbiotics, and Postbiotics. *Nutrients*.

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11597603/pdf/nutrients-16-03955.pdf>

Nesstlebebe. (2022). Los oligosacáridos o HMOs: los protectores de la leche materna.

Nesstlebebe. <https://www.nestlebebe.es/articulo/los-oligosacaridos-o-hmos-los-protectores-de-la-leche-materna>

Nishigandha Deshmukh, & Singh, P. (2024). Waste to nutrition: The evolution of whey, a

byproduct to. *El Sevier*. [https://pdf.sciencedirectassets.com/780605/1-s2.0-S2772753X23X00033/1-s2.0-S2772753X24000388/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEK3%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIDe8UVzSGqQBM2VIC8L2sP09pOQqXG18ebQhPY3pGaXJAiEAxTtxtwYsU7mMz](https://pdf.sciencedirectassets.com/780605/1-s2.0-S2772753X23X00033/1-s2.0-S2772753X24000388/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEK3%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIDe8UVzSGqQBM2VIC8L2sP09pOQqXG18ebQhPY3pGaXJAiEAxTtxtwYsU7mMz)

S2772753X23X00033/1-s2.0-S2772753X24000388/main.pdf?X-Amz-Security-

Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEK3%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEa

CXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIDe8UVzSGqQBM2VIC8L2sP09pOQqXG18ebQh

PY3pGaXJAiEAxTtxtwYsU7mMz

Nopal. (2022). Aspectos clave en la viabilidad económica de un proyecto. *Nopal*.

<https://nopal.es/2022/11/10/aspectos-clave-viabilidad-economica-proyecto/>

Nopal. (2023). ¿Qué es la viabilidad técnica y por qué es importante? *Nopal*.

<https://nopal.es/2023/04/13/que-es-la-viabilidad-tecnica/>

Nutribiótica. (2025). No se permite copiar en esta página web. *Nutribiótica*.

[https://nutribiotica.es/digestivo-y-nutricion/probioticos-](https://nutribiotica.es/digestivo-y-nutricion/probioticos-prebioticos/#Que_es_un_prebiotico)

[prebioticos/#Que_es_un_prebiotico](https://nutribiotica.es/digestivo-y-nutricion/probioticos-prebioticos/#Que_es_un_prebiotico)

ODS. (2022). Probióticos. *ODS*. [https://ods.od.nih.gov/factsheets/Probiotics-](https://ods.od.nih.gov/factsheets/Probiotics-DatosEnEspanol/)

[DatosEnEspanol/](https://ods.od.nih.gov/factsheets/Probiotics-DatosEnEspanol/)

Oluwatobi Victoria Obayomi, & Abiola Folakemi Olaniran . (2024). Unveiling the role of functional foods with emphasis on prebiotics and. *El Sevier*.

[https://pdf.sciencedirectassets.com/277412/1-s2.0-S1756464624X00079/1-s2.0-S1756464624003396/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEK3%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIDe8UVzSGqQBM2VIC8L2sP09pOQqXG18ebQhPY3pGaXJAIeAxTwtwYsU7mMz](https://pdf.sciencedirectassets.com/277412/1-s2.0-S1756464624X00079/1-s2.0-S1756464624003396/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEK3%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIDe8UVzSGqQBM2VIC8L2sP09pOQqXG18ebQhPY3pGaXJAIeAxTwtwYsU7mMz)

Ortiz, A. (2019). Desarrollo de nuevas metodologías avanzadas para el análisis. Madrid.
file:///C:/Users/jhon/Downloads/T41353.pdf

Page, M., & Mckenzie, J. (2021). Declaración PRISMA 2020: unaguía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas The PRISMA 2020 declaración: una guía actualizada para informar revisiones sistemáticas. *74(9)*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300893221002748>

Patlan, L. F. (2024). Whey as a substrate for biogenic production of exopolysaccharide. *Ingenieria Quimica, 14*. file:///C:/Users/JHON/Downloads/EBSCO-FullText-10_28_2025.pdf

Peña, C., & Ramirez, A. (2022). Prebióticos y microbiota: Factores clave en el síndrome metabólico. *Revista especializada en ciencia quimico-biologicas*.
<https://www.redalyc.org/journal/432/43275501018/html/>

Peprah, F., & Lin, F. (2020). Enfoques técnicos integrales para la valorización del suero de queso en pro de un medio ambiente sostenible. *National Library of Medicine*.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32955061/>

Prachi, P., & Aditya, P. (2021). Dairy Waste and Potential of Small-Scale Biogas Digester for. *Applied Sciences*. file:///C:/Users/JHON/Downloads/EBSCO-FullText-10_28_2025%20(5).pdf

Quintana, A. (2021). Influencia de factores ambientales y. Cordoba. file:///C:/Users/JHON/Downloads/2021000002314.pdf

Ramin Shah , B., & Li, B. (2020). Efectos de las fibras dietéticas prebióticas y los probióticos en la salud humana: con especial atención a los avances recientes en sus formulaciones encapsuladas. *Elsevier*.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224420305112?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=99fa722c1d503ecd

Ramirez Navas, J. (2018). Tecnología de membranas:proteínas de lactosuero. *UCP*.
<https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaeingenieria/article/view/115/114>

Ramirez, A. C. (2020). Estudio del uso de una β -galactosidasa recombinante de *Bifidobacterium bifidum* para la producción de galactooligosacáridos y leche deslactosada a nivel de planta piloto. *SEDICI*.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/113959>

Rengifo, K. R. (2022). Prebióticos, su efecto en pacientes con alteraciones gastrointestinales. *Javeriana cali*, 8(3).
<https://revistas.javerianacali.edu.co/index.php/salutemscientiaspiritus/article/view/650/553>

- Renuka , S., & Shrivastava, D. (2023). Un microbio emergente para la producción de enzimas alimentarias en la biofabricación. *Salud, Ciencia y Tecnología*.
<https://sct.ageditor.ar/index.php/sct/article/view/409/812>
- Rico, F. (2018). *Evaluación de un sistema mixto de enzimas*.
<https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/ed02e783-830f-4e96-9300-f8e494c35fa2/content>
- Rico, F., & Noriega, M. (2021). Kinetics of galactooligosaccharide (GOS) production with two β -galactosidases combined: Mathematical model and raw material effects. *Elsevier*.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694621000431?getft_integrator=scopus&pes=vor&utm_source=scopus
- Rico, F., & Strain, L. (2021). Estudio de la producción de galactooligosacáridos a partir de residuos lácteos mediante FTIR y quimiometría como tecnología analítica de procesos. *Elsevier*, 126, 113 - 120.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308520305824?getft_integrator=scopus&pes=vor&utm_source=scopus
- Rodriguez, D. (2015). *Estudio de la síntesis de GOS por la*.
<https://ruc.udc.es/rest/api/core/bitstreams/62843c84-7919-49f7-b83e-c241dbb9c9a8/content>
- Rojas, K., & Urrego, L. (2022). Prebióticos, su efecto en pacientes con alteraciones gastrointestinales. *revista Javeriana*, 8(3).

<https://revistas.javerianacali.edu.co/index.php/salutemscientiaspiritus/article/view/650/553>

Romero, H., & Ramoni, J. (2022). Volatilidad del tipo de cambio y crecimiento económico: una revisión de los mecanismos de transmisión en economías en desarrollo. *Gestión y desarrollo libre*.

https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/gestion_libre/article/view/10093/10152

Ruixeu, C., & Pramod, P. (2022). Assessment Impacts of Ozone on Salmonella Typhimurium and. *Applied Sciences*. file:///C:/Users/JHON/Downloads/EBSCO-FullText-10_28_2025%20(7).pdf

Sala especializada de medicamentos. (2021). *ACTA No. 07 DE 2021*. ACTA No. 07 DE 2021

Scielo. (2019). Producción de galactooligosacáridos: alternativa para el aprovechamiento del lactosuero. Una revisión. *Scielo*, 37.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612019000100129#:~:text=La%20revisi%C3%B3n%20de%20la%20documentaci%C3%B3n%20cient%C3%ADfica%20permiti%C3%B3%20identificar%20informaci%C3%B3n%20relevante,su%20implementaci%C3%B3n%20a%20nive

Seijo, M., & Bonnano, M. (2022). Absorción mineral y retención ósea en ratas normales en crecimiento por el consumo de un yogur experimental reducido en lactosa que contiene galactooligosacáridos (GOS). *Osteologia*, 18(2).

<https://ojs.osteologia.org.ar/ojs33010/index.php/osteologia/article/view/19/13>

- Shanshan, W., & Xiaojuan, Z. (2021). Similarities and differences of oligo/poly-saccharides' impact. *Applied Microbiology and Biotechnology*.
file:///C:/Users/JHON/Downloads/EBSCO-FullText-10_28_2025%20(10).pdf
- Sharif, S. (2023). Prebióticos para prevenir la enterocolitis necrotizante en lactantes muy prematuros o de muy bajo peso al nacer. *National Library of Medicine*.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37262358/>
- Siglo, E. n. (2024). Alta dependencia de los insumos importados afecta producción agrícola. *El nuevo Siglo*. <https://www.elnuevosiglo.com.co/economia/alta-dependencia-de-los-insumos-importados-afecta-produccion-agricola>
- Silvestri, J. (2025). Alinear industria y Estado. *Contexto Ganadero*.
<https://www.contextoganadero.com/columna/alinear-industria-y-estado>
- Sionek, B., & Szydłowska, A. (2025). Probiotics and Prebiotics in the Aspect of Health Benefits and the. *Applied Sciences*. file:///C:/Users/Jhon/Downloads/EBSCO-FullText-10_28_2025%20(9).pdf
- Sionek, B., & Szydłowska, A. (2025). Probióticos y prebióticos en el aspecto de los beneficios para la salud y el desarrollo de nuevos alimentos funcionales de origen vegetal. *MDPI*. <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/6/3137>
- Social, M. D. (2013). Resolución número 2674 DE 2013. Minsalud.
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2674-de-2013.pdf>

Social, M. d. (2021). Resolución n° 810 de 2021. *Ministerio de Protección Social*.

https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%20810de%202021.pdf

Social, M. P. (2005). Resolución numero 005109 DE 2005. *Ministerio Protección Social*.

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resolucion%205109%20de%202005.pdf>

Taha, S. S.-D., & Osama Abd El-Hamid Ibrahim. (2025). Producción de β -galactosidasa bacteriana utilizando residuos de la industria láctea. *Check for Updates*.

<https://researcherslinks.com/current-issues/Production-of-Bacterial-Galactosidase-Using/44/1/11322/html>

Thurrott, S. (2023). Flavonoles: ¿Tu cuerpo necesita un refuerzo de estos antioxidantes?

Banner Health. <https://www.bannerhealth.com/es/healthcareblog/teach-me/the-benefits-of-flavanols-in-your-diet>

Torres , K., & Mercedes, R. (2023). Obtención y caracterización de la pectina extraída de la cáscara de pepino (Cucumis Sativus L-Variedad Híbrido Dasher II) y. *Ibero*

American Journal of Engineering & technology Studies.

<file:///C:/Users/JHON/Downloads/Obtenci%C3%B3n+y+caracterizaci%C3%B3n+de+la+pectina+extra%C3%ADda+de+la+c%C3%A1scara+de+pepino.pdf>

Udaypal, R., & Pradeep, V. (2025). Transforming dairy effluent into valuable resources:

Harnessing microalgae. *El Sevier*. [https://pdf.sciencedirectassets.com/271450/1-s2.0-S1359511324X00148/1-s2.0-S1359511325000340/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEKz%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEa](https://pdf.sciencedirectassets.com/271450/1-s2.0-S1359511324X00148/1-s2.0-S1359511325000340/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEKz%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEa)

CXVzLWVhc3QtMSJIMEYCIQC7gUJS6ps91VVB75Yr6iySK3G6e8g0kofbS1Qr
4NRoNQIhALJCeuGpbZWV

- Udourioh, G., & Solomon, M. (2025). Revisión de la valorización de los residuos de la industria láctea mediante procesos termoquímicos, biológicos e integrados para la obtención de productos de valor añadido. *Food Science of animal resources*. e https://www.kosfaj.org/archive/view_article?pid=kosfa-45-2-375
- Unidas, N. (2018). ¿Sabes cuáles son los 17 objetivos de desarrollo sostenible? Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2018/08/sabes-cuales-son-los-17-objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Vénica, C., & Bergamini, C. (2020). Yogur reducido en lactosa e incrementado en galactooligosacáridos (GOS) prebióticos. *Conicet*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/137379>
- Vera, C., & Guerrero, C. (2022). Tendencias en bioactivos derivados de la lactosa: síntesis y purificación. *National Library of Medicine*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8776390/>
- Vincent. (2025). Lactasa: enzima que digiere la lactosa. *Lactolerance*. <https://www.lactolerance.fr/blog/es/lactasa-2/?srsltid=AfmBOoqkbWPfl9KirZ7mtl0Fzb8eAPh7sIzpA7RFe5s4UFYFY813prf0>
- Wang, G., & Jiang, J. (2024). Recombinant beta-galactosidase derived from *Enterobacter cloacae* Zjut. *Elsevier*. <https://pdf.sciencedirectassets.com/271428/1-s2.0-S1369703X24X00108/1-s2.0-S1369703X24003012/main.pdf?X-Amz-Security->

Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEKz%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEa
 CXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIDQohJPl0jmYxPPCBoSYZ06nNOgbgANoAAER
 5objxMaKAiEA3EqfSwh0Pd%2

Yu Zhu, A., & Fang, H. (2025). Avances en la síntesis de microcápsulas simbióticas con oligosacáridos y polisacáridos y sus aplicaciones biomédicas. *Sciences Direct*, 218. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996925012876?getft_integrator=scopus&pes=vor&utm_source=scopus

Zhao, J., & dandan , n. (2025). La β -galactosidasa modificada genéticamente cataliza la conversión de la lactosa en prebióticos in situ en la leche cruda. *National Library of Medicine*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40553201/>

Zhongyuan Li, & Xuegang Luo. (2025). Probióticos, prebióticos, simbióticos, postbióticos y paraprobióticos: nuevas perspectivas sobre alimentos funcionales y nutracéuticos. *MDPI*. <https://www.mdpi.com/2304-8158/14/15/2613>