



EDITORIAL
UNIÓN CIENTÍFICA



DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN YOGUR LIOFILIZADO ALTO EN FIBRA Y PROTEÍNA

Autores

- Britney Alejandra Bajaan Gaibor
- José Luis Altuna Vásquez
- Diego David Moposita Vásquez
- Darwin Alberto Núñez Torres

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN YOGUR LIOFILIZADO ALTO EN FIBRA Y PROTEÍNA

BRITNEY ALEJANDRA BAJAÑA GAIBOR

JOSÉ LUIS ALTUNA VÁSQUEZ

DIEGO DAVID MOPOSITA VÁSQUEZ

DARWIN ALBERTO NÚÑEZ TORRES



EDITORIAL
UNIÓN CIENTÍFICA

AUTORES INVESTIGADORES

Britney Alejandra Bajaña Gaibor 

*Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos
Naturales y del Ambiente*
Universidad Estatal de Bolívar - Ecuador.

José Luis Altuna Vásquez 

*Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos
Naturales y del Ambiente*
Universidad Estatal de Bolívar - Ecuador.

Diego David Moposita Vásquez 

*Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos
Naturales y del Ambiente*
Universidad Estatal de Bolívar - Ecuador.

Darwin Alberto Núñez Torres 

*Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos
Naturales y del Ambiente*
Universidad Estatal de Bolívar - Ecuador.

COMITÉ EDITORIAL

Claudio Xavier Borja Saltos
DOCTRINATECH S.A.S, Ecuador

EDITOR DE SECCIÓN

Carlos Luis Vásquez Freytez, PhD.
Universidad Técnica de Ambato, Ecuador

COMITÉ CIENTÍFICO

Elizabeth Perozo, PhD.
Universidad de Carabobo, Venezuela

Óscar Enrique Valbuena Vilchez, PhD.
Universidad de Carabobo, Venezuela

Mónica Del Pilar Silva Ordóñez, MSc.
Universidad Técnica de Ambato, Ecuador

Helen Rosmary Goitia Semeco, PhD.
Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Óscar Alí Corona, PhD.
Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra,
PUCMM, Campus Santiago. República Dominicana

ADAPTACIÓN Y MAQUETACIÓN

Michael Xavier Hachi Pazmiño, MSc.
Editorial Unión Científica. Ecuador

Copyright, 2025
Editorial Unin Cientfica

Autores

Britney Alejandra Bajaña Gaibor 
José Luis Altuna Vásquez 
Diego David Moposita Vásquez 
Darwin Alberto Núñez Torres 

Título

Desarrollo y caracterización de un yogur liofilizado alto en fibra y proteína

ISBN

978-9942-7391-0-0



1ra Edición (On-line)

Bajaña Gaibor, Britney Alejandra; Altuna Vásquez, José Luis; Moposita Vásquez, Diego David; Darwin Alberto, Núñez Torres.

Desarrollo y caracterización de un yogur liofilizado alto en fibra y proteína

Editorial: Editorial Unión Científica EUC, Ambato - Ecuador 2025

ISBN: 978-9942-7391-0-0

DOI 1: <https://doi.org/10.63804/libroseuc.2>

DOI 2: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15800801>

Área: Ingeniería y procesos de transformación de alimentos y bebidas

Páginas: 108



Licencia Creative Commons BY-NC-ND (Atribución, No Comercial, Sin Obras Derivadas) 4.0 Internacional.

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN YOGUR LIOFILIZADO ALTO EN FIBRA Y PROTEÍNA



Las obras publicadas por la Editorial Unión Científica han sido sometidas a un proceso de evaluación externa mediante arbitraje por pares bajo la modalidad de doble ciego, conforme a los estándares internacionales de revisión científica.

La Editorial Unión Científica se adhiere a principios éticos de publicación y revisión basados en las directrices del Committee on Publication Ethics (COPE).

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN YOGUR LIOFILIZADO ALTO EN FIBRA Y PROTEÍNA



Junio 2025 – Editorial Unión Científica, EUC

Copyright © Editorial Unión Científica, EUC

Copyright del texto © 2025 de Autores

<https://libros.editorialunioncientifica.com>

Este libro resume el trabajo de investigación, desarrollo y validación de un producto que, más allá de su carácter académico, tiene el potencial de transformar paradigmas en la industria alimentaria. Confiamos en que su contenido inspire a otros investigadores, profesionales y emprendedores a seguir explorando las múltiples posibilidades de innovación en el campo de los alimentos funcionales y la agroindustria.

Los autores

PRÓLOGO

El desarrollo de alimentos funcionales ha cobrado relevancia en los últimos años, especialmente frente a la creciente demanda de productos que satisfagan las necesidades nutricionales y que además aporten beneficios para la salud. En este contexto, el yogur se ha consolidado como un alimento básico gracias a sus propiedades nutricionales, versatilidad y aceptación global. La presente obra aborda un desafío particular: el desarrollo y caracterización de un yogur liofilizado enriquecido con fibra y proteína, concebido para ofrecer una alternativa saludable y funcional en la industria de alimentos.

Este trabajo se enfoca en el potencial del salvado de trigo y la inulina como ingredientes importantes, cuyas propiedades prebióticas contribuyen a la salud digestiva y fortalecen el sistema inmunológico. A través de un diseño experimental de 2², se optimizaron las proporciones de estos componentes, logrando un producto con características sensoriales y nutricionales adecuadas. El proceso de liofilización, integrado en la elaboración del producto, permitió preservar las propiedades funcionales y alargar su vida útil, posicionándolo como una opción práctica y nutritiva para consumidores modernos.

La investigación aquí presentada se enfocó en el desarrollo de un yogur liofilizado en respuesta a las tendencias actuales de consumo, donde se valoran los productos que combinan beneficios para la salud, conveniencia y sostenibilidad. Este yogur tipo snack representa una alternativa en cuanto a la diversificación de la oferta alimenticia y en la revalorización de subproductos como el salvado de trigo, con lo cual se promueve un enfoque integral y sostenible en la agroindustria.

Aplicar los conocimientos que envuelven la elaboración de un yogur liofilizado alto en fibra y proteína es abrir la puerta a una nueva forma de alimentación saludable y práctica. Este libro explora los avances tecnológicos que hacen posible transformar un alimento tradicional en un producto funcional de larga duración e invita a reflexionar sobre cómo las elecciones alimentarias pueden impactar de forma beneficiosa en la salud y el bienestar humano. Si estás interesado en la ciencia de los alimentos, la innovación en productos funcionales o simplemente en mejorar tu conocimiento sobre nutrición, este libro será una fuente de inspiración para adoptar y promover soluciones creativas en un mundo que demanda alimentos más saludables y sostenibles. ¡Atrévete a explorar y transformar tu perspectiva sobre la alimentación moderna!

RESUMEN

El yogur liofilizado desarrollado tiene propiedades prebióticas, empleando dos fuentes de fibra: inulina y salvado de trigo. Se buscó generar un producto tipo snack como alternativa en la industria láctea, destacado por su alto contenido de fibra y proteína. Se llevó a cabo un diseño experimental 2^2 , generando cuatro tratamientos, cada uno con una réplica para la elaboración. Las variables de respuesta evaluadas para el yogur bebible fueron cantidad de fibra, proteína, grasa y potencial de hidrógeno. Previo al estudio, se realizó un análisis fisicoquímico de la materia prima, para verificar el cumplimiento de la normativa INEN 9:2012. En cuanto a las variables de respuesta, se alcanzaron valores óptimos de fibra (6,11 %), grasa (3,6 %), pH (4,49) y proteína (4,22 %). Destacó el tratamiento T4 (2 % de inulina y 4 % de salvado de trigo) por sus características bromatológicas. Del análisis sensorial destacó el tratamiento T1 (1 % de inulina y 2 % de salvado de trigo) por sus características organolépticas. El análisis fisicoquímico y microbiológico del producto final elaborado a partir del T1 mostró un contenido de fibra (9,09 %), proteína (28,01 %), grasa (12,80 %), humedad (5,30 %), ceniza (2,30 %), calcio (543,59 mg/100 g) y conteo de lactobacilos de $1,00 \pm 0,27 \times 10^7$ UFC. Finalmente, se elaboró el diseño de la etiqueta para el producto liofilizado. Se concluyó que el desarrollo de este yogur es una alternativa viable y prometedora, destacándose como una opción saludable y con beneficios nutricionales significativos para los consumidores.

Palabras clave: Análisis sensorial; inulina; prebióticos; salvado de trigo; yogur liofilizado.

ABSTRACT

The developed freeze-dried yogurt exhibits prebiotic properties, utilizing two fiber sources: inulin and wheat bran. The aim was to create a snack-type product as an alternative within the dairy industry, characterized by its high fiber and protein content. A 2² factorial completely randomized design was employed, generating four treatments, each with one replicate for formulation. The response variables evaluated in the drinkable yogurt included fiber content, protein, fat, and hydrogen potential (pH). Prior to the study, a physicochemical analysis of the raw materials was conducted to ensure compliance with the INEN 9:2012 standard. Regarding the response variables, optimal values were obtained for fiber (6.11%), fat (3.6%), pH (4.49), and protein (4.22%). Treatment T4 (2% inulin and 4% wheat bran) stood out for its superior bromatological characteristics, while sensory analysis identified treatment T1 (1% inulin and 2% wheat bran) as the most preferred due to its organoleptic properties. The physicochemical and microbiological analysis of the final product derived from T1 revealed a fiber content of 9.09%, protein 28.01%, fat 12.80%, moisture 5.30%, ash 2.30%, calcium 543.59 mg/100 g, and a viable *Lactobacillus* count of $1.00 \pm 0.27 \times 10^7$ $1.00 \pm 0.27 \times 10^7$ CFU. Finally, a label design was developed for the freeze-dried product. The findings conclude that the development of this yogurt represents a viable and promising alternative, offering a nutritious and functional option with significant health benefits for consumers.

Keywords: Sensory analysis; inulin; prebiotics; wheat bran; freeze-dried yogurt.

**DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE
UN YOGUR LIOFILIZADO ALTO EN FIBRA Y
PROTEÍNA**

Índice

INTRODUCCIÓN	1
1.1. Alimentos funcionales y nutrición saludable----	1
1.2. El yogur como alimento funcional -----	2
1.3 Fibra dietética y su importancia en la salud -----	4
1.4 Proteínas y su aporte nutricional -----	5
1.5 Proceso de liofilización y aplicaciones en alimentos	6
1.6 Alimentos funcionales y su influencia en la salud pública-----	7
1.7 Tendencias en la industria alimentaria-----	8
1.8 La inulina: definición, propiedades y aplicación en productos lácteos -----	9
METODOLOGÍA	11

2.1	Caracterización de la materia prima -----	12
2.2	Determinación del porcentaje óptimo de las materias primas -----	13
2.3	Desarrollo de un producto fermentado liofilizado enriquecido con fibra -----	14
2.4	Análisis de características físicas, químicas y microbiológicas del mejor producto liofilizado	18
2.5	Evaluación sensorial -----	19

RESULTADOS **23**

3.1	Caracterización fisicoquímica de la materia prima	23
3.2	Análisis del yogur bebible-----	24
3.2.1	<i>Contenido de fibra</i> -----	25
3.2.2	<i>Contenido de grasa</i> -----	31
3.2.3	<i>Valor de pH</i> -----	34
3.2.4	<i>Contenido de proteínas</i> -----	39
3.3	Análisis fisicoquímico del producto liofilizado	43
3.3.1	<i>Contenido de fibra</i> -----	43
3.3.2	<i>Contenido de proteínas</i> -----	48

3.4	Análisis sensorial del yogur liofilizado -----	52
3.4.1	<i>Color</i> -----	53
3.4.3	<i>Sabor</i> -----	56
3.4.5	<i>Textura</i> -----	57
3.4.6	<i>Aceptabilidad</i> -----	58
3.5	Determinación del mejor tratamiento liofilizado	60
3.5.1	<i>Análisis físico químico y microbiológico del mejor tratamiento</i> -----	60
3.5.2	<i>Contenido de fibra</i> -----	61
3.5.3	<i>Contenido de proteína</i> -----	62
3.5.4	<i>Contenido de calcio</i> -----	62
3.5.5	<i>Contenido de humedad</i> -----	63
3.5.6	<i>Contenido de cenizas</i> -----	63
3.5.7	<i>Contenido de grasa</i> -----	63
3.5.8	<i>Conteo de Lactobacillus spp.</i> -----	64
3.6	Imagen comercial del producto-----	65

CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE
UN YOGUR LIOFILIZADO ALTO EN FIBRA Y
PROTEÍNA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factores y niveles en estudio. -----	11
Tabla 2: Parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados en la leche según normas INEN ----	12
Tabla 3: Análisis proximal de inulina y salvado de trigo según normas INEN-----	13
Tabla 4: Criterios de calidad acorde a la Norma NTE INEN 2395.-----	13
Tabla 5: Análisis físico, químico y microbiológico del producto liofilizado. -----	18
Tabla 7: Análisis fisicoquímico de la leche de vaca --	23
Tabla 8: Porcentaje de fibra del yogur bebible -----	25
Tabla 9: Niveles de factores y determinación del valor óptimo para ingredientes funcionales -----	26
Tabla 10: Coeficientes se regresión para la variable respuesta porcentaje fibra del yogur bebible-----	27

Tabla 11: Análisis de varianza para el contenido de fibra en el yogur bebible con la exclusión de la interacción entre la inulina y el salvado de trigo -----	28
Tabla 12: Optimización de la respuesta con la exclusión de la interacción entre la inulina y el salvado de trigo	29
Tabla 13: Coeficientes de regresión para el contenido de fibra con exclusión de la interacción entre la inulina y el salvado de trigo -----	30
Tabla 14: Contenido de grasa en el yogur bebible expresado en porcentaje-----	31
Tabla 15: Análisis de la varianza para el contenido de grasa	31
Tabla 16: Optimización de la respuesta. -----	32
Tabla 17: Coeficiente de regresión del modelo ajustado para el contenido de grasa en el yogur bebible -----	33
Tabla 18: Resultados de pH del yogur bebible expresado en porcentaje-----	34
Tabla 19: Análisis de varianza para el potencial de hidrógeno.	35
Tabla 20: Optimización de la respuesta. -----	36
Tabla 21: Coeficientes se regresión para el potencial de hidrógeno en el yogur bebible-----	37

Tabla 22: Resultados de proteína yogur bebible expresado en porcentaje-----	39
Tabla 24: Análisis de varianza para el contenido de proteína en el yogur bebible. -----	39
Tabla 25: Optimización de la respuesta. -----	41
Tabla 26: Coeficientes de regresión para el porcentaje de proteína en el yogur bebible -----	41
Tabla 27: Contenido de fibra en el yogur liofilizado expresado en porcentaje-----	44
Tabla 28: Análisis de varianza para el porcentaje fibra en el yogur liofilizado -----	44
Tabla 31: Optimización de la respuesta. -----	47
Tabla 32: Coeficientes se regresión para la variable respuesta porcentaje fibra. -----	47
Tabla 32: Resultados de proteína en el yogur liofilizado expresado en porcentaje -----	48
Tabla 33: Análisis de varianza para el porcentaje de proteína en el yogur liofilizado. -----	49
Tabla 35: Optimización de la respuesta-----	51
Tabla 36: Coeficientes se regresión para el porcentaje proteína en el yogur liofilizado. -----	51

Tabla 37: Análisis de varianza para el color del yogur liofilizado. -----	53
Tabla 38: Prueba de rangos múltiples para la variable respuesta color del yogur liofilizado. -----	54
Tabla 39: Análisis de varianza para la variable olor del yogur liofilizado. -----	54
Tabla 40: Pruebas de rangos múltiples para la variable olor del yogur liofilizado. -----	55
Tabla 41: Análisis de varianza para la variable sabor del yogur liofilizado. -----	56
Tabla 42: Prueba de rangos múltiples de la variable sabor del yogur liofilizado. -----	57
Tabla 43: Análisis de varianza de la textura del yogur liofilizado. -----	57
Tabla 44: Prueba de rangos múltiples de la variable textura del yogur liofilizado. -----	58
Tabla 45: Análisis de varianza para la variable aceptabilidad del yogur liofilizado -----	59
Tabla 46: Prueba de rangos múltiples de la variable aceptabilidad del yogur liofilizado. -----	60
Tabla 47: Análisis físico, químico y microbiológico del yogur liofilizado preparado a base de 1 % de inulina y 2 % de	

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1:** Representación geométrica del diseño 2^k . - 12
- Figura 2:** Diagrama de flujo de la preparación del salvado de trigo para la adición en el yogur. ----- 15
- Figura 3:** Diagrama de flujo de la elaboración de yogur con características prebióticas.----- 16
- Figura 4:** Diagrama de flujo del liofilizado de yogur con características prebióticas----- 17
- Figura 5:** Efectos principales del nivel de inulina y salvado de trigo sobre el contenido de fibra del yogur bebible 26
- Figura 6:** Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de fibra en el yogur bebible ----- 28
- Figura 7:** Efectos principales para el contenido de fibra después de la exclusión de la interacción entre la inulina y el salvado de trigo ----- 29
- Figura 8:** Diagrama de Pareto estandarizado para la variable respuesta fibra con exclusión de la interacción entre la inulina y el salvado de trigo ----- 30
- Figura 9:** Efectos principales del nivel de inulina y salvado de trigo sobre el contenido de grasa en el yogur bebible32

Figura 10: Diagrama de Pareto estandarizado para la variable respuesta grasa con exclusión de la interacción entre la inulina y el salvado de trigo.----- 34

Figura 11: Efectos principales del nivel de inulina y salvado de trigo sobre el potencial de hidrógeno en el yogur bebible 36

Figura 12: Diagrama de Pareto estandarizado para la variable respuesta el potencial de hidrógeno con exclusión de la interacción entre la inulina y el salvado de trigo.38

Figura 13: Interacciones entre el contenido de inulina y salvado de trigo y el potencial de hidrógeno del yogur. 38

Figura 14: Efectos principales del nivel de inulina y salvado de trigo sobre el contenidos de proteína en el yogur bebible. ----- 40

Figura 15: Interacciones entre el contenido de inulina y salvado de trigo y el proteína en el yogur bebible.----- 41

Figura 16: Diagrama de Pareto estandarizado para la variable respuesta fibra. ----- 43

Figura 17: Gráfico de efectos principales para el porcentaje de fibra en el yogur liofilizado.----- 45

Figura 18: Interacción entre el contenido de inulina y salvado de trigo y el fibra en el yogur liofilizado----- 46

Figura 19: Diagrama de Pareto estandarizado para el porcentaje

de fibra en el yogur liofilizado.-----	48
Figura 20: Gráfico de efectos principales para la variable porcentaje de proteína en el yogur liofilizado--	50
Figura 21: Gráfico de interacción para la variable respuesta porcentaje de proteína en el yogur liofilizado--	50
Figura 22: Diagrama de Pareto estandarizado para el porcentaje de proteína en el yogur liofilizado -----	52
Figura 23: Gráfico de medias para la variable color del yogur liofilizado -----	53
Figura 24: Gráfico de medias para el olor del yogur liofilizado -----	55
Figura 25: Gráfico de medias de la variable sabor del yogur liofilizado -----	56
Figura 26: Gráfico de medias de la textura del yogur liofilizado. -----	58
Figura 27: Gráfico de medias para la aceptabilidad del yogur liofilizado. -----	59
Figura 28: Propuesta de etiqueta del producto final.	67

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN YOGUR LIOFILIZADO ALTO EN FIBRA Y PROTEÍNA

Introducción

1.1. Alimentos funcionales y nutrición saludable

Actualmente, muchos alimentos son descritos como “alimentos funcionales”, sin embargo, este término ha sufrido diferentes acepciones, entre las cuales, una de las más recientes y completas lo define como: Alimentos novedosos formulados para contener microorganismos vivos u otros tipo de ingredientes como nutrientes, fibra dietética, fotoquímicos o probióticos, los cuales se adicionan en una concentración segura y suficientemente alta para proporcionar un posible beneficio en la mejora de la salud o prevención de enfermedades [1].

De acuerdo con su naturaleza, los alimentos funcionales son clasificados en: alimentos convencionales que contienen sustancias bioactivas naturales, alimentos modificados mediante enriquecimiento con sustancias bioactivas en alimentos con ingredientes alimentarios sintetizados, como algunos carbohidratos especializados con efectos probióticos [2].

El yogur, un alimento milenario originado a partir de la fermentación de la leche, es ampliamente reconocido por sus beneficios para la salud y su aporte nutricional debido a su alto contenido de calcio, probióticos y proteínas, ocupando un lugar importante en las dietas saludables alrededor del mundo [3], [4]. Así, el yogur es categorizado en dos tipos principales: yogur de cultivo estándar/natural que utiliza cepas de cultivos iniciadores tradicionales como *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, y el yogur funcional que contiene probióticos, prebióticos, antioxidantes, vitaminas, proteínas, minerales y/u otros compuestos bioactivos adicionales diseñados para mejorar la salud general o abordar problemas de salud específicos [5].

En los últimos años, la demanda por productos lácteos que ofrezcan beneficios adicionales a la salud ha crecido considerablemente, posicionando al yogur como un vehículo ideal para la incorporación de ingredientes funcionales como la fibra y proteínas suplementarias. La fibra dietética, necesaria para el mantenimiento de una función digestiva saludable, y la proteína, vital para la reparación y

construcción de tejidos, se destacan como elementos claves para promover la salud general y prevenir enfermedades [6].

En este contexto, el yogur funcional está ganando protagonismo. La combinación de ingredientes como fibra y proteína permite desarrollar productos que satisfacen las necesidades nutricionales, previenen enfermedades y promueve el bienestar humano. Estos alimentos representan una alternativa a las tendencias actuales de salud y bienestar, en las que los consumidores buscan soluciones prácticas y efectivas para mejorar su calidad de vida [7].

Entre las técnicas utilizadas para preservar los beneficios para la salud de los alimentos funcionales con alta viabilidad se incluye la liofilización, la cual consiste en hacer un secado por congelación al vacío, lo que representa un avance innovador en la preservación y mejora de los alimentos. Este método permite extender la vida útil del yogur al tiempo que conserva sus propiedades nutricionales y funcionales, asegurando la estabilidad de los probióticos y de los componentes bioactivos. Al eliminar casi por completo el contenido de agua, el yogur liofilizado adquiere una textura ligera y una versatilidad única que facilita su almacenamiento y transporte, convirtiéndolo en un producto ideal para consumidores con estilos de vida dinámicos [8], [9].

El presente libro aborda el desarrollo y la caracterización de un yogur liofilizado enriquecido con fibra y proteína, destacando tanto los aspectos tecnológicos del proceso de liofilización como los beneficios nutricionales y funcionales del producto final. Con este trabajo, se busca responder a las demandas del consumidor moderno y a los retos de la industria alimentaria contemporánea.

En este apartado se presenta el enfoque científico que sustenta el desarrollo de un yogur liofilizado alto en fibra y proteína. Se abordarán aspectos científicos relacionados con las propiedades nutricionales del yogur, así como el proceso de liofilización y su impacto en la preservación de los nutrientes y características funcionales de los alimentos.

1.2. El yogur como alimento funcional

El yogur es un alimento probiótico rico en nutrientes y con cualidades especiales que ha sido propuesto como medida de la calidad nutricional y se ha vinculado a hábitos alimentarios saludables [10]. Este se elabora a partir de diferentes tipos de leches, lo que le confiere propiedades únicas que varían en función de las propiedades de la leche fresca, en polvo, semidescremada, sin grasa y leche ultra alta temperatura, UHT [11]. El yogur es un alimento parcialmente sólido que contiene una red de proteínas con glóbulos de grasa integrados en su microestructura. La microestructura y los atributos reológicos del yogur juegan un papel importante en la determinación de la calidad del producto, ya que están estrechamente asociados con características deseables como: fluidez, firmeza y

suavidad [12].

El desarrollo de alimentos funcionales responde a la creciente preocupación por mejorar la calidad de la dieta y promover beneficios específicos para la salud. En este contexto, el yogur, ampliamente reconocido por su contenido de nutrientes esenciales y cultivos vivos, ha demostrado efectos positivos en la salud digestiva e inmunológica. Por otro lado, la integración de tecnologías como la liofilización permite potenciar estas propiedades, al tiempo que mejora la estabilidad y accesibilidad del producto [13].

En este contexto, es un alimento rico en nutrientes esenciales y compuestos bioactivos, cuya calidad nutricional puede potenciarse mediante la acción de bacterias ácido-lácticas, BAL, y la producción de exopolisacáridos, EPS. Los EPS, generados por BAL como *Pediococcus acidilactici*, forman una matriz protectora que mejora la textura, estabilidad y propiedades reológicas del yogur, además de aportar beneficios funcionales. Estos compuestos poseen propiedades antioxidantes importantes y contribuyen a la salud intestinal al favorecer la tolerancia a condiciones gástricas adversas y la actividad antimicrobiana. En el caso del yogur fortificado con exopolisacáridos (EPS), se ha demostrado un incremento en la concentración de proteínas y calcio, además una mejora significativa en su capacidad antioxidante, lo que proporciona beneficios adicionales para la población con intolerancia a la lactosa [14].

El consumo de yogur ha demostrado ser un aliado en la prevención del síndrome metabólico, MetS, un conjunto de factores de riesgo como obesidad, hipertrigliceridemia, hipertensión e hiperglucemia. Diversos estudios clínicos y metaanálisis han resaltado los efectos beneficiosos del yogur, ya sea convencional, bajo en grasa, alto en grasa, estilo griego o enriquecido con nutrientes y probióticos. Componentes como el calcio, la vitamina D, las proteínas y las bacterias probióticas presentes en el yogur están asociados con mejoras significativas en los factores de riesgo del MetS. Estos efectos incluyen la regulación del peso corporal, control de los niveles de lípidos y glucosa en sangre, así como la modulación de la presión arterial [15].

La fortificación del yogur con ingredientes funcionales como fibra, proteínas y minerales es una estrategia empleada para impulsar su valor nutricional y así los beneficios para la salud humana. Estudios recientes han demostrado que la incorporación de harinas funcionales, como las de quinua, garbanzo, soya y arroz, enriquece el contenido de nutrientes esenciales del yogur al tiempo que favorece la viabilidad de cepas probióticas como *Lactobacillus rhamnosus* durante la fermentación y el almacenamiento. Estos yogures fortificados han mostrado mantener una acidez estable y alta aceptabilidad sensorial en términos de apariencia, sabor y textura, lo que los convierte en una opción atractiva para consumidores conscientes de su salud [16].

Este tipo de yogur fortificado, que incorpora probióticos, prebióticos, antioxidantes, vitaminas y compuestos bioactivos, contribuye a la salud digestiva, fortalece la función inmunológica y mejora el metabolismo. La adición de fibra favorece la regulación intestinal y ayuda a prevenir problemas como el síndrome del intestino irritable y el estreñimiento, mientras que los minerales y proteínas fortificantes apoyan la salud ósea y muscular. Investigaciones recientes sugieren que este tipo de yogur también puede influir positivamente en el estado de ánimo y la función cognitiva, lo que amplía su impacto en el bienestar integral [17].

Por otra parte, el yogur con fibra, proteínas y minerales representa una estrategia efectiva para combatir la malnutrición, ya que permite enriquecer un alimento ampliamente consumido y accesible a todas las edades. Se ha demostrado que la incorporación de proteínas y minerales extraídos de semillas de jaca (*Artocarpus heterophyllus*) al yogur mejoró significativamente su contenido nutricional, destacando su aporte proteico con un 78,47 % en el aislado y minerales de hasta 33,45 % de cenizas en el concentrado. La combinación óptima de 6 % de aislado proteico y 747 mg de concentrado mineral por cada 100 g de yogur mantuvo la aceptabilidad sensorial, mostrando que el enriquecimiento aportó beneficios nutricionales, manteniendo las preferencias de los consumidores [18].

1.3 Fibra dietética y su importancia en la salud

La fibra dietética, FD, es un tipo de carbohidrato que no se digiere ni se absorbe en el intestino delgado humano, pero puede ser fermentada parcial o completamente en el intestino grueso. Constituye un conjunto de carbohidratos y sus análogos, que incluye polisacáridos no digeribles, oligosacáridos y sustancias vegetales asociadas. Según su solubilidad en agua caliente, la fibra dietética se clasifica en fibra dietética soluble, FDS, e insoluble, FDI. La FDS, como la pectina, los oligosacáridos y los β -glucanos, tiene alta viscosidad y propiedades de adsorción, que contribuyen a la regulación de niveles de glucosa, colesterol y metales pesados. Por otro lado, la FDI, compuesta principalmente por celulosa, lignina y algunas hemicelulosas, posee baja viscosidad, pero buenas capacidades de retención y absorción de agua y aceite, lo cual favorece la salud digestiva [19].

En general, la fibra dietética es un componente importante en la dieta humana, reconocida por sus numerosos beneficios para la salud y su papel en la prevención de diversas enfermedades crónicas. Aunque no existe una definición única para este término, su clasificación moderna abarca criterios como el origen, estructura de los polímeros, solubilidad, propiedades de intercambio iónico, capacidad de sorción y por sus efectos fisiológicos. Entre sus propiedades más destacadas, la fibra dietética contribuye al control del peso corporal, reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer, mejora la regulación de la glucosa en sangre en personas con diabetes y alivia el estreñimiento. Además,

su inclusión en la dieta promueve una microbiota intestinal saludable y refuerza la función digestiva [20].

La FD desempeña un papel fundamental en la salud humana al influir de forma positiva en la composición y función del microbioma intestinal. Investigaciones revelan que actúa como un sustrato en la producción de ácidos grasos de cadena corta, AGCC, como el butirato, mediante la fermentación bacteriana. Estos metabolitos tienen efectos en pro de la salud, lo que incluye la modulación del sistema inmunitario, regulación metabólica y la protección contra enfermedades inflamatorias. Además, dietas altas en fibra, favorecen la diversidad del microbioma y la recuperación tras intervenciones que afectan su equilibrio [21]. Se ha evaluado el impacto del consumo de FDS y FDI derivadas de diferentes fuentes alimenticias (cereales, frutas, vegetales) en la mortalidad por determinadas causas, enfermedades cardiovasculares y cáncer. Se encontró que, un mayor consumo de FD se asocia significativamente con una reducción del riesgo de mortalidad, especialmente en el caso de las fibras derivadas de cereales. Además, se observó una relación dosis-respuesta, donde el beneficio protector se estabilizó con ingestas superiores a los 15 g diarios. Sin embargo, las FDI y las provenientes de frutas y vegetales mostraron efectos menos consistentes en la reducción de la mortalidad específica por cáncer [22].

1.4 Proteínas y su aporte nutricional

Las proteínas son biomoléculas esenciales en el cuerpo humano, desempeñan diversas funciones críticas para la vida. En el crecimiento, las proteínas son importantes ya que proporcionan los aminoácidos necesarios para la síntesis y el desarrollo de tejidos y órganos, especialmente durante etapas de rápido desarrollo como la infancia, adolescencia y embarazo. En la reparación de tejidos, las proteínas juegan un papel destacable al restaurar las células dañadas y promover la regeneración, un proceso vital en la recuperación de heridas, cirugías o lesiones musculares. Además, intervienen en el sistema inmunológico, como componentes de anticuerpos, citocinas y otras moléculas de defensa que protegen al organismo contra infecciones y enfermedades [23].

Las proteínas pueden ser de origen animal o vegetal, presentan diferencias en su composición y biodisponibilidad, lo cual influye en su impacto sobre el rendimiento físico en deportistas de fuerza. Las proteínas animales, como las provenientes de carne, pescado, huevos y lácteos, son consideradas de alto valor biológico debido a su perfil completo de aminoácidos esenciales y su mayor capacidad de ser utilizadas eficientemente por el organismo. En contraste, las proteínas vegetales, aunque beneficiosas por su menor contenido en grasas saturadas y colesterol y su aporte adicional de carbohidratos y fibra, suelen ser deficientes en ciertos aminoácidos esenciales como la lisina o la metionina, lo que exige una adecuada

combinación de fuentes proteicas para cubrir los requerimientos nutricionales [24].

Las proteínas de la leche, principalmente las caseínas y las proteínas del suero, desempeñan un papel importante en la nutrición y la salud debido a su alto valor biológico y su capacidad para formar coágulos en el estómago durante la digestión. Se ha demostrado que la digestión gástrica de leches con alto contenido proteico, enriquecidas mediante ultrafiltración o adición de leche en polvo descremada, da lugar a diferencias significativas en la formación y degradación de los coágulos en comparación con la leche no concentrada. Estas diferencias están relacionadas con factores como la proporción de minerales ligados a las caseínas y el grado de desnaturalización de las proteínas del suero. Además, los coágulos formados por leches enriquecidas con proteínas presentan mayor resistencia a la deformación y una estructura más heterogénea, lo que retrasa su degradación en el estómago y permite la detección de proteínas intactas tras 120 minutos de digestión [25].

Las dietas ricas en proteínas, DRP, ejercen efectos destacables sobre la salud muscular, metabólica y el control del apetito. Su consumo favorece la preservación de la masa muscular, reduce la grasa corporal y mejora la saciedad mediante mecanismos complejos, como la liberación de péptidos reguladores que envían señales de plenitud al sistema nervioso central. Adicionalmente, estas dietas promueven la termogénesis inducida y procesos metabólicos como la gluconeogénesis y cetogénesis hepáticas, lo cual contribuye al balance energético y la reducción del hambre. Por otro lado, una ingesta elevada y prolongada puede asociarse a riesgos metabólicos y clínicos, especialmente en personas con patologías hepáticas o renales, lo que requiere de supervisión médica para su implementación [26].

1.5 Proceso de liofilización y aplicaciones en alimentos

La liofilización, también conocida como secado por congelación, es una tecnología interdisciplinaria que combina el congelamiento y el secado al vacío, diseñada para preservar productos sensibles al calor, como alimentos y medicamentos. Su principio básico consiste en la sublimación del agua, es decir, la conversión directa del hielo en vapor sin pasar por el estado líquido, lo que permite eliminar la humedad de manera controlada mientras se mantiene la estructura y propiedades originales del producto. El proceso se desarrolla en tres etapas principales: congelación, sublimación primaria y desorción secundaria. Las principales ventajas son la conservación a largo plazo de alimentos y medicamentos, retención de nutrientes y estabilidad de compuestos bioactivos, aunque también tiene desventajas, como costos elevados y tiempos prolongados [8].

La liofilización ofrece beneficios básicamente en la conservación de alimentos, específicamente en productos lácteos, debido a su capacidad para preservar

la viabilidad y funcionalidad de microorganismos beneficiosos, como las bacterias ácido-lácticas, BAL. Estas bacterias, fundamentales en la producción de alimentos fermentados y reconocidas por sus efectos beneficiosos en la salud, son altamente sensibles a condiciones ambientales adversas, lo que compromete su eficacia durante el procesamiento y almacenamiento. La liofilización, como técnica de secado por congelación, permite encapsular estas bacterias en matrices alimentarias, estabilizando sus propiedades probióticas y mejorando su supervivencia a largo plazo [27].

Esta tecnología tiene un impacto positivo en la preservación de las propiedades nutricionales y funcionales específicas del yogur, ya que este es transformado en un polvo estable, de alta calidad y con larga vida útil, sin necesidad de refrigeración. Este proceso mantiene los valores nutricionales y terapéuticos del yogur, incluyendo la actividad antitumoral asociada con la pared celular de las bacterias iniciadoras, que permanece activa incluso tras el secado. En comparación con otras técnicas de secado, la liofilización ofrece una mayor retención de cultivos vivos, esenciales para garantizar beneficios probióticos. Estudios demuestran que el yogur liofilizado puede conservarse hasta por 1-2 años a 4 °C, con un conteo bacteriano viable de al menos 10×10^6 UFC/g después de un año de almacenamiento [28].

La liofilización se emplea en la actualidad como una técnica enfocada en la preservación y mejora de las propiedades de alimentos funcionales, especialmente en productos simbióticos, que combinan probióticos y prebióticos. Se ha utilizado para encapsular *Lactiplantibacillus plantarum* NCIM 2083, junto a fructooligosacáridos, proteínas de suero y maltodextrina, y se ha demostrado la viabilidad de los microorganismos. Estos probióticos encapsulados mediante liofilización presentaron una excelente capacidad de agregación, adherencia intestinal y actividad antagonista frente a patógenos intestinales como *E. coli* y *S. faecalis*, lo que supone un potencial para mejorar la salud digestiva y prevenir enfermedades gastrointestinales. En el mercado, estos productos simbióticos encapsulados en polvo se utilizan cada vez más en diversas aplicaciones alimentarias. Ejemplos de estos productos incluyen yogures funcionales, batidos de proteínas y barras energéticas [29].

1.6 Alimentos funcionales y su influencia en la salud pública

Los alimentos funcionales, según las definiciones adoptadas por organizaciones internacionales como la Organización para la Alimentación y la Agricultura, FAO, y la Organización Mundial para la Salud, OMS, son aquellos que, además de aportar nutrientes básicos, proporcionan beneficios específicos para la salud, por lo que contribuyen a la prevención de enfermedades y la mejora del bienestar general. Las directrices establecidas por la FAO, la OMS y la Autoridad Europea

de Seguridad Alimentaria, EFSA, exigen que los microorganismos o componentes utilizados en estos alimentos sean rigurosamente evaluados en términos de seguridad y funcionalidad antes de su comercialización [30].

La creciente demanda de alimentos que ofrezcan beneficios adicionales a la nutrición básica está impulsada por preocupaciones sobre la seguridad alimentaria global, el aumento de la población mundial y la necesidad de abordar deficiencias nutricionales, especialmente en países en desarrollo. Para mitigar estos desafíos, Organizaciones como la FAO y la OMS han recomendado una transición hacia alimentos sostenibles, ricos en nutrientes y de alta eficiencia calórica. Los alimentos funcionales, han ganado popularidad debido a su capacidad para prevenir y gestionar trastornos crónicos como obesidad, diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares. Ejemplos destacados incluyen productos enriquecidos con granos infrautilizados como quinoa, amaranto, y chía, que además de proporcionar nutrientes esenciales, contribuyen a mejorar la salud intestinal, modular el sistema inmune y reducen los impactos ambientales asociados con la producción de alimentos de origen animal [31].

La ciencia y la innovación desempeñan un papel importante en el desarrollo de alimentos funcionales con propiedades específicas para la salud, como los yogures enriquecidos con fibra y proteínas. Un ejemplo destacado es la incorporación de mermelada de flores de *Hibiscus sabdariffa* L., HM, como ingrediente bioactivo, en un yogur tipo batido. Este aprovechamiento mejoró notablemente las propiedades antioxidantes, demostrada con un incremento en la capacidad de eliminar radicales libres, reducir la concentración de cobre (II) e incrementar el contenido total de compuestos fenólicos. Adicionalmente, la adición de HM aumentó la concentración de minerales esenciales como hierro y manganeso, sin introducir niveles detectables de metales potencialmente tóxicos para la salud. Desde una perspectiva sensorial, yogures con un 20 % de HM obtuvieron altas calificaciones en sabor y textura [32].

1.7 Tendencias en la industria alimentaria

Las tendencias actuales en la industria de alimentos saludables y funcionales reflejan un cambio importante en los patrones de consumo, impulsado por la creciente demanda de productos que combinen conveniencia, salud y sostenibilidad. Un ejemplo destacado es la “snackificación”, que representa la transición de comidas tradicionales hacia un consumo más frecuente de porciones pequeñas de alimentos. Este cambio ha generado una demanda por snacks saludables, naturales y funcionales, como barras de cereales enriquecidas con ingredientes reconocibles y alineadas con conceptos como la *Planetary Health Diet*. A pesar de ello, persisten desafíos como la reducción de azúcares, grasas saturadas y el uso de ingredientes altamente procesados en productos populares, como barras

de cereales y galletas para diferentes grupos etarios [33]our traditional eating behaviour is clearly shifting from three substantial meals in a day to the frequent consumption of smaller amounts of food. This new way of eating is also known as “Snackification”. Along with consumer’s increasing snacking behaviour, their awareness and concerns about their own and the planet’s health are rising too, resulting in a demand for healthy and natural snacks. Hence, manufacturers are driven to (re.

La alimentación desempeña un papel trascendente en el bienestar de la población, especialmente ante el aumento de enfermedades crónicas relacionadas con la dieta, como obesidad, diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares. En este sentido, la innovación en alimentos funcionales ofrece alternativas para abordar estos desafíos, a través de productos lácteos enriquecidos con compuestos bioactivos que promueven la salud. Un ejemplo es el desarrollo de quesos funcionales elaborados con extractos vegetales de *Moringa oleifera* con alto contenido de polifenoles, y cepas probióticas, que han demostrado mejorar propiedades antioxidantes y funcionales [34].

El desarrollo de productos lácteos funcionales a nivel industrial está envuelto en importantes desafíos y oportunidades para la innovación y el crecimiento del mercado. Entre los principales retos se encuentran los altos costos, la complejidad del proceso de desarrollo, el riesgo de fracaso en el lanzamiento de nuevos productos y la necesidad de competencias especializadas para abordar la encrucijada entre los mercados de alimentos y salud. Por otro lado, las oportunidades son notables en un mercado global de alimentos funcionales valorado en miles de millones de dólares, impulsado por la creciente demanda de alimentos funcionales. Tecnologías emergentes y enfoques innovadores, como el desarrollo de alimentos personalizados y la integración de ingredientes funcionales con respaldo científico, ofrecen nuevas formas de satisfacer las expectativas del consumidor y diferenciar productos en un sector altamente competitivo [35], [36].

1.8 La inulina: definición, propiedades y aplicación en productos lácteos

La inulina es un tipo de fibra dietética soluble clasificada como un fructano, compuesta por unidades de fructosa con un extremo de glucosa. Se encuentra de manera natural en diversas plantas como la achicoria, el agave, el ajo y la cebolla. Su estructura le confiere propiedades prebióticas, ya que resiste la digestión en el tracto gastrointestinal superior y llega intacta al colon, donde sirve de sustrato para la microbiota beneficiosa, lo cual favorece el crecimiento de bacterias como *Bifidobacterium* y *Lactobacillus* [37].

El uso de inulina en la industria alimentaria se debe a sus múltiples beneficios funcionales y tecnológicos. Actúa como un sustituto de grasa y azúcar, lo cual mejora la textura y el perfil sensorial de los alimentos sin comprometer su calidad.

Además, contribuye a la regulación del tránsito intestinal y a la absorción de minerales como el calcio y el magnesio, lo que la convierte en un ingrediente valioso para el desarrollo de productos con beneficios para la salud digestiva y ósea [38].

En el ámbito de los productos lácteos, la inulina ha sido ampliamente utilizada en yogures y leches fermentadas. Su incorporación permite mejorar la cremosidad y la estabilidad del producto, además de incrementar su valor nutricional al aportar fibra dietética. Asimismo, su capacidad para modular la percepción del dulzor la convierte en una opción atractiva para reducir el contenido de azúcares añadidos. En el caso de los yogures liofilizados, la inulina contribuye a mantener la estructura y funcionalidad del producto después del proceso de rehidratación, lo cual favorece la conservación de las propiedades organolépticas y nutricionales [39].

Dado su potencial en la formulación de productos lácteos saludables, la inulina juega un papel importante en el desarrollo de yogures enriquecidos en fibra y proteína. Su inclusión en la matriz del yogur liofilizado responde a la demanda de alimentos funcionales al tiempo que abre nuevas oportunidades en la mejora de su estabilidad y aceptación por parte de los consumidores.

La inulina ha sido ampliamente estudiada debido a su impacto positivo en la salud humana. Su consumo regular se asocia con mejoras en la función digestiva, al estimular el crecimiento de bacterias probióticas que promueven el equilibrio de la microbiota intestinal y reducen la presencia de microorganismos patógenos.

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN YOGUR LIOFILIZADO ALTO EN FIBRA Y PROTEÍNA

Metodología

El propósito de la investigación fue desarrollar un yogur liofilizado con propiedades prebióticas, empleando dos fuentes de fibra: inulina y salvado de trigo con el fin de formular un producto tipo snack como alternativa en la industria láctea, destacado por su alto contenido de fibra y proteína. Para la inulina, se establecieron los niveles bajo (1%) y alto (2%), mientras que para el salvado de trigo se definieron los niveles bajo (2%) y alto (4%) (Tabla 1). En el experimento se empleó un diseño factorial 2^k , considerando dos niveles del porcentaje de inulina y de salvado de trigo.

Tabla 1: Factores y niveles en estudio.

Factor	Código	Nivel	Notación
Inulina	A	A1: 1% Inulina	-1 (T1)
		A2: 2% Inulina	+1 (T2)
Salvado de Trigo	B	B1: 2% Salvado Trigo	-1 (T3)
		B2: 4% Salvado Trigo	+1 (T4)

La Figura 1 muestra el detalle de la codificacin de los tratamientos en un diseo experimental 2^k , donde se evalan dos factores, cada uno con dos niveles: bajo (-) y alto (+).

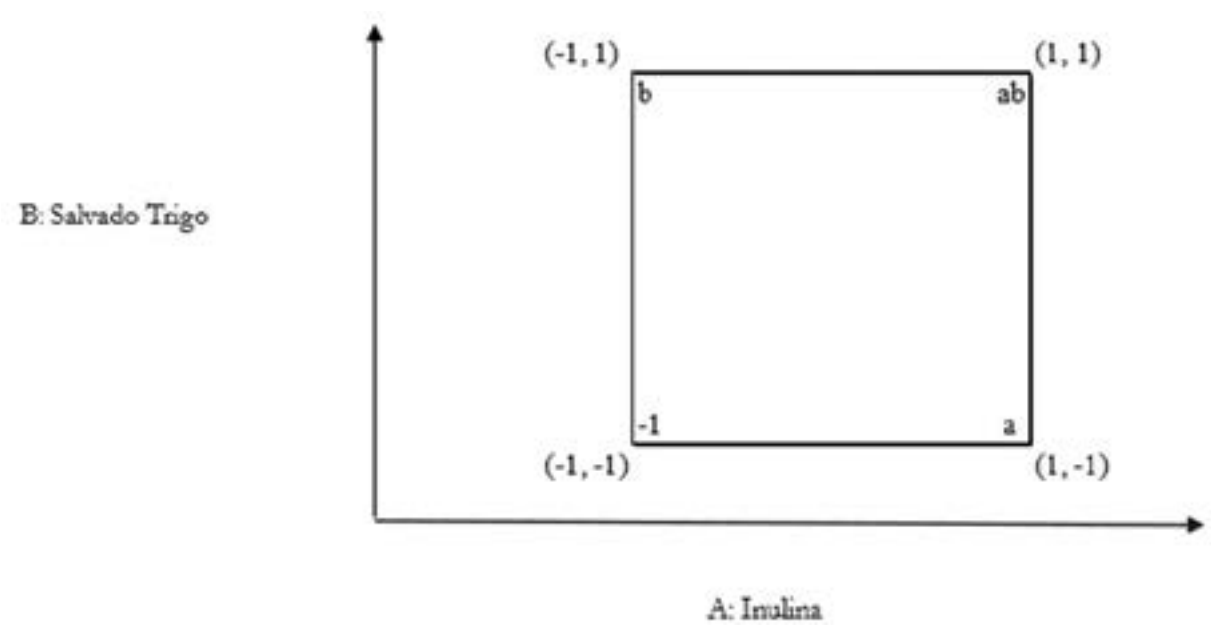


Figura 1: Representación geométrica del diseño 2^k .

2.1 Caracterización de la materia prima

Se realizó un análisis de la materia prima considerando parámetros físico-químicos y microbiológicos, unidades de medida y métodos empleados, A continuación, en la **Tabla 2** se detallan los parámetros evaluados, sus respectivas unidades de medida y las normas técnicas empleadas en cada caso a analizar en las muestras de leche con su respectivo método empleado para su análisis.

Tabla 2: Parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados en la leche según normas INEN.

Parámetro	Unidad	Método
Prueba de estabilidad (alcohol)	Reactivo	INEN 1500
Potencial de hidrógeno	pH	INEN 012
Acidez láctica	%	INEN 013
Densidad	g/mL	INEN 011
Grasa	%	INEN 012
Proteína	%	INEN 016
Sólidos no grasos	%	INEN 014
Lactosa	%	INEN 013
Agua	%	INEN 9
Reductasa	Horas	INEN 018

En la **Tabla 3** se muestran los parámetros considerados para realizar un análisis de composición proximal de inulina y salvado de trigo.

Tabla 3: Análisis proximal de inulina y salvado de trigo según normas INEN.

Inulina - Salvado de trigo		
Parámetro	Unidad	Método
Humedad	%	INEN 520
Ceniza	%	INEN 515

2.2 Determinación del porcentaje óptimo de las materias primas

A continuación, la **Tabla 4** indica los parámetros analizados al yogur bebible para dar cumplimiento a los criterios de calidad establecidos en la NTE INEN 2395, [40].

Tabla 4: Criterios de calidad acorde a la Norma NTE INEN 2395.

Producto fermentado bebible con características prebióticas		
Parámetro	Unidad	Método
Fibra	%	WEENDE
Proteína	%	DUMAS
Grasa	%	AOAC 2003.06
Potencial de hidrógeno	pH	Potenciométrico
Acidez titulable	°D	INEN 13

2.3 Desarrollo de un producto fermentado liofilizado enriquecido con fibra

En la **Figura 2** se muestra el diagrama de flujo empleado en la preparación del salvado de trigo para la adición en el yogur, las etapas que constan son:

- a) **Recepción:** verificación de las normas de calidad del salvado de para posterior proceso de transformación.
- b) **Remojo:** remojar el salvado de trigo durante 14 horas, prensar hasta conseguir una humedad de 70 % a 80 %, este proceso inocula el salvado.
- c) **Lavado:** realizar un lavado con agua para eliminar las impurezas.
- d) **Filtrado:** filtrar el salvado para evitar el ingreso de partículas gruesas al proceso.
- e) **Cocción:** cocer el salvado en agua durante 10 min. usando una olla de acero inoxidable.
- f) **Enfriado:** dejar enfriar por aproximadamente 10 min., este proceso es un punto de control.
- g) **Filtrado:** emplear un lienzo para separar impurezas.
- h) **Adición:** añadir el salvado de trigo final al yogur.

i) **Envasado y almacenado:** envasar y almacenar hasta su uso.

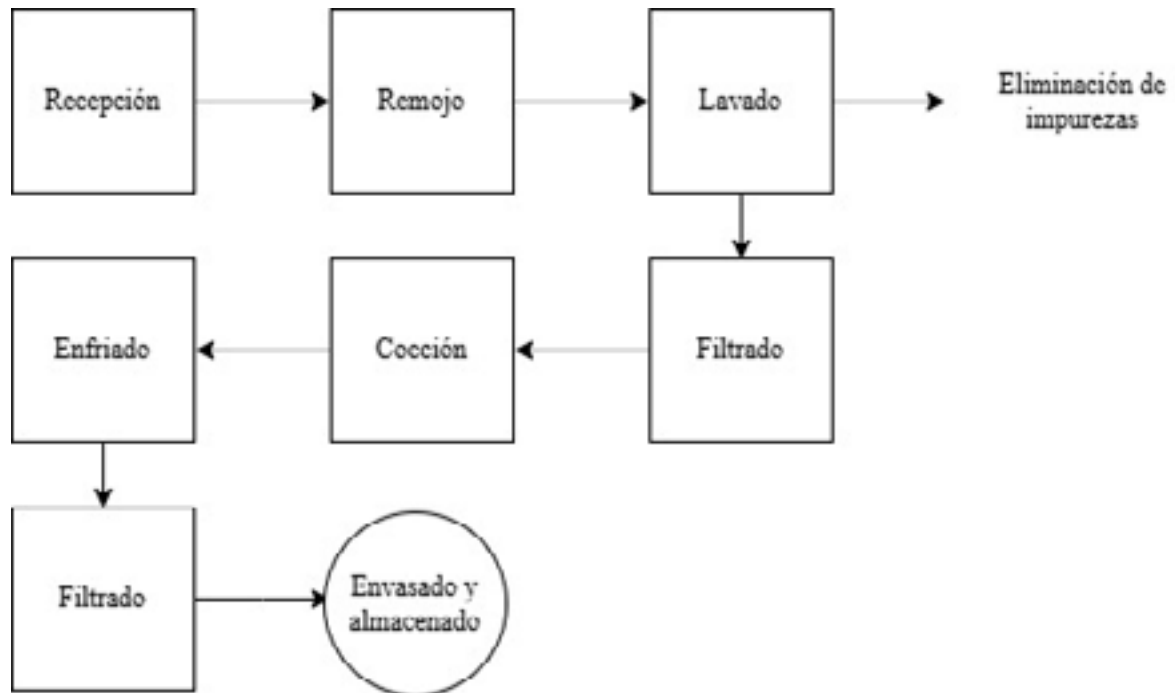


Figura 2: Diagrama de flujo de la preparación del salvado de trigo para la adición en el yogur.

En la **Figura 3** se muestra el diagrama de flujo empleado en la elaboración de yogur con características prebióticas, las etapas que constan son:

1. **Recepción:** recepción de la leche de marca comercial y posterior análisis de control de calidad acorde norma ecuatoriana NTE INEN 9:2003.
2. **Filtrado:** eliminar las impurezas macroscópicas que pueda contener con ayuda de un lienzo
3. **Estandarizado:** se utilizó leche semidescremada de 2 % de materia grasa, según la norma NTE INEN 2395:2006 [40].
4. **Pasteurizado:** llegar a la temperatura de 30 °C se adicionó azúcar al 10 %, luego se pasteurizó la mezcla con una temperatura de 80-85 °C por 15 min, con la finalidad de destruir los microorganismos patógenos.
5. **Enfriado:** en un baño termostático de agua fría hasta conseguir las temperaturas de 42 °C.

6. **Inoculado:** se añadió el fermento láctico del 1,5 %
7. **Incubado:** periodo de incubación de 3 a 4 horas a la temperatura acondicionada de 42 °C
8. **Enfriado:** enfriar hasta llegar a una temperatura de 5°C para determinar el desarrollo de acidez.
9. **Frutado:** adición de inulina (1% - 2%) y salvado de trigo (2% - 4%).
10. **Agitado:** durante 10 minutos hasta que se integren todos los elementos.
11. **Envasado y almacenamiento:** el resultante se envasa, sella y almacena. Con este producto se trabaja el proceso de liofilización.

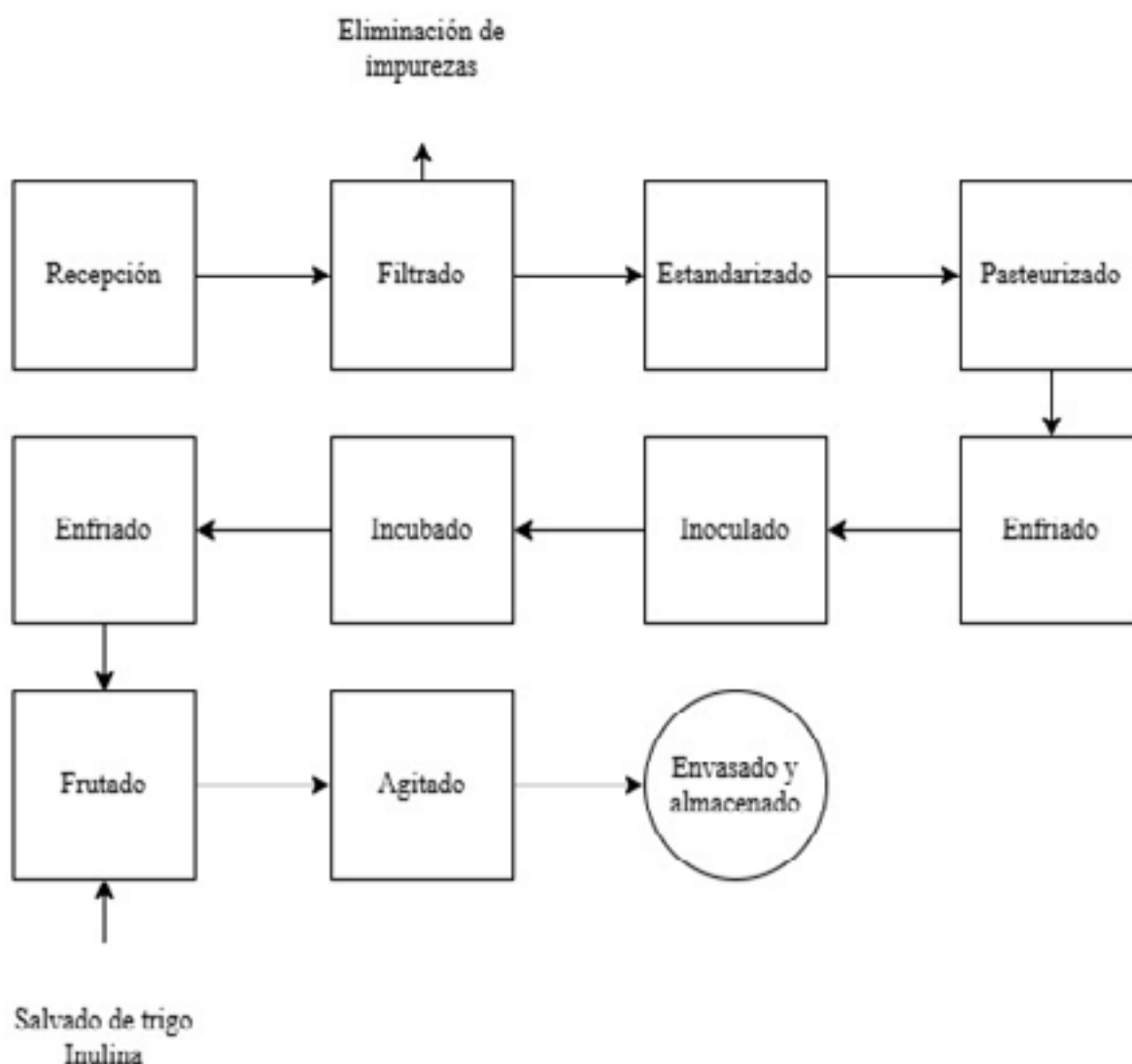


Figura 3: Diagrama de flujo de la elaboración de yogur con características prebióticas.

En la **Figura 4** se muestra el diagrama de flujo empleado en la elaboración del liofilizado del yogur con características prebióticas, las etapas que constan son:

1. **Preparado:** se colocó el producto fermentado en recipientes listo para la congelación.
2. **Congelado:** a una temperatura $-45,8^{\circ}\text{C}$.
3. **Dsecación primaria:** sublimación del solvente congelado a una temperatura de $-56,4^{\circ}\text{C}$.
4. **Dsecación secundaria:** dsecación secundaria del producto por medio de desorción, evaporando el agua no congelable, o agua ligada, logrando que el porcentaje de humedad final sea menor al 2 %. A una temperatura de $-56,4^{\circ}\text{C}$.
5. **Producto liofilizado:** se obtuvo el producto liofilizado fermentado con características prebióticas listo para almacenar.

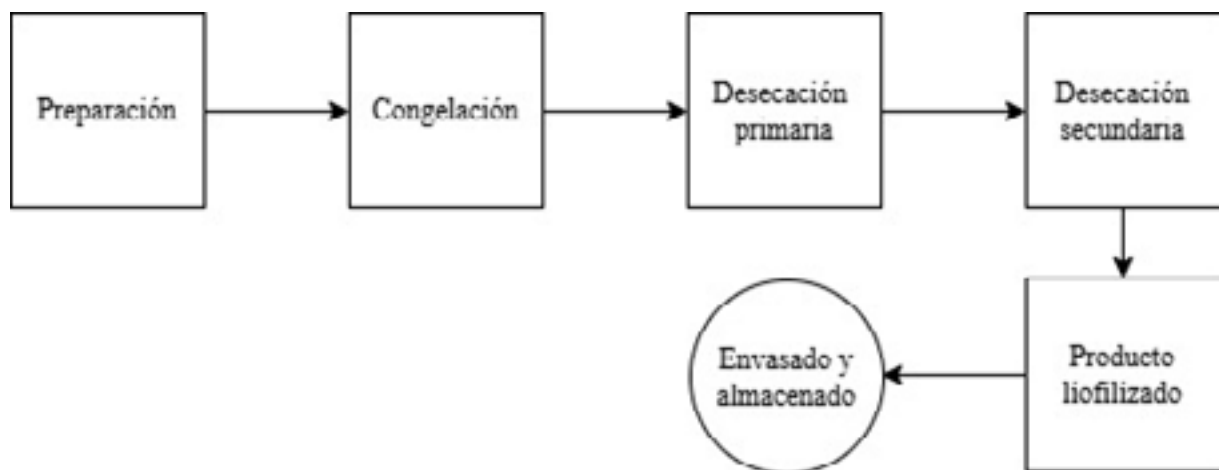


Figura 4: Diagrama de flujo del liofilizado de yogur con características prebióticas.

2.4 Análisis de características físicas, químicas y microbiológicas del mejor producto liofilizado

En la Tabla 5 se muestra los métodos utilizados para el análisis fisicoquímico y microbiológico del producto liofilizado.

Tabla 5: Análisis físico, químico y microbiológico del producto liofilizado.

Parámetro	Método
Fibra, %	WEENDE
Proeína, %	DUMAS
Grasa, %	AOAC 2003.06
Humedad, %	AOAC 925.10
Ceniza, %	AOAC 913.03
Calcio, mg/L	Absorción Atómica AAS
Conteo de <i>Lactobacillus</i> , UFC/mL	Plaqueo de disolución seriada ISO 15214:1998

Análisis estadístico

El modelo estadístico correspondiente al diseño se expresa con la Ecuación 1:

Modelo estadístico del diseño experimental.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Ecuación 1

Donde:

Y_{ijk} : Valor observado en el tratamiento correspondiente al nivel i del factor A (inulina), al nivel j del factor B (salvado de trigo), y en la k -ésima repetición.

μ : Media general del experimento.

A_i : Efecto principal del factor A (inulina).

B_j : Efecto principal del factor B (salvado de trigo).

$(AB)_{ij}$: Efecto de interacción entre los factores A y B.

ε_{ijk} : Error aleatorio asociado a la observación Y_{ijk} , asumido con distribución normal e independiente, $N(0, \sigma^2)$.

Para determinar si existen diferencias significativas entre las distintas combinaciones de tratamientos, se realizó un análisis de varianza, ANOVA. Este análisis evaluó tanto los efectos principales de cada factor como su interacción en el diseño factorial.

Para determinar el mejor valor se aplicó el modelo de regresión múltiple (Ecuación 2).

Modelo de regresión múltiple.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

β_0 y β_i : parámetros del modelo, son constantes que son necesario estimar.

ε : error aleatorio con media cero y varianza σ^2 .

β_0 : es el punto en el cual la línea recta intercepta o cruza el eje y.

β_i es la pendiente de la línea.

2.5 Evaluación sensorial

Para el análisis sensorial se aplicó un modelo de análisis de varianza, ANOVA, en Bloques Completamente al Azar, DBCA, para cada criterio de evaluación, de acuerdo con la **Ecuación 3**.

Modelo estadístico para el diseño DBCA.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \varepsilon_{ij} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Y_{ij} : medición que corresponde al tratamiento.

μ : media global.

τ_i : efecto debido al tratamiento.

γ_j : efecto debido a los catadores.

ε_{ij} : error aleatorio atribuible a la medición.

En la Tabla 6 se muestra el ANOVA para el DBCA empleado para el análisis sensorial.

Tabla 6: Análisis de varianza, ANOVA, para un DBCA.

Fuente de variabilidad	GL	SS	MS	Fo	Valor-p
A: Tratamientos	k - 1	SCA	CMA	CMA/CME	P (F > Fo)
B: Catadores	b - 1	SCB	CMB	CMB/CME	P (F > Fo)
Error	(k - 1) (b - 1)	SCE	CME		
Total	kb - 1	SCT			

GL: Grados de libertad; SS: Suma de cuadrados; MS: Media Cuadrática; Fo: estadístico.

Modelo de prueba de rangos múltiples o prueba de medias

Para la comparación de parejas de medias de los tratamientos (Criterios sensoriales de evaluación), se aplicó el método de diferencia mínima significativa (LSD), el cual de acuerdo con las características del análisis detecta las diferencias más pequeñas, Ecuación 4.

Ecuación 4: Modelo de prueba de rangos múltiples.

$$LSD = t_{\alpha/2, (N-k)} \sqrt{2 \times \frac{CM_E}{n_i}}$$

Donde:

LSD : diferencia mínima significativa.

$t_{\alpha/2, (N-k)}$: error.

CM_E : cuadrado medio del error.

n_i : número de observaciones.

Se empleó el software gratuito Past 5 versión 5.1 para evaluar las diferencias estadísticas entre cada uno de los tratamientos [41].

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE
UN YOGUR LIOFILIZADO ALTO EN FIBRA Y
PROTEÍNA

Resultados

3.1 Caracterización fisicoquímica de la materia prima

Los resultados del análisis fisicoquímico de la leche de vaca demostraron un resultado negativo para la prueba de estabilidad (alcohol) (**Tabla 7**). Adicionalmente, el resto de los atributos fisicoquímicos mostraron valores de pH 6,79, acidez láctica 0,14 %, densidad 1,030 g/mL, contenido de grasa 3,87 %, contenido de proteína 3,21 %, sólidos no grasos 8,38 %, lactosa 4,55 % y el contenido de agua resultó negativo. La actividad reductasa en un tiempo de 3 horas. Estos valores indican que la leche usada como materia prima cumplía con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN misma que establece el cumplimiento de requisitos organolépticos como color que debe ser blanco opalescente o ligeramente amarillento, con un olor suave, lácteo característico, libre de olores extraños y el aspecto debe ser homogéneo y libre de materias extrañas.

Tabla 7: Análisis fisicoquímico de la leche de vaca

Parámetros	Unidad	Valor	Valor referencial		Método de ensayo
			Mín.	Máx.	
Prueba de estabilidad (alcohol)	Reactivo	Negativo			
Potencial de hidrógeno	pH	6,79			Potenciómetro
Acidez láctica	%	0,14	0,13	0,17	NTE INEN 2013
Densidad a 20 °C	g/mL	1,03	1,028	1,032	NTE INEN 11

Grasa	%	3,87	3,0	-	NTE INEN 12
Proteína	%	3,21	2,9	-	NTE INEN 16
Sólidos no grasos	%	8,38	8,2	-	
Lactosa	%	4,55			
Agua	%	0,00			
Reductasa	Horas	3,00	3,00	-	NTE INEN 018

La materia prima básica para elaborar fermentados bebibles es la leche de vaca, la cual puede ser obtenida de proveedores que crían sus animales de forma tradicional o provenientes de unidades de producción orgánica y en ambos casos es importante asegurarse del cumplimiento de las propiedades fisicoquímicas, organolépticas, terapéuticas, antialérgicas y nutricionales [42]. En este sentido, es importante hacer evaluaciones constantes de la calidad de la leche, puesto que esta puede variar de acuerdo con la época del año. En un estudio realizado por Priyashantha et al. [43] encontraron que las concentraciones de grasa y proteína fueron menores en la leche recolectada de mayo a agosto, mientras que la concentración de lactosa resultó mayor en la leche recolectada de abril a julio. Las concentraciones de ácidos grasos libres fueron generalmente bajas y su máximo valor (0,86 mmol/100 g de grasa) fue obtenido en febrero, mientras que en junio se reportó el valor más bajo (0,70 mmol/100 g de grasa). Por otra parte, en la misma investigación se identificó que el pH de la leche de tanque varió de 6,60 a 6,82, con los valores más bajos y más altos en septiembre y febrero, respectivamente.

Esto destaca la importancia de realizar controles de calidad periódicos, ya que la composición de la leche puede variar según la época del año, lo que podría influir en sus propiedades nutricionales y funcionales. Esta variabilidad refuerza la necesidad de implementar prácticas de manejo y almacenamiento adecuadas para asegurar la calidad del producto final.

3.2 Análisis del yogur bebible

El yogur bebible es un producto lácteo fermentado sin alcohol que tradicionalmente es producido añadiendo entre 30 y 50% de agua al yogur más de 0,5 a 1% de sal, junto con bacterias iniciadoras (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*) para facilitar el proceso de fermentación en la producción industrial [44]. Este tipo de productos ofrecen una serie de beneficios a la salud debido a sus efectos de regulación de la actividad microbiana en el sistema gastrointestinal del consumidor. Además, se ha demostrado que existe una serie de efectos beneficiosos colaterales como contribuir en la reducción del colesterol en sangre,

refuerzan la inmunidad del cuerpo, tienen propiedades antimutagénicas y anticancerígenas, regulan los síntomas de intolerancia a la lactosa, reducen los efectos secundarios de los antibióticos y previenen infecciones intestinales mediante la creación de ácidos orgánicos y compuestos antibacterianos [45].

El análisis de los componentes del yogur bebible, que incluye fibra, grasa, proteína, pH y acidez titulable, junto con las características sensoriales del producto final es determinante para evaluar su calidad nutricional. La fibra, grasa y proteína son componentes importantes en la nutrición del yogur, mientras que el pH y la acidez titulable son indicadores importantes de la acidez y la frescura del producto [46]. El análisis de estas propiedades permite comprender mejor la calidad y la aceptabilidad del yogur bebible, así como realizar ajustes necesarios para mejorar su formulación y satisfacer las expectativas del consumidor.

En los análisis subsiguientes, se muestra el efecto de la adición de inulina y salvado de trigo y la posible interacción entre ellos, con el propósito de discernir el óptimo porcentaje de ambos aditivos en la calidad del yogur.

3.2.1 Contenido de fibra

En la Tabla 8 se muestran los resultados sobre el contenido de fibra en el yogur bebible determinado por el método WEENDE, demostrándose que este producto presentó variaciones en el contenido de fibra dietética previo a la liofilización. Los máximos valores fueron obtenidos en el yogur con salvado de trigo con 6,11 y 5,44%, mientras que, con inulina, los porcentajes fueron de 2,75 a 3,67%, siendo 39.9% y 58,91% menor con relación al yogur con salvado de trigo al 4%. La fibra es un componente importante en la dieta que contribuye a la salud digestiva y puede tener beneficios para la salud en general.

Tabla 8: Porcentaje de fibra del yogur bebible

Tratamiento	Contenido de fibra (%)
Inulina 1%	2,75 c
Inulina 2%	3,67 b
Salvado de trigo 2%	5,44 a
Salvado de trigo 4%	6,11 a

De acuerdo con el coeficiente de determinación (R^2), el modelo, así ajustado, explica 99,54 %

de la variabilidad en fibra. El valor ajustado de R^2 , que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 98,94%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,148492. El error medio absoluto (MAE) de 0,07875 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

Efectos principales

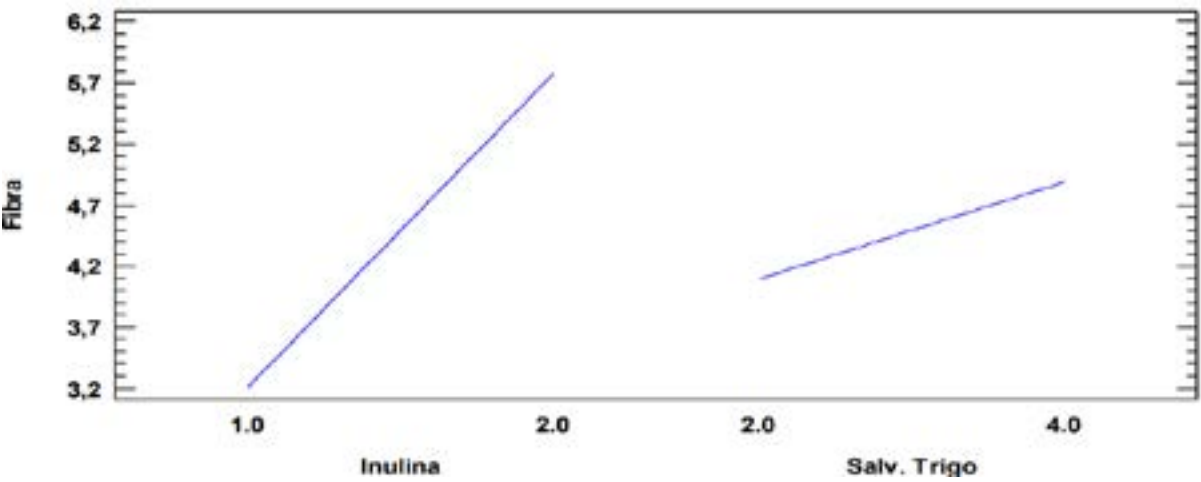


Figura 5: Efectos principales del nivel de inulina y salvado de trigo sobre el contenido de fibra del yogur bebible

La **Figura 5** indica la relación entre los niveles de inulina y salvado de trigo con el porcentaje de fibra del yogur. De esta forma, se evidenció que el contenido de fibra del yogur bebible se incrementó con el aumento del contenido de inulina y salvado de trigo, siendo mayor este aumento por efecto de la adición de inulina.

La **Tabla 9** presenta la combinación de los diferentes porcentajes de inulina y salvado de trigo hasta encontrar el valor óptimo de contenido de fibra.

Tabla 9: Niveles de factores y determinación del valor óptimo para ingredientes funcionales

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Inulina	1	2	2
Salvado de trigo	2	4	4

Valor óptimo: 6,11

Tabla 10: Coeficientes se regresión para la variable respuesta porcentaje fibra del yogur bebible

Coeficiente	Estimado
Constante	-1,11
A: Inulina	2,94
B: Salvado de trigo	0,585
AB	-0,125

La **Ecuación 5** indica el modelo de regresión ajustado.

Ecuación 5: Regresión del modelo ajustado.

Fibra = -1,11 + 2,94*Inulina + 0,585*Salvado de trigo - 0,125*Inulina*Salvado de trigo

De acuerdo con la ecuación 5, el contenido de fibra es de 6,11%.

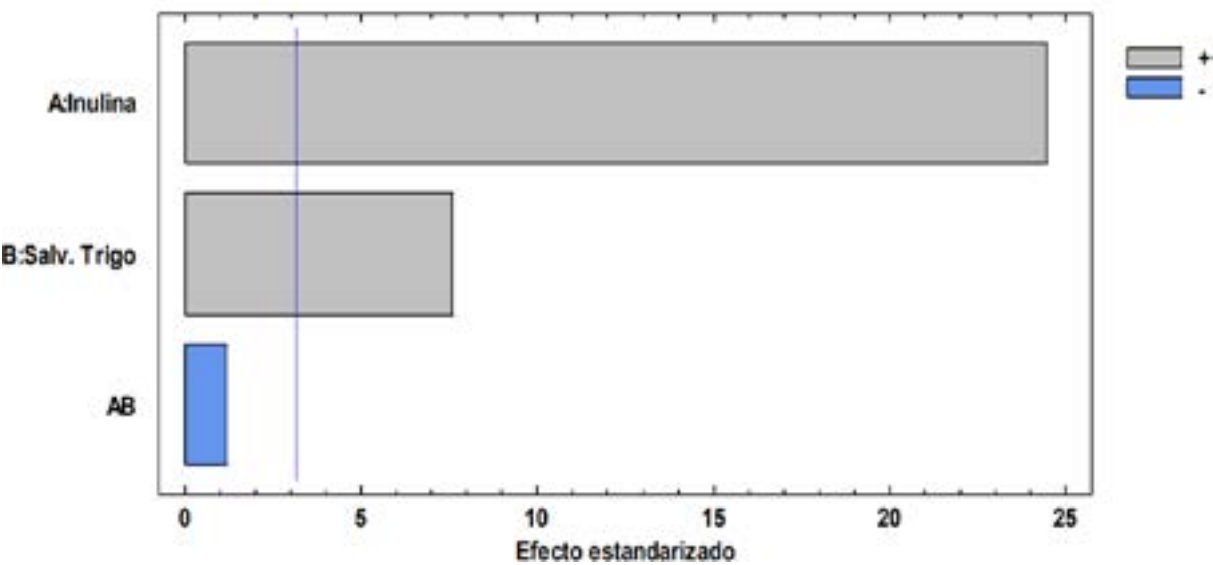


Figura 6: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de fibra en el yogur bebible

La **Figura 6** indica la relación entre el valor del efecto estandarizado con los factores de estudio y su interacción, observándose que el mayor efecto fue producido por la adición de inulina, seguido por el salvado de trigo, mientras que la interacción no presentó un efecto en el porcentaje de fibra, por lo cual fue excluido del modelo.

El análisis de varianza después de excluir el efecto de interacción demostró efectos altamente significativos en el contenido de fibra tanto por la adición de inulina como salvado de trigo (**Tabla 11**).

Tabla 11: Análisis de varianza para el contenido de fibra en el yogur bebible con la exclusión de la interacción entre la inulina y el salvado de trigo.

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Inulina	13,1585	1	13,1585	540,39	0,000**
B: Salvado de trigo	1,26405	1	1,26405	51,91	0,002*
Error total	0,0974	4	0,02435		
Total	14,5419	7			

** Diferencia estadística altamente significativa; * Diferencia estadística significativa.

El coeficiente de determinación (R^2) indicó que el modelo, así ajustado, explica 99,33% de la variabilidad en fibra. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 98,83 %. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,156045. El error medio absoluto (MAE) de 0,08625 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

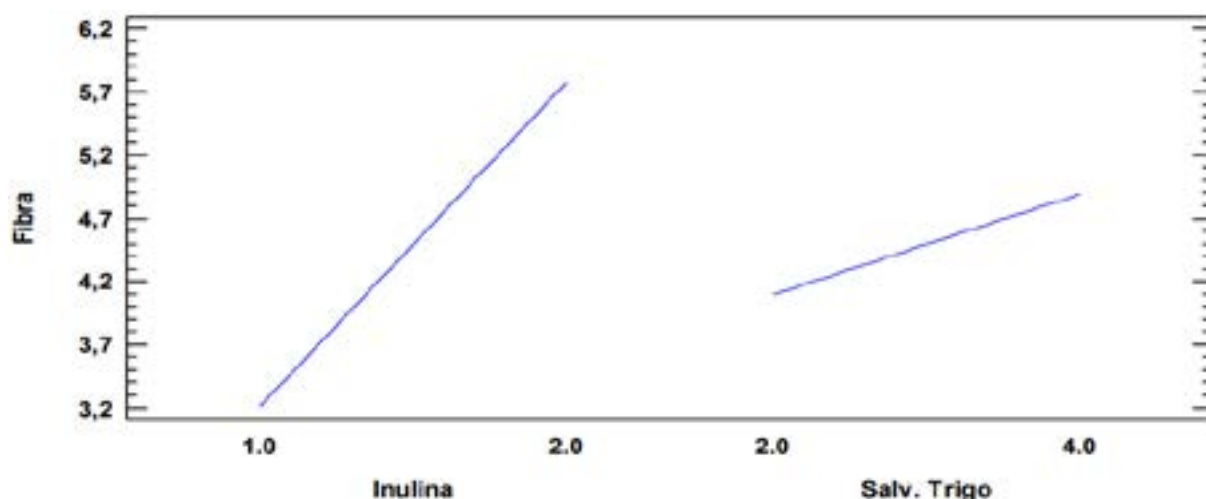


Figura 7: Efectos principales para el contenido de fibra después de la exclusión de la interacción entre la inulina y el salvado de trigo

La **Figura 7** indica la relación entre los niveles de inulina y salvado de trigo con el porcentaje de fibra del yogur. De esta forma, se evidenció que el contenido de fibra del yogur bebible se incrementó con el aumento del contenido de inulina y salvado de trigo, siendo mayor este aumento por efecto de la adición de inulina.

Tabla 12: Optimización de la respuesta con la exclusión de la interacción entre la inulina y el salvado de trigo

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Inulina	1	2	2
Salvado de trigo	2	4	4

La **Tabla 12** presenta la combinación de los diferentes porcentaje de inulina y salvado de trigo hasta encontrar el valor óptimo.

Tabla 13: Coeficientes de regresión para el contenido de fibra con exclusión de la interacción entre la inulina y el salvado de trigo.

Coeficiente	Estimado
Constante	-0,5475
A: Inulina	2,565
B: Salvado de trigo	0,3975

La **Ecuación 6** representa el modelo de regresión para el contenido de fibra:

Ecuación 6: Modelo ajustado para el contenido de fibra.

$$\text{Fibra} = -0,5475 + 2,565 \cdot \text{Inulina} + 0,3975 \cdot \text{Salvado de trigo}$$

El resultado de la variable de respuesta es el valor óptimo de 6,17%.

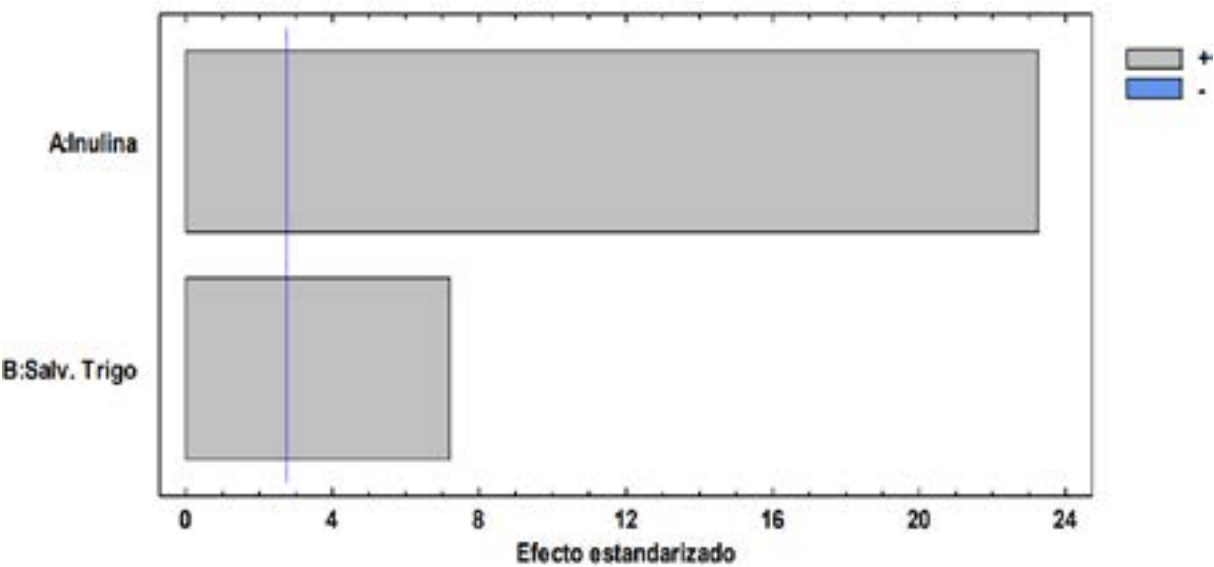


Figura 8: Diagrama de Pareto estandarizado para la variable respuesta fibra con exclusión de la interacción entre la inulina y el salvado de trigo

La **Figura 8** indica la relación entre el valor del efecto estandarizado con los factores de estudio y la interacción. La inulina tiene el mayor valor del efecto, seguido por el salvado de trigo.

3.2.2 **Contenido de grasa**

Tabla 14: Contenido de grasa en el yogur bebible expresado en porcentaje

Tratamiento	Contenido de grasa (%)
Inulina 1 %	3,00 a
Inulina 2 %	3,26 a
Salvado de trigo 2 %	3,59 b
Salvado de trigo 4 %	3,60 b

El análisis de grasa en el yogur bebible realizado mediante el método AOAC 2003.06 muestra contenidos de grasa que variaron de 3,0 a 3,26% en el yogur con inulina al 1 y 2%, respectivamente, mientras que valores significativamente mayores fueron obtenidos en el yogur con salvado de trigo al 2 y 4%, en los cuales alcanzó valores de 3,59 y 3,60%, respectivamente (**Tabla 14**). La grasa es un componente importante en la dieta, que proporciona energía y ayuda en la absorción de vitaminas liposolubles. La inulina es un derivado de carbohidratos o fibra dietética que ha sido usado como sustituto de la grasa debido a sus propiedades gelificantes y por ser un aditivo alimentario funcional gracias a sus propiedades prebióticas [47].

De acuerdo con el análisis de varianza, se encontró efecto individual de la inulina y el salvado de trigo, así como efecto de interacción sobre el contenido de fibra del yogur (**Tabla 15**).

Tabla 15: Análisis de la varianza para el contenido de grasa

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Inulina	0,427813	1	0,427813	2387,79	0,0000**
B: Salvado de trigo	0,0378125	1	0,0378125	211,05	0,0007*
AB	0,0300125	1	0,0300125	167,51	0,0010*
Error	0,0005375	3	0,00017917		
Total	0,496488	7			

** Diferencia estadística altamente significativa; * Diferencia estadística significativa

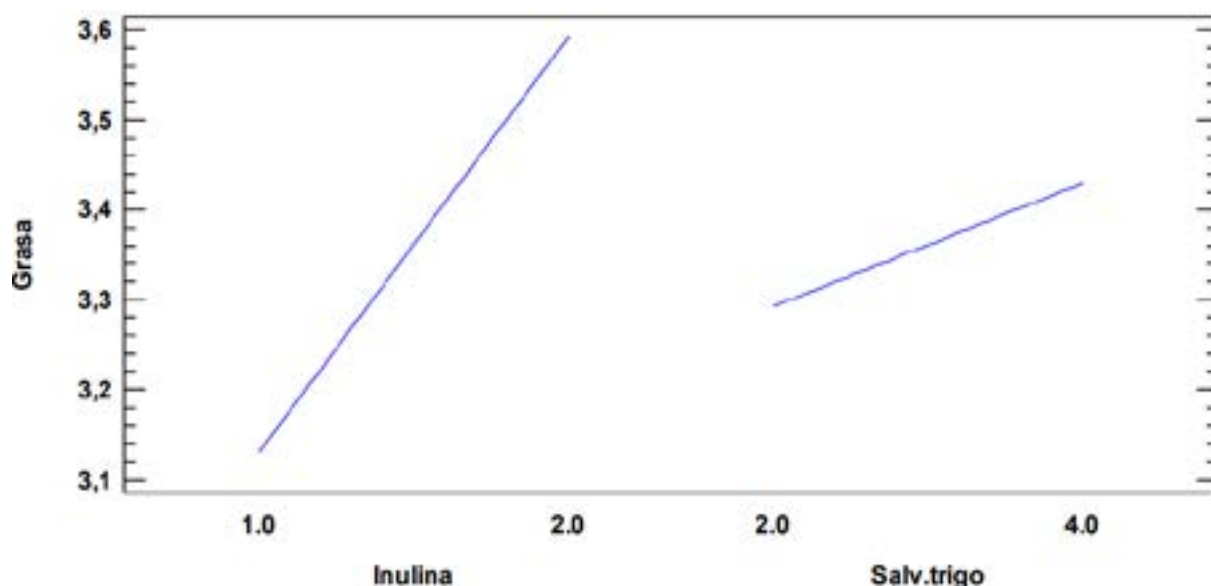


Figura 9: Efectos principales del nivel de inulina y salvado de trigo sobre el contenido de grasa en el yogur bebible

La **Figura 9** muestra la relación entre los niveles de inulina y salvado de trigo con el porcentaje de grasa en el yogur, evidenciándose que el efecto en el incremento del contenido de grasa en el yogur bebible fue significativamente mayor por la adición de la inulina pues incrementó el porcentaje de grasa de 3,12 hasta 3,6 %, mientras que, con el salvado de trigo, el contenido de grasa varió de 3,3 a 3,4 %.

En la Tabla 16 se muestra la optimización de la respuesta para cada uno de los factores analizados en este apartado.

Tabla 16: Optimización de la respuesta.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Inulina	1	2	2
Salvado de trigo	2	4	4

Valor Optimo: 3,6

La **Tabla 17** se muestra la combinación de los diferentes porcentaje de inulina y salvado de trigo hasta encontrar el valor óptimo de grasa en el yogur.

Tabla 17: Coeficiente de regresión del modelo ajustado para el contenido de grasa en el yogur bebible

Coeficiente	Estimado
Constante	1,91
A: Inulina	0,83
B: Salvado de trigo	0,2525
AB	-0,1225

El contenido de grasa fue calculado mediante el modelo de regresión ajustado mostrado en la **Ecuación 7** y fue estimado en 3,6%

Contenido de grasa = $1,91 + 0,83 \cdot \text{inulina} + 0,2525 \cdot \text{Salvado trigo} - 0,1225 \cdot \text{Inulina} \cdot \text{Salvado trigo}$

La inulina de cadena larga se ha sido reconocida como un sustituto eficaz tanto de grasas (hasta un 50 %), mientras que la inulina de cadena corta u oligofructosa es preferiblemente usada como sustituto de los azúcares, además la inulina es usada como un prebiótico para el desarrollo de alimentos funcionales, manteniendo las características nutricionales, de textura y de almacenamiento requeridas, sin embargo, existen pocos estudios que revelen los beneficios de los productos alimenticios fortificados con inulina [48] antioxidants, dietary fibers, vitamins, minerals, etc. Inulin is one such additive, a soluble dietary fiber that provides several health benefits and helps to improve mineral absorption and gut health. Inulin has been recognized as an effective fat replacer (up to 50 %).

Las fracciones de inulina de cadena larga son ligeramente solubles y viscosas y pueden formar microcristales (en su mayoría no esféricos) y sus agregados, que ayudan a encapsular grandes cantidades de agua y forman una red de gel, dando una textura suave y cremosa. Estas propiedades hacen de la inulina un excelente sustituto de la grasa [49].

De acuerdo los estudios de Kheto et al. [48] antioxidants, dietary fibers, vitamins, minerals, etc. Inulin is one such additive, a soluble dietary fiber that provides several health benefits and helps to improve mineral absorption and gut health. Inulin has been recognized as an effective fat replacer (up to 50 %, la fortificación del yogur con inulina (0,2 %) mostró efectos tales como

la reducción del pH en 16,42 %, en el reblandecimiento (10,1 %), en la desestabilización de grasa (87,05 %) y en la temperatura de fusión (1,43 %), mientras que provocó el aumento de la viscosidad aparente (96,2 %), dureza (46,83 %), temperatura de transición vítrea (6,78 %) y actividad antioxidante (72,03 %) después de 28 días de almacenamiento.

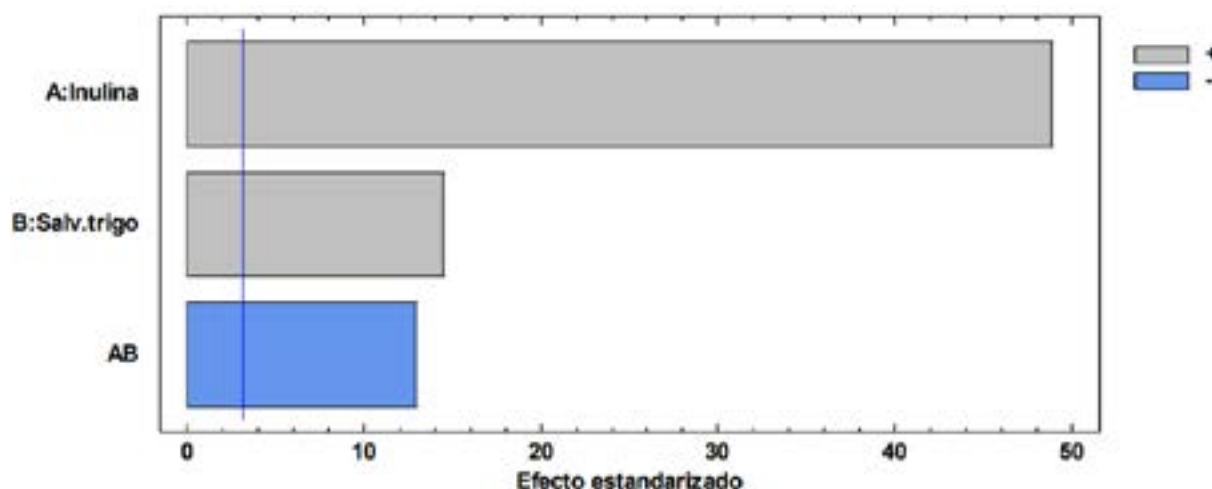


Figura 10: Diagrama de Pareto estandarizado para la variable respuesta grasa con exclusión de la interacción entre la inulina y el salvado de trigo.

La **Figura 10** indica la relación entre el valor del efecto estandarizado con los factores de estudio y la interacción. La inulina tiene el mayor valor del efecto, seguido por el salvado de trigo y la interacción. El Valor de la interacción si presenta un efecto sobre el contenido de grasa.

3.2.3 Valor de pH

Los valores de pH del yogur bebible, medido con el uso de un potenciómetro, demostró que el incremento en el porcentaje agregado de inulina y salvado de trigo provocó un ligero aumento del valor de pH, pasando de 4,41 a 4,46 con la inulina, mientras que con salvado de trigo pasó de 4,46 a 4,50 (**Tabla 18**). Aunque se observaron ligeras variaciones en el valor de pH entre los diferentes tratamientos, estos se mantienen dentro de un rango aceptable. La variación en el valor requerido de pH en el yogur puede disminuir el tiempo de vida del producto en anaquel o puede provocar que el producto adquiriera un sabor ácido, haciéndolo poco apetecible para el consumidor.

Tabla 18: Resultados de pH del yogur bebible expresado en porcentaje

Tratamiento	Valor de pH
Inulina 1%	4,41 b
Inulina 2%	4,47 a
Salvado de trigo 2%	4,46 a
Salvado de trigo 4%	4,50 a

De acuerdo con el análisis de varianza, no se observó ningún efecto sobre el pH del producto por la adición de inulina y salvado de trigo, **Tabla 19**.

Tabla 19: Análisis de varianza para el potencial de hidrógeno.

Fuente	Suma Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: inulina	0,0032	1	0,0032	3,15	0,1741 ^{ns}
B: salvado de trigo	0,00405	1	0,00405	3,98	0,1399 ^{ns}
AB	0,0002	1	0,0002	0,2	0,6874 ^{ns}
Error	0,00305	3	0,00101667		
Total	0,01055	7			

Gl: Grados de libertad. ns: No existen diferencia estadísticamente significativa

El coeficiente de determinación (R^2) indicó que el modelo, así ajustado, explicó 71,09 % de la variabilidad en pH. El estadístico ajustado de R^2 , que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 32,54 %. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0318852. El error medio absoluto (MAE) de 0,015 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo, observándose que no existe autocorrelación serial

en los residuos ($p<0,05$).

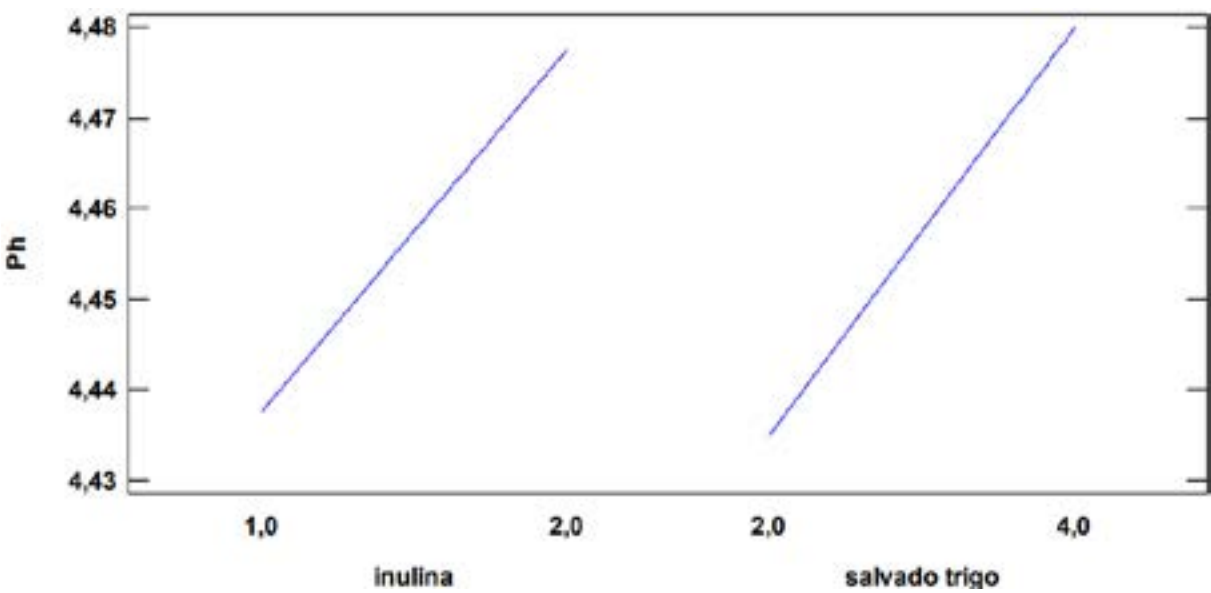


Figura 11: Efectos principales del nivel de inulina y salvado de trigo sobre el potencial de hidrógeno en el yogur bebible

En la **Figura 11** se muestra la relación entre los niveles de inulina y salvado de trigo con el pH del yogur, evidenciándose un incremento en los valores de pH por efecto del aumento de la inulina y el salvado de trigo, sin embargo, este incremento fue mayor con inulina al 2 % y salvado de trigo al 4 %.

La **Tabla 21** se muestra la combinación de los diferentes porcentaje de inulina y salvado de trigo hasta encontrar el valor óptimo de pH en el yogur.

Tabla 20: Optimización de la respuesta.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Inulina	1	2	2
Salvado trigo	2	4	4

Valor óptimo = 4,495

Tabla 21: Coeficientes de regresión para el potencial de hidrógeno en el yogur bebible

Coeficiente	Estimado
Constante	4,285
A: inulina	0,07
B: salvado trigo	0,0375
AB	-0,01

El valor del potencial de hidrógeno (pH) fue calculado mediante el modelo de regresión ajustado mostrado en la **Ecuación 8** y fue estimado en 4,50.

$$\text{pH} = 4,285 + 0,07 \cdot \text{inulina} + 0,0375 \cdot \text{salvado trigo} - 0,01 \cdot \text{inulina} \cdot \text{salvado trigo}$$

La calidad sensorial, las propiedades reológicas y los beneficios a la salud del yogur suelen estar asociados a su acidez debido a que son productos fermentados, la cual está relacionada con los factores tecnológicos, el tipo y la calidad de las materias primas, la composición y las condiciones de almacenamiento. Por lo tanto, la acidez es una medida de la corrección del proceso de producción, así como un indicador importante en la investigación sobre la reformulación de este tipo de productos [16,19]. De acuerdo con Żbikowska et al. [50], el aumento de la cantidad de inulina añadida (de 6 a 15 %) al yogur provocó la disminución de la acidez total y, por consiguiente, causó mejoras en el pH del producto debido a que la concentración de ácido láctico osciló entre 0,88 % y 1,06 %, mientras que la muestra a la que se agregó 3 % de inulina del 3 %, no presentó diferencias significativas con la muestra sin inulina en términos de acidez total y acidez activa, pH. Este estudio demostró que la acidez total de la muestra a la que se agregó 15 % de inulina fue aproximadamente 17 % menor y el pH fue aproximadamente 4 % mayor, en comparación con el yogur sin la adición de inulina. De manera similar, la adición de inulina elevó el valor de pH en el yogur, cumpliendo con las normas de la Administración de Alimentos y Medicamentos, FDA, que establece que este tipo de productos debe tener un pH máximo de 4,5 y, además redujo la acidez titulable, lo que podría afectar la producción de ácido láctico [51].

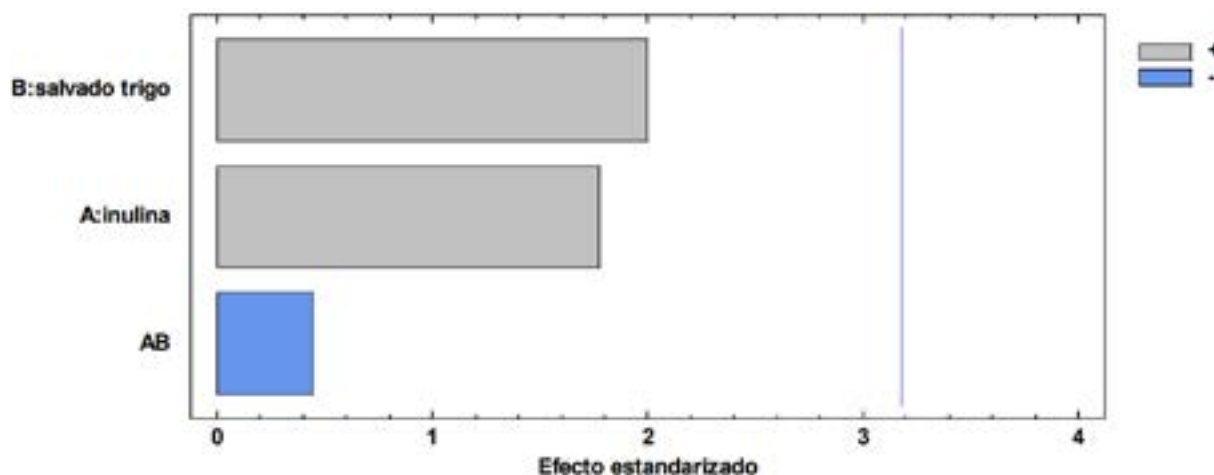


Figura 12: Diagrama de Pareto estandarizado para la variable respuesta el potencial de hidrógeno con exclusión de la interacción entre la inulina y el salvado de trigo.

La **Figura 12** muestra la relación entre el valor del efecto estandarizado con los factores de estudio y la interacción, nuevamente se demostró que la incorporación de inulina en el yogur tuvo un mayor efecto que el salvado de trigo, mientras que no se observó efecto de interacción sobre el valor de pH.

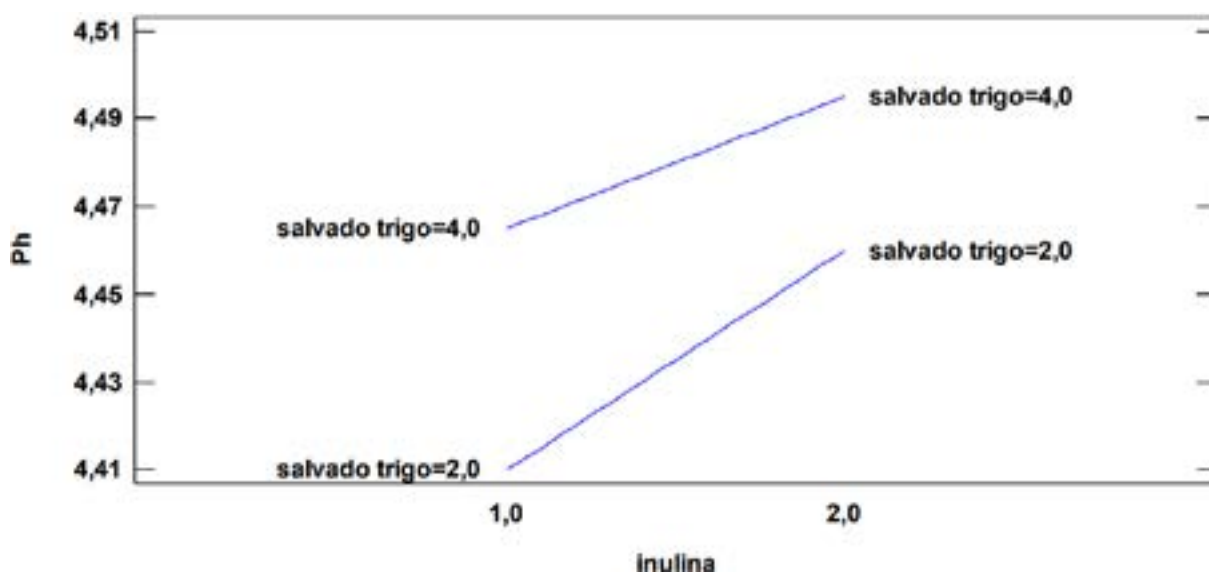


Figura 13: Interacciones entre el contenido de inulina y salvado de trigo y el potencial de hidrógeno del yogur.

3.2.4 Contenido de proteínas

El contenido de proteína en el yogur bebible fue determinado mediante el método de combustión Dumas. Este método sirve para determinar el contenido total de nitrógeno en una matriz habitualmente orgánica, para lo cual la muestra se combustiona a una temperatura alta en una atmósfera de oxígeno. A través de subsiguientes tubos de oxidación y reducción, el nitrógeno se convierte cuantitativamente en N_2 que es medido por detector de conductividad térmica y se convierten en porcentaje de proteínas mediante el uso de factores de conversión, mientras que el resto de los productos volátiles de la combustión son aislados y separados [52].

Tabla 22: Resultados de proteína yogur bebible expresado en porcentaje

Tratamiento	Contenido de proteína (%)
Inulina 1%	3,64 c
Inulina 2%	3,69 b
Salvado de trigo 2%	3,74 b
Salvado de trigo 4%	4,22 a

De acuerdo con el análisis de varianza, se observó efecto individual de la inulina y el salvado de trigo sobre el pH del producto, así como un efecto de interacción (Tabla 23).

Tabla 24: Análisis de varianza para el contenido de proteína en el yogur bebible.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Inulina	0,201612	1	0,201612	81,32	0,0029*
B: Salv Trigo	0,143112	1	0,143112	57,73	0,0047*
AB	0,0903125	1	0,0903125	36,43	0,0091*
Error	0,0074375	3	0,00247917		
Total	0,463488	7			

Gl: Grados de libertad. * Diferencia estadística significativa.

El coeficiente de determinación, R^2 , indicó que el modelo, así ajustado, explica 98,39 % de la variabilidad en proteína. El valor ajustado de R^2 , es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes fue de 96,26 %. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,0497912. El error medio absoluto de 0,02375 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Se evidenció que existe correlación serial ($p < 0,05$).

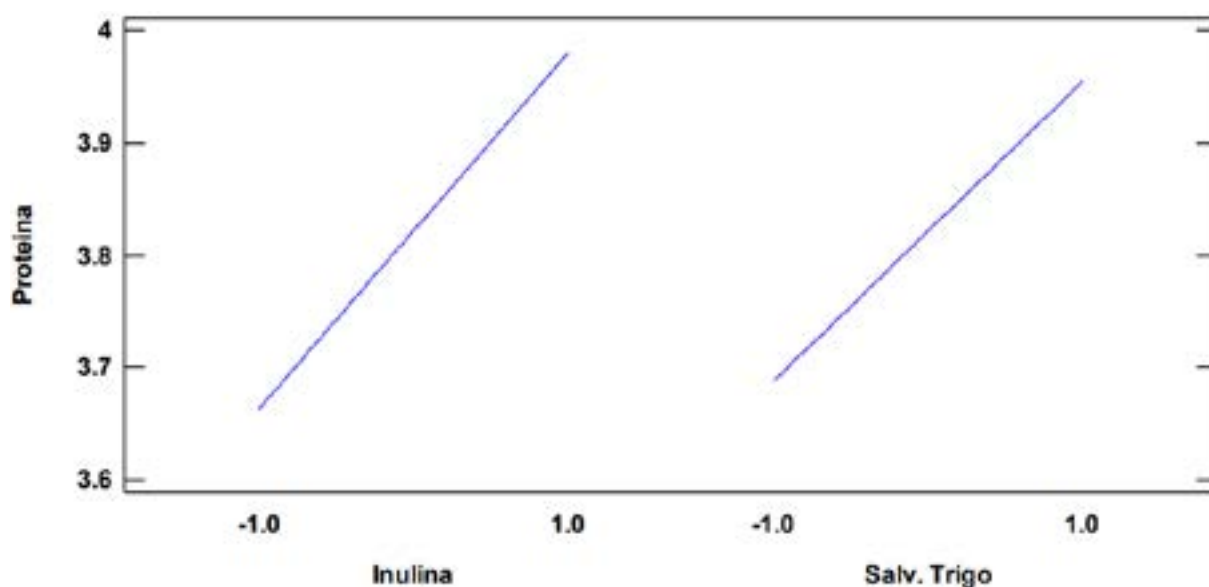


Figura 14: Efectos principales del nivel de inulina y salvado de trigo sobre el contenidos de proteína en el yogur bebible.

La **Figura 14** muestra la relación entre los niveles de inulina y salvado de trigo con el contenido de proteína del yogur, evidenciándose un incremento en los valores de proteína a medida que aumenta el contenido de los valores de inulina y salvado de trigo incorporados en el yogur.

La **Figura 15** indica las interacciones entre el porcentaje de inulina y el salvado de trigo con relación al contenido de proteína, notándose un aumento en el contenido de proteína a medida que se incrementan los porcentajes tanto de inulina como del salvado de trigo, evidenciándose que existe efecto interactivo entre ellos.

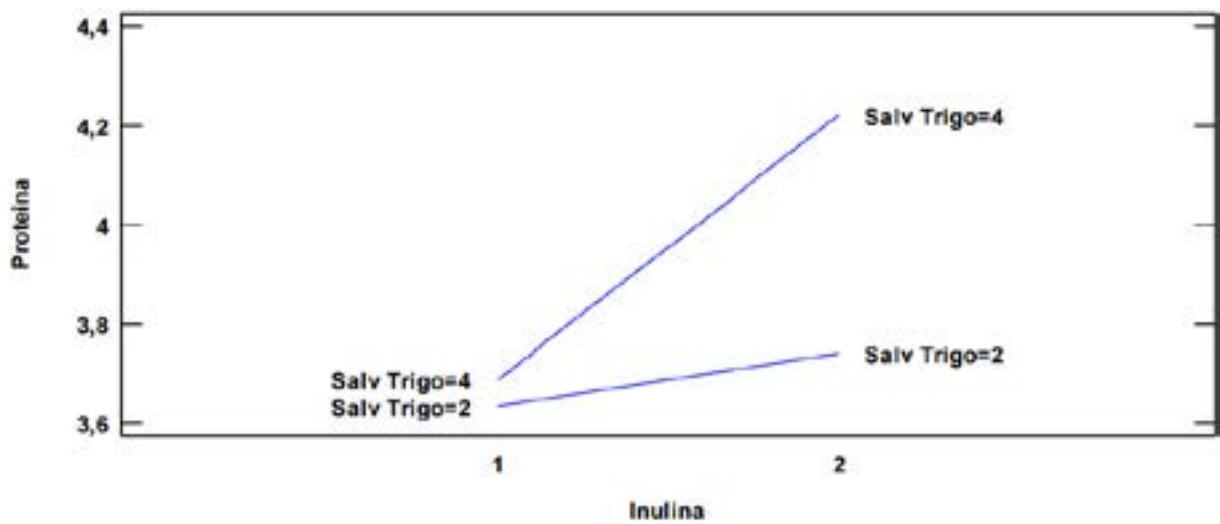


Figura 15: Interacciones entre el contenido de inulina y salvado de trigo y el proteína en el yogur bebible.

La **Tabla 25** se muestra la combinación de los diferentes porcentaje de inulina y salvado de trigo hasta encontrar el valor óptimo de proteína en el yogur.

Tabla 25: Optimización de la respuesta.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Inulina	1	2	2
Salvado de trigo	2	4	4

Valor óptimo: 4,22

La **Tabla 26** muestra los coeficientes de regresión para el porcentaje de proteínas.

Tabla 26: Coeficientes de regresión para el porcentaje de proteína en el yogur bebible

Coeficiente	Estimado
Constante	3,82125
A: Inulina	0,15875
B: Salvado de trigo	0,13375
AB	0,10625

El valor del el contenido de proteínas fue calculado mediante el modelo de regresión ajustado mostrado en la **Ecuación 9** y fue estimado en 4,22 %.

$$\text{Proteína} = -1,11 + 2,94 * \text{Inulina} + 0,585 * \text{Salvado de Trigo} - 0,125 * \text{Inulina} * \text{Salvado de Trigo}$$

La inulina interactúa con la caseína y el suero de la leche estableciendo enlaces no covalentes, lo que refuerza los enlaces entre las micelas de caseína en la red de gel del yogur, mejorando así la firmeza, la viscosidad y la consistencia y, además aumenta la producción de exopolisacáridos por los cultivos iniciadores de yogur *S. thermophilus* y *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, los cuales actúan como hidrocoloides para fijar el agua, mejorando la retención de humedad y reduciendo la separación del suero [51].

Por otra parte, las semillas de trigo son ampliamente utilizadas como fuentes de proteínas de buena digestibilidad debido a que estas son las más abundantes en sus semillas representando entre el 8 % y 16 % (p/p), que se distribuyen en diferentes partes anatómicas del grano, siendo las prolaminas y glutelinas las principales proteínas de almacenamiento en el endospermo. Estas proteínas presentan [53].

Estudios han revelado que la adición de proteína de salvado de trigo por encima del 10% puede desmejorar el aroma de las muestras de yogur debido al olor característico del salvado de trigo el cual persiste en los yogures después de la fortificación, el cual puede ser aumentado por el contenido de grasa en el yogur [54]. Por ello, estos autores, realizaron una mezcla de proteínas para mejorar el sabor de los yogures fortificados con salvado de trigo, mediante la sustitución de una parte del salvado de trigo con leche en polvo con una proporción de 1:2 (MIX1) y 1:1 (MIX2), manteniendo el 5 % y el 10 % de contenido proteico en los yogures. Además de la fracción proteica, la muestra de MIX fue enriquecida con componentes de la leche en polvo, como grasas y carbohidratos, para mejorar la percepción sensorial de las muestras de yogur.

Otros estudios también evaluaron el efecto de la combinación de la inulina (0,5 %–3 % p/v) con la proteína de suero polimerizada PWP (2 % – 4,5 % p/v) sobre las propiedades fisicoquímicas del yogur. La combinación con la mayor concentración de PWP (4,5 % p/v) y la menor concentración de inulina (0,5 % p/v) logró formar un gel de yogur estable de forma eficiente, como lo demuestra la rápida acidez titulable de 0,72 % a las 5 h, y las mejores propiedades microrreológicas, con la mayor elasticidad y la menor fluidez, además de presentar la mejor textura fina en cuanto a dureza, suavidad y distribución del tamaño de partícula, así como las mejores propiedades de viscosidad con la menor sinéresis [55].

La **Figura 16** muestra un diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de proteína donde se representa la relación entre el valor del efecto estandarizado con los factores de estudio y la

interacción. Al igual que en el caso de las características fisicoquímicas previamente presentadas, se demostró que la incorporación de inulina en el yogur tuvo un mayor efecto que el salvado de trigo y del efecto de interacción sobre el contenido de proteínas en el yogur.

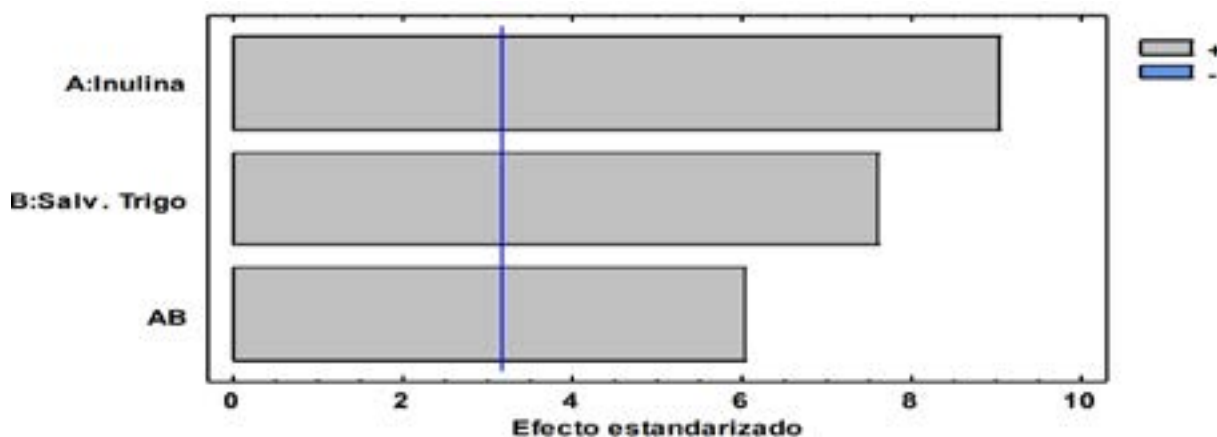


Figura 16: Diagrama de Pareto estandarizado para la variable respuesta fibra.

3.3 Análisis fisicoquímico del producto liofilizado

El análisis de los componentes del producto fermentado liofilizado con características prebióticas que incluye fibra, proteína, es importante para evaluar su calidad nutricional.

3.3.1 Contenido de fibra

En la **Tabla 28** se muestran los resultados del contenido de fibra en el yogur liofilizado determinado mediante el método WEENDE. Este método es ampliamente usado para el análisis proximal de alimentos, incluyendo la determinación del contenido de proteínas, la cual se hace por medida indirecta del contenido de nitrógeno por el método Kjeldahl. Finalmente, el contenido de nitrógeno obtenido se multiplica por un factor de conversión estándar que generalmente es 6,25 para alimentos de origen animal y 5,7 para cereales) para obtener el contenido total de proteína bruta [56].

La proteína es la macromolécula crucial en la formación de un gel ácido como el yogur, por lo que las variaciones en el contenido y composición de la proteína provoca variaciones en las propiedades físicas y sensoriales de los yogures comercializados. En general, un aumento del contenido proteico produce un yogur con mayor firmeza y viscosidad, debido principalmente a la mayor cantidad de proteína que participa en la red de gel [57].

Se encontró que el contenido de fibra se incrementó a medida que aumentó la cantidad de inulina y salvado de trigo adicionada el yogur liofilizado, siendo mayor este aumento en el caso del salvado de trigo (Tabla 27).

Tabla 27: Contenido de fibra en el yogur liofilizado expresado en porcentaje

Tratamiento	Contenido de fibra (%)
Inulina 1 %	9,09 c
Inulina 2 %	9,38 b
Salvado de trigo 2 %	10,38 a
Salvado de trigo 4 %	11,40 a

Adicionalmente, se observó un efecto significativo individual de cada componente (inulina y salvado de trigo), así como su interacción sobre el contenido de fibra (Tabla 28).

Tabla 28: Anlisis de varianza para el porcentaje fibra en el yogur liofilizado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Inulina	5,47309	1	5,47309	472,9	0,0002*
B: Salvado de Trigo	0,861328	1	0,861328	74,42	0,0033*
AB	0,261726	1	0,261726	22,61	0,0176*
Error	0,0347204	3	0,0115735		
Total	6,67335	7			

Gl: Grados de libertad. *Diferencia estadística significativa.

El coeficiente de determinación, R^2 , indicó que el modelo explica el 99,48 % de la variabilidad en el contenido de fibra, reflejando un excelente ajuste del modelo a los datos. Por su parte, el valor ajustado de R^2 , el cual es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, fue de 98,79 %, lo que confirma la robustez del modelo.

El error estándar del estimado fue de 0,10758, representa la desviación estándar de los residuos, mientras que el error medio absoluto fue de 0,064625, indicando el promedio de las desviaciones absolutas entre los valores observados y los predichos por el modelo. El estadístico de Durbin-Watson se utilizó para analizar la autocorrelación de los residuos. Se detectó una posible correlación entre los niveles de inulina y salvado de trigo con el contenido de fibra en el yogur liofilizado ($p < 0,05$), lo que sugiere que los residuos podrían no ser completamente independientes. Este resultado podría requerir un ajuste adicional o una revisión del modelo para considerar el efecto de la autocorrelación.

La **Figura 17** revela la relación entre los niveles de inulina y salvado de trigo con el contenido de fibra en el yogur liofilizado, evidenciándose un incremento en los valores de proteína a medida que aumenta el contenido de los valores de inulina y salvado de trigo incorporados al producto, sin embargo, el efecto fue mucho más notorio con la adición de inulina en el yogur, mostrando un incremento de 9,2 % con la adición de inulina 2 % hasta 10,9 % con la incorporación de inulina 4 %. En el caso del salvado de trigo, este incremento fue menos evidente.

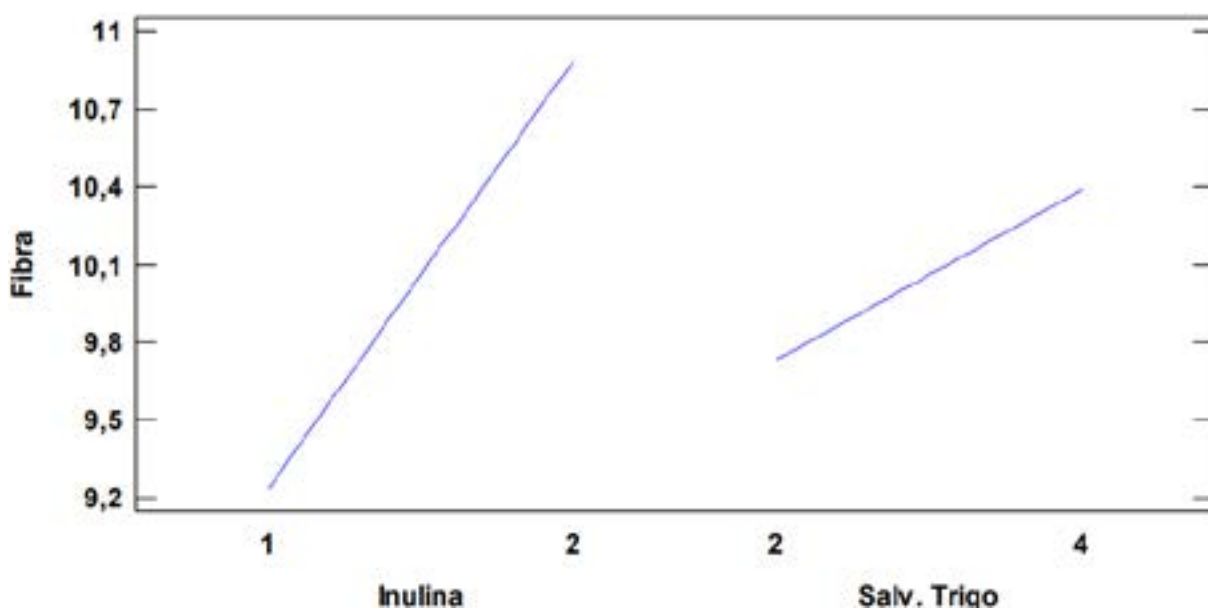


Figura 17: Gráfico de efectos principales para el porcentaje de fibra en el yogur liofilizado.

La **Figura 18** representa la interacción entre los niveles de inulina y salvado de trigo en relación con el porcentaje de fibra en el producto liofilizado. En el eje horizontal se muestran los niveles de inulina (1 % y 2 %), mientras que el eje vertical indica la cantidad de fibra en el producto.

Se muestran dos líneas distintas que reflejan el efecto del salvado de trigo en niveles de 2 y

4. En el caso del yogur donde se adicionó salvado de trigo 2 %, la cantidad de fibra varía con los niveles de inulina cuando el salvado de trigo se mantiene en un nivel bajo. En este caso, el aumento de la inulina genera un incremento moderado en la cantidad de fibra. En el yogur donde se adicionó salvado de trigo 4 %, se observa un incremento más notable en contenido de fibra a medida que se incrementan los niveles de inulina.

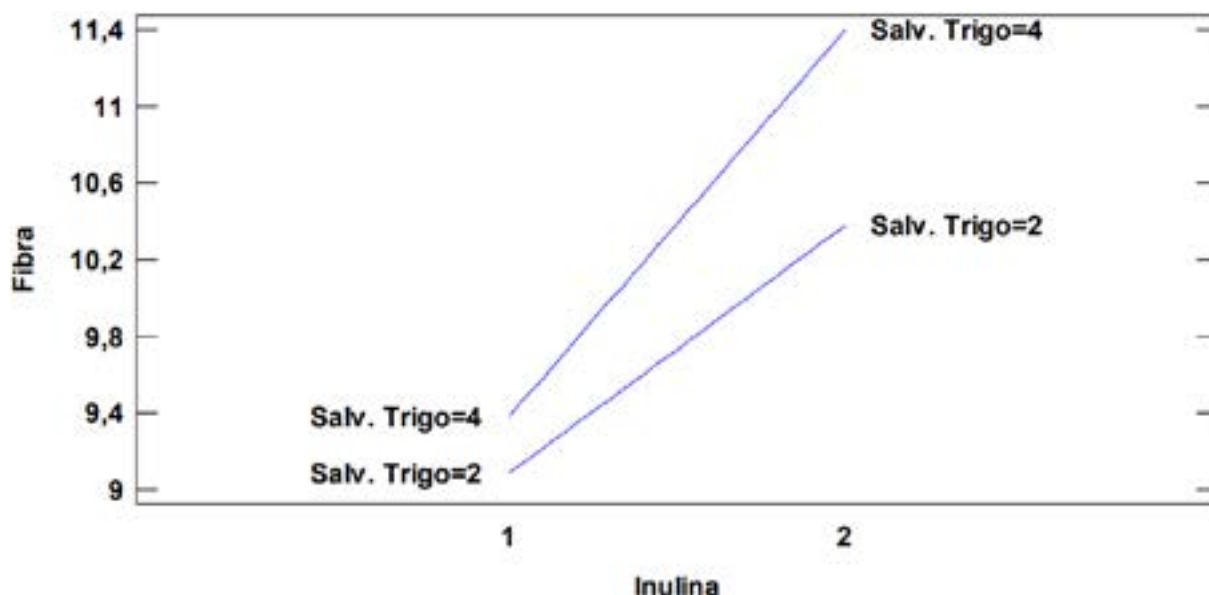


Figura 18: Interacción entre el contenido de inulina y salvado de trigo y el fibra en el yogur liofilizado

Se encontró que a medida que la cantidad de inulina aumenta de 1 a 2 %, la cantidad de fibra también aumenta en ambos niveles de salvado de trigo. Esto sugiere que la inulina tiene un efecto positivo sobre la cantidad de fibra. Así, la adición de inulina, independientemente del porcentaje agregado resulta en una mayor cantidad de fibra cuando se combina con salvado de trigo al 4 % en comparación con el uso al 2 %. Esto indica que el salvado de trigo también tiene un efecto positivo sobre la cantidad de fibra, demostrándose que existe interacción entre el porcentaje de inulina y porcentaje de salvado de trigo, evidenciado porque las líneas no son paralelas, siendo mayor el efecto cuando se combinan niveles altos de ambos ingredientes (inulina = 2 y salvado de trigo = 4).

La **Tabla 31** presenta los niveles óptimos de los factores estudiados para maximizar el contenido de fibra en el producto. Los valores bajo y alto de inulina y salvado de trigo se ajustan para determinar las condiciones ideales.

Tabla 31: Optimización de la respuesta.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Inulina	1,0	2,0	2,0
Salvo de Trigo	2,0	4,0	4,0

Valor óptimo= 11,397

La **Tabla 32** muestra los coeficientes de regresión obtenidos para la variable respuesta porcentaje de fibra. El coeficiente constante de 8,223 representa el valor de la respuesta cuando ambos factores (inulina y salvado de trigo) están en su nivel base. Los coeficientes A y B indican el impacto de cada factor individualmente, siendo positivo para la inulina y negativo para el salvado de trigo. El término AB representa la interacción entre inulina y salvado de trigo.

Tabla 32: Coeficientes de regresión para la variable respuesta porcentaje fibra.

Coefficiente	Estimado
constante	8,223
A: Inulina	0,569
B: Salvo de Trigo	-0,2145
AB	0,36175

La Ecuación 10 representa el modelo de regresión para el contenido de fibra.

Ecuación 10: Modelo de regresión ajustado para el contenido de fibra.

$$\text{Fibra} = 8,223 + 0,569 \cdot \text{Inulina} - 0,2145 \cdot \text{Salv. Trigo} + 0,36175 \cdot \text{Inulina} \cdot \text{Salv. Trigo}$$

El resultado de la variable de respuesta fue de: 11,397, lo que constituye el valor óptimo.

El diagrama de Pareto estandarizado mostrado en la **Figura 19** ilustra los efectos principales e interacción que afectan el porcentaje de fibra. Las barras grises representan los efectos

positivos de cada factor, mientras que las barras azules muestran los efectos negativos. El factor A exhibió el mayor impacto estándar, indicando que la concentración de inulina es el factor más determinante en la variabilidad del porcentaje de fibra. El efecto del factor B fue moderado, aunque significativo. La interacción AB tuvo el menor impacto, pero aún contribuyó a la variabilidad del porcentaje de fibra. La línea azul vertical marca el umbral de significancia estándar, indicando que los efectos que cruzan esta línea son estadísticamente significativos al 95 % de confianza.

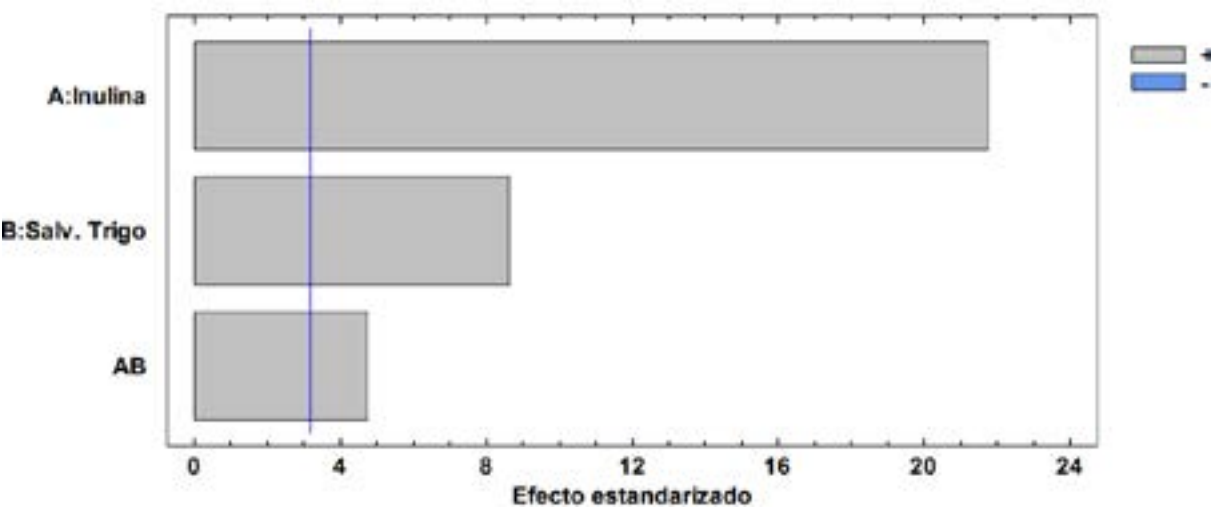


Figura 19: Diagrama de Pareto estandarizado para el porcentaje de fibra en el yogur liofilizado.

3.3.2 Contenido de proteínas

La **Tabla 32** muestra los resultados del contenido de proteína en el yogur liofilizado expresados en porcentaje para los diferentes tratamientos. Los valores de proteína varían según el tratamiento, con los tratamientos 1 y 2 mostrando los porcentajes más altos de proteína (28,01 % y 28,39 %, y 26,67 % y 26,80 %, respectivamente), mientras que los tratamientos 3 y 4 presentan porcentajes más bajos (26,16 % y 25,71 %, y 23,35 % y 23,86 %, respectivamente).

Tabla 32: Resultados de proteína en el yogur liofilizado expresado en porcentaje

Tratamiento	R1	R2	R3
Inulina 1 %	28,01	28,39	27,63
Inulina 2 %	26,67	26,80	26,99
Salvado de trigo 2 %	26,16	25,71	25,90
Salvado de trigo 4 %	23,35	23,86	23,61

La **Tabla 33** muestra los resultados del análisis de varianza para la variable de respuesta proteína. Este análisis descompone la variabilidad atribuida a cada uno de los efectos estudiados, que incluyen el porcentaje de inulina, el porcentaje de salvado de trigo, y su interacción, junto con el error aleatorio y el total. Los resultados indican que tanto el factor A como el factor B tienen una diferencia estadística altamente significativa con valores de p-valor menores a 0,05; lo que implica que ambos factores tienen un impacto significativo sobre la variable de respuesta proteína. La interacción AxB también es estadísticamente significativa, con un p-valor de 0,0156, lo cual implica que la interacción entre inulina y salvado de trigo influye en los niveles de proteína.

Tabla 33: Análisis de varianza para el porcentaje de proteína en el yogur liofilizado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Inulina	21,0675	1	21,0675	246,75	0,0001**
B: Salvado de Trigo	9,22253	1	9,22253	108,02	0,0001**
AB	0,952033	1	0,952033	11,15	0,0156*
Error	0,512283	6	0,0853806		
Total	31,8148	11			

Gl: Grados de libertad. **Diferencia estadística altamente significativa; *Diferencia estadística significativa

El estadístico indica que el modelo, así ajustado, explica 98,39 % de la variabilidad en Proteína. El estadístico ajustado, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 97,048 %. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos fue de 0,2922. El error medio absoluto de 0,179583 fue el valor promedio de los residuos.

La **Figura 20** indica la relación entre los niveles bajo y alto de cada factor de estudio, con el Porcentaje de Proteína. El nivel bajo de Inulina y Salvado de Trigo, presentan un porcentaje de proteína alta. Al pasar a un nivel alto en los dos factores, se disminuye el % Proteína. Se encontró también que el Factor A presenta mayor efecto.

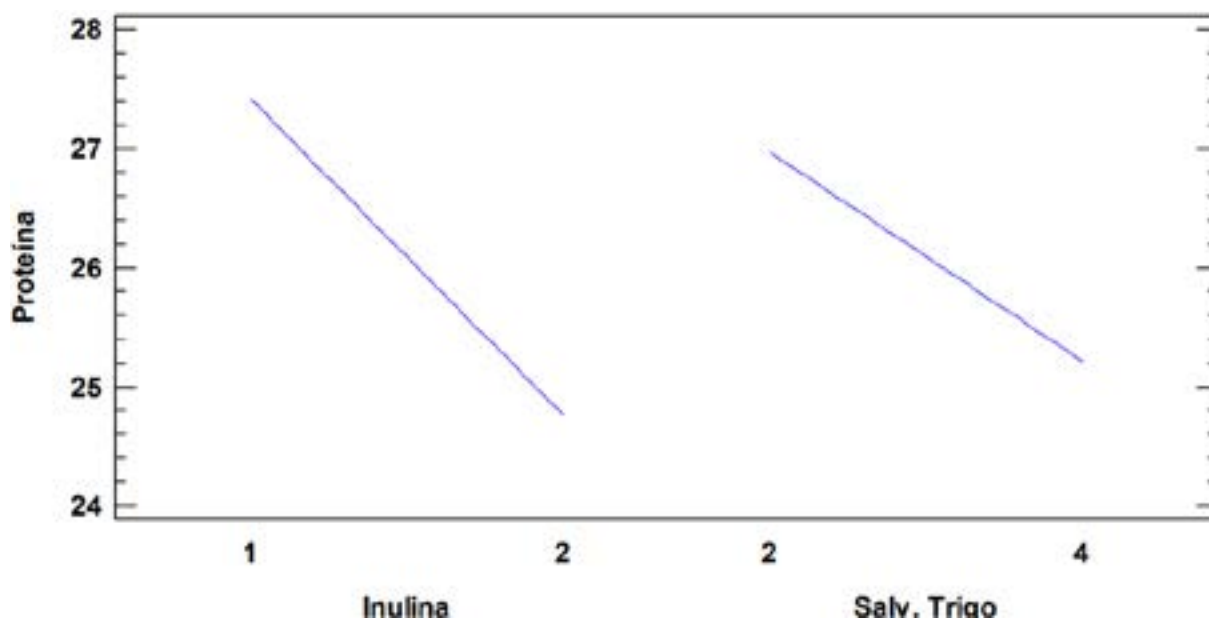


Figura 20: Gráfico de efectos principales para la variable porcentaje de proteína en el yogur liofilizado

La **Figura 21** muestra cómo varía el contenido de proteína en función del porcentaje de inulina y del porcentaje de salvado de trigo. Se encontró que el efecto del salvado de trigo varía con el nivel de inulina; es decir, cuando la inulina es 1, aumentar el porcentaje de salvado de trigo de 2 a 4 reduce el contenido de proteína de 28 % a 27 %. Por el contrario, cuando la inulina es 2, este incremento en el salvado de trigo reduce la proteína de 26 % a 24 %. Esto significa que el efecto de la inulina en el contenido de proteína depende del nivel de salvado de trigo y viceversa, mostrando la presencia de interacción entre ambos factores en el porcentaje de proteína.

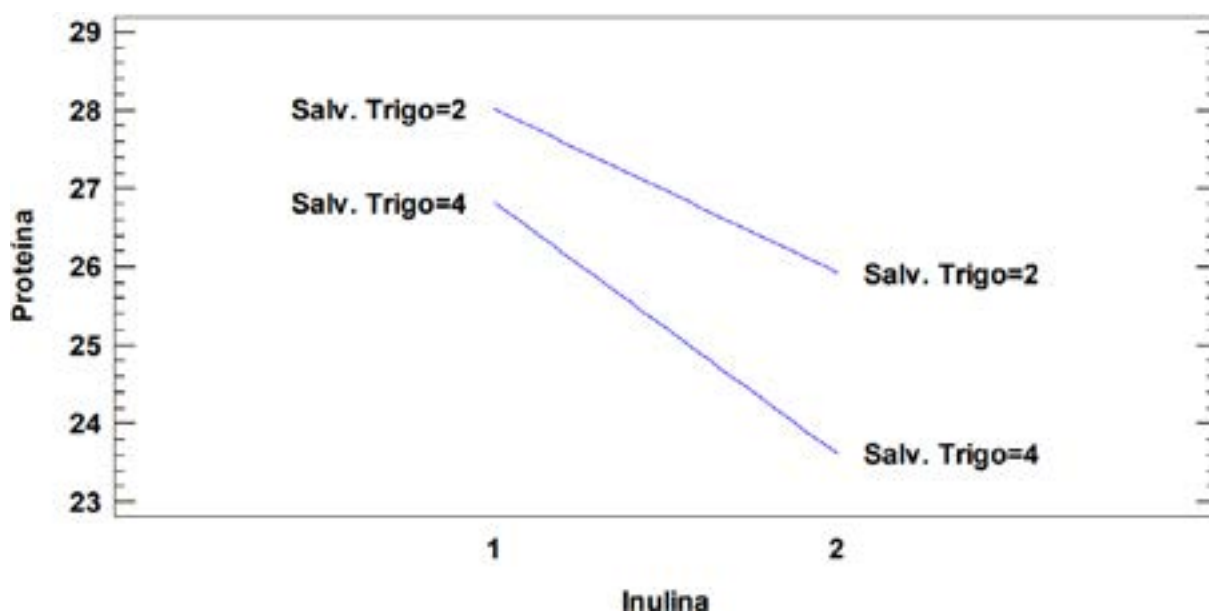


Figura 21: Gráfico de interacción para la variable respuesta porcentaje de proteína en el yogur liofilizado

Tabla 35: Optimización de la respuesta

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Inulina	1,0	2,0	1,0
Salvo de Trigo	2,0	4,0	2

Valor óptimo = 28,01

La **Tabla 36**, muestra los resultados de la combinación de los niveles de los factores % Inulina y % Salvado de Trigo, en sus niveles bajo y alto, hasta encontrar el valor óptimo.

Tabla 36: Coeficientes de regresión para el porcentaje proteína en el yogur liofilizado.

Coeficiente	Estimado
constante	30,16
A: Inulina	-0,96
B: Salvo de Trigo	-0,0316667
AB	-0,563333

La ecuación **Ecuación 11** muestra el modelo de regresión ajustado para el contenido de proteína:

$$\% \text{ Proteína} = 30,16 - 0,96 * \text{Inulina} - 0,0316667 * \text{Salv. Trigo} - 0,563333 * \text{Inulina} * \text{Salv. Trigo}$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. El resultado de la variable de respuesta es: 28,01, lo que constituye el valor óptimo.

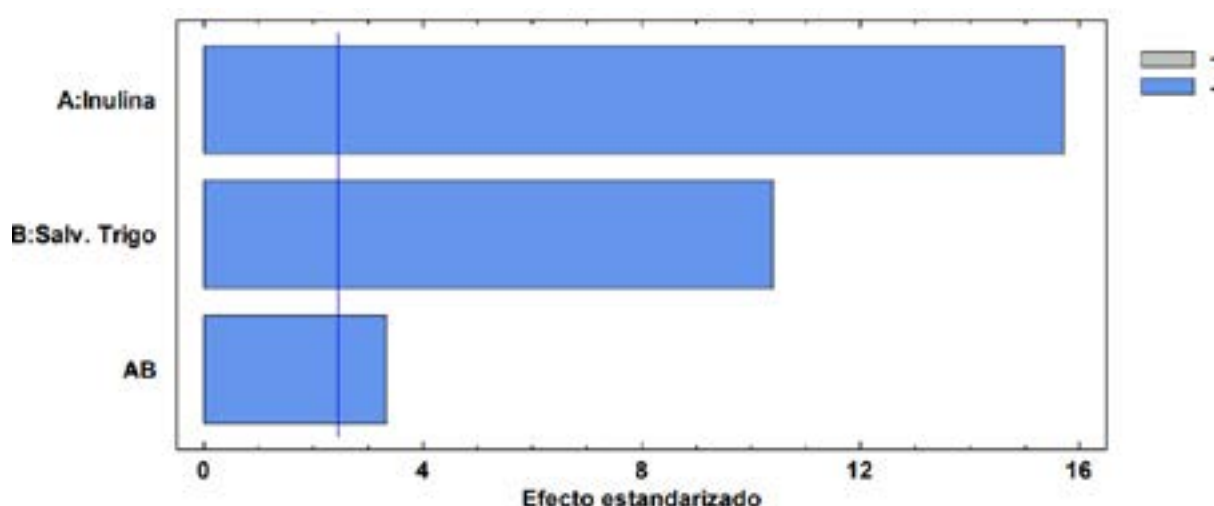


Figura 22: Diagrama de Pareto estandarizado para el porcentaje de proteína en el yogur liofilizado

La **Figura 22** indica la relación entre el valor del efecto estandarizado con los factores de estudio y la interacción. La línea vertical azul en el gráfico representa el umbral de significancia. Los efectos que superan esta línea son considerados significativos. La inulina tiene el mayor valor del efecto, seguido por el valor del % Salvado de Trigo. La interacción también presenta efecto en el porcentaje de proteína.

3.4 Análisis sensorial del yogur liofilizado

La evaluación sensorial de un yogur liofilizado es un proceso fundamental para determinar su aceptación por parte de los consumidores y su calidad organoléptica. Este análisis implica la valoración de atributos como apariencia, color, textura, aroma y sabor, los cuales pueden verse afectados por el proceso de liofilización, que elimina el agua del producto a bajas temperaturas preservando sus características nutricionales y sensoriales [58], [59].

Los criterios de evaluación sensorial pueden abordarse mediante pruebas descriptivas y afectivas, en las que paneles entrenados o consumidores evalúan la intensidad y aceptación de los atributos mencionados. Factores como la rehidratabilidad, la homogeneidad y la persistencia del sabor juegan un papel crucial en la percepción del producto final [60]. Además, la textura del yogur liofilizado, que puede variar entre un polvo fino y una estructura más porosa, influye en la experiencia del consumidor y en su facilidad de reconstitución [61], [62].

El análisis sensorial no solo contribuye al desarrollo de productos con mejores características sensoriales y funcionales, sino que también permite optimizar los parámetros de liofilización para minimizar pérdidas en calidad y maximizar la aceptación del consumidor.

Entre los criterios organolépticos considerados se incluyeron: el color, olor, sabor, textura y aceptabilidad.

3.4.1 Color

Tabla 37: Análisis de varianza para el color del yogur liofilizado.

Fuente	Suma Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tratamientos	4,86875	3	1,62292	3,49	0,0293*
B: Catadores	4,80625	9	0,534028	1,15	0,3659 Ns
Error	12,5688	27	0,465509		
Total	22,2438	39			

Gl: Grados de libertad. *Diferencia estadística significativa; ns: Diferencia estadística no significativa

La tabla 37 indica la descomposición de la variabilidad de la variable de respuesta Color en contribuciones debido al efecto del factor tratamiento, se bloque el efecto de los catadores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre color con un 95 % de nivel de confianza.

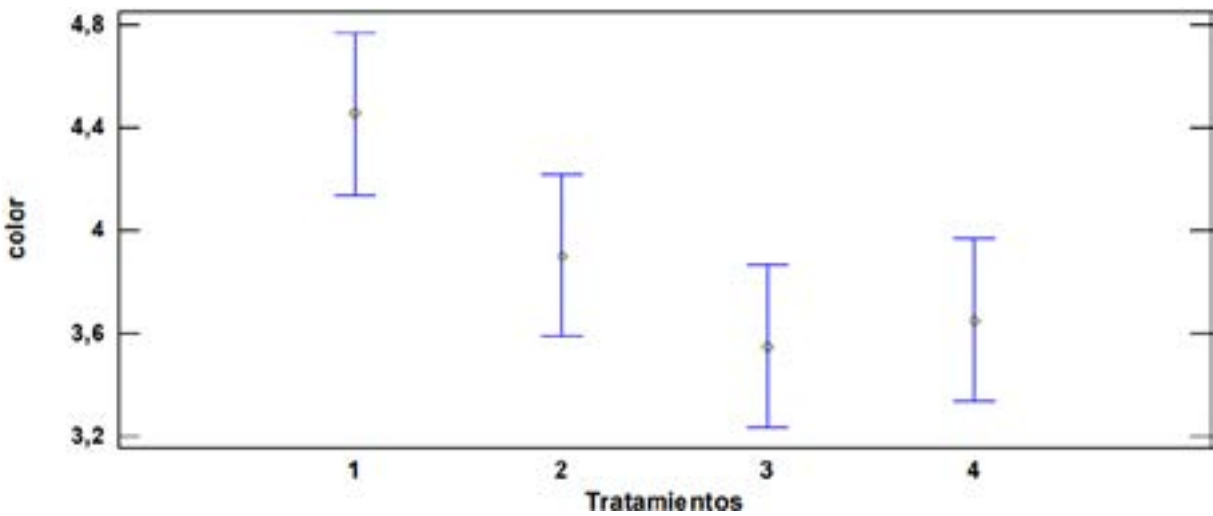


Figura 23: Gráfico de medias para la variable color del yogur liofilizado

La **Figura 23** indica las medias de cada tratamiento. Los tratamientos 2, 3 y 4 son estadísticamente iguales. El Tratamiento 1 es diferente estadísticamente al tratamiento 3 y 4, pero igual al tratamiento 2. El tratamiento 1 presenta la media más alta en relación con los demás tratamientos.

Tabla 38: Prueba de rangos múltiples para la variable respuesta color del yogur liofilizado.

Tratamientos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos
				Homogéneos
3	10	3,55	0,215757	B
4	10	3,65	0,215757	B
2	10	3,9	0,215757	A
1	10	4,45	0,215757	B

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa, LSD, de Fisher. El valor de la del tratamiento 1 presenta mayor valor en relación con los otros tratamientos.

3.4.2 Olor

Tabla 39: Análisis de varianza para la variable olor del yogur liofilizado.

Fuente	Suma	Gl	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
	Cuadrados		Medio		
A: Tratamientos	3,45	3	1,15	4,05	0,0169*
B: Catadores	6,275	9	0,697222	2,45	0,0345*
Error	7,675	27	0,284259		
Total	17,4	39			

Gl: Grados de libertad. *Diferencia estadística significativa.

La tabla 45 indica la descomposición de la variable olor en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre aroma con un 95 % de nivel de confianza.

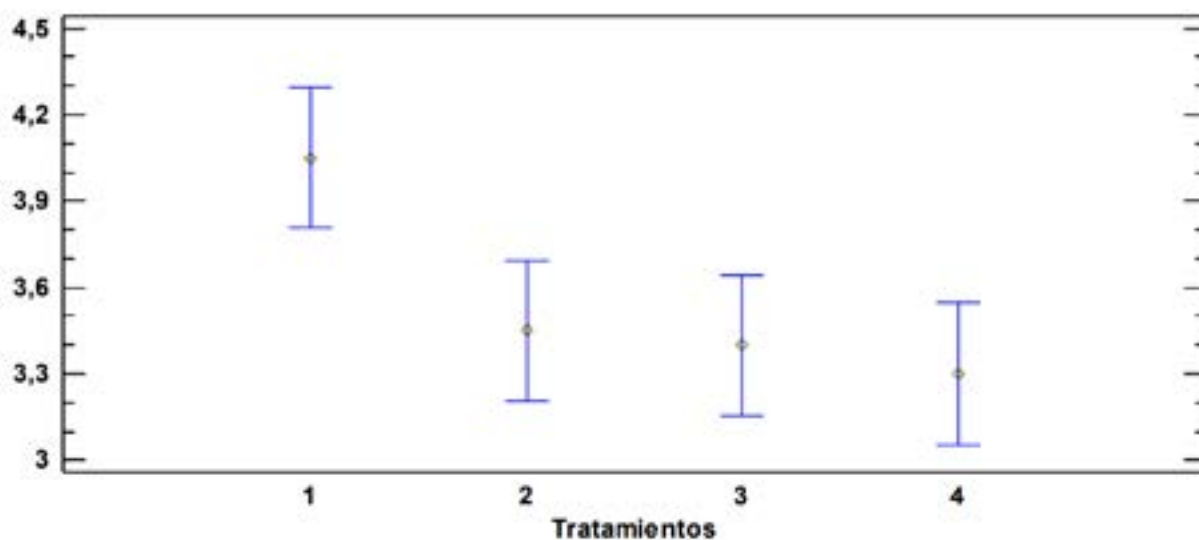


Figura 24: Gráfico de medias para el olor del yogur liofilizado

La **Figura 24** indica las medias de cada uno de los tratamientos en relación con la variable olor. Los tratamientos 2, 3 y 4 son estadísticamente iguales. El tratamiento 1 es estadísticamente diferente a los demás tratamientos.

Tabla 40: Pruebas de rangos múltiples para la variable olor del yogur liofilizado.

Tratamientos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	10	3,30	0,1686	A
3	10	3,40	0,1686	A
2	10	3,45	0,1686	A
1	10	4,05	0,1686	A

Aunque no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de medias de mínimas diferencias significativas, LSD, el valor del tratamiento 1 es numéricamente mayor al de los otros tratamientos.

3.4.3 Sabor

Tabla 41: Análisis de varianza para la variable sabor del yogur liofilizado.

Fuente	Suma Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tratamientos	9,8687	3	3,28958	5,85	0,0033*
B: Catadores	3,4312	9	0,38125	0,68	0,7221 ns
Error	15,193	27	0,562731		
Total	28,493	39			

Gl: Grados de libertad. *Diferencia estadística significativa; ns: Diferencia estadística no significativa para a = 0,05.

La tabla 42 indica la descomposición de la variabilidad de sabor en contribuciones debidas a varios factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre sabor con un 95 % de nivel de confianza.

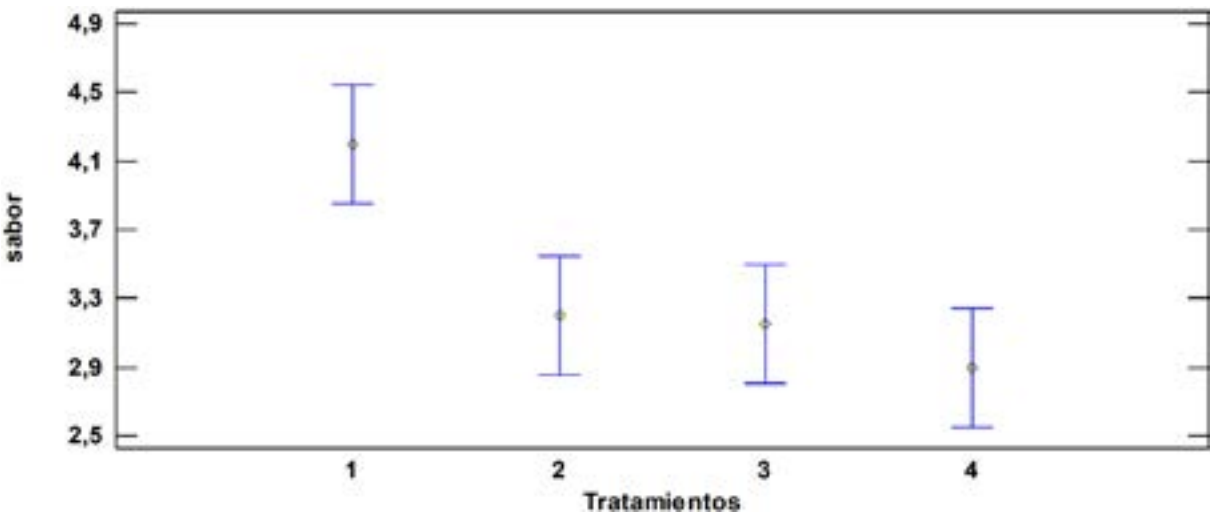


Figura 25: Gráfico de medias de la variable sabor del yogur liofilizado

La **Figura 25** indica las medias de cada tratamiento. El tratamiento 2, 3 y 4 son estadísticamente iguales. El tratamiento 1 es diferente a los demás tratamientos, y presenta un valor mayor.

Tabla 42: Prueba de rangos múltiples de la variable sabor del yogur liofilizado.

Tratamientos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	10	2,90	0,23722	A
3	10	3,15	0,23722	A
2	10	3,20	0,23722	A
1	10	4,20	0,23722	A

Similar a lo observado con la variable olor, aunque no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos respecto al sabor, de acuerdo con la prueba de medias de mínimas diferencias significativas, LSD, el valor del tratamiento 1 es numéricamente mayor al de los otros tratamientos.

3.4.5 Textura

Tabla 43: Análisis de varianza de la textura del yogur liofilizado.

Fuente	Suma Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tratamientos	5,675	3	1,89167	3,83	0,0208*
B: Catadores	2,975	9	0,330556	0,67	0,7285 ns
Error	13,325	27	0,493519		
Total	21,975	39			

Gl: Grados de libertad. *Diferencia estadística significativa; Ns: Diferencia estadística no significativa

La tabla 44 indica la descomposición de la variabilidad de textura en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre textura con un 95 de nivel de confianza.

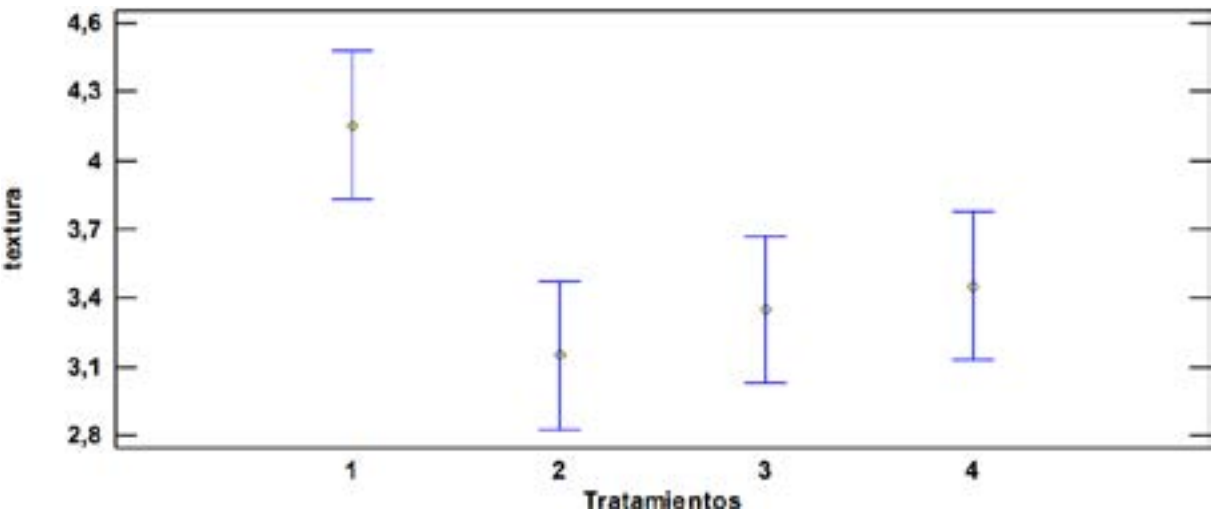


Figura 26: Gráfico de medias de la textura del yogur liofilizado.

Tabla 44: Prueba de rangos múltiples de la variable textura del yogur liofilizado.

Tratamientos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	10	3,15	0,222153	A
3	10	3,35	0,222153	A
4	10	3,45	0,222153	A
1	10	4,15	0,222153	A

Nuevamente, no se observaron diferencias significativas en cuanto a la textura entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de medias de mínimas diferencias significativas (LSD), sin embargo, el valor del tratamiento 1 resultó ser numéricamente mayor al de los otros tratamientos.

3.4.6 Aceptabilidad

La tabla 45 muestra las medias de cada tratamiento en relación con la variable textura. Los tratamientos 2, 3 y 4 son estadísticamente iguales. El tratamiento 1 es diferente a los otros tratamientos y presenta un valor más alto.

Tabla 45: Análisis de varianza para la variable aceptabilidad del yogur liofilizado

Fuente	Suma Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tratamientos	15,0187	3	5,00625	9,62	0,0002**
B: Catadores	12,1813	9	1,35347	2,6	0,0263*
Error	14,0438	27	0,520139		
Total	41,2438	39			

Gl: Grados de libertad. **Diferencia estadística altamente significativa; *Diferencia estadística significativa.

La tabla 46 indica la descomposición de la variabilidad de aceptabilidad en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre aceptabilidad con un 95 % de nivel de confianza.

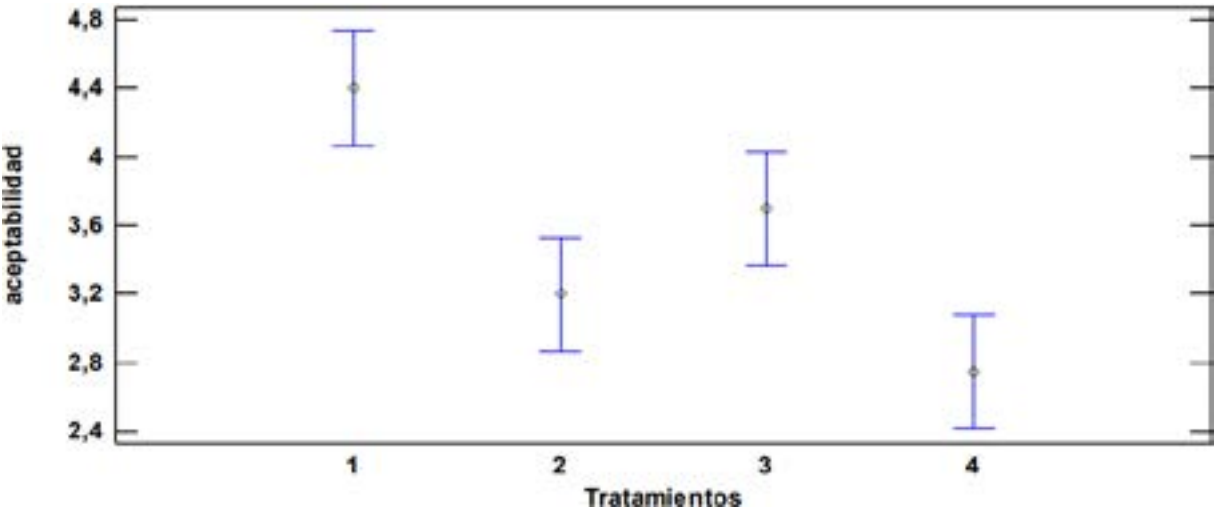


Figura 27: Gráfico de medias para la aceptabilidad del yogur liofilizado.

La **Figura 27** indica las medias de cada tratamiento. La media del tratamiento 1 es estadísticamente igual a la media del tratamiento 3 y diferente a las medias de los tratamientos 2 y 4. La media del tratamiento 2 es estadísticamente igual a la media del tratamiento 3 y 4, y diferente a la media del T1. La media del tratamiento 3 es estadísticamente igual a la media del tratamiento 1 y 2 pero diferente a la media del tratamiento 4. La media del tratamiento 4 es estadísticamente igual a la media del tratamiento 2 y diferente a la media del tratamiento 1 y 3. El mayor valor presenta el T1.

Tabla 46: Prueba de rangos múltiples de la variable aceptabilidad del yogur liofilizado.

Tratamientos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	10	2,75	0,228066	D
2	10	3,20	0,228066	C
3	10	3,70	0,228066	B
1	10	4,40	0,228066	A

Con relación a la aceptabilidad del producto, se observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, de acuerdo con la prueba de medias de mínimas diferencias significativas (LSD), resultando el tratamiento 1 estadísticamente superior al resto de los tratamientos, con una media de 4,40.

3.5 Determinación del mejor tratamiento liofilizado

Tomando en cuenta los resultados del análisis sensorial, el yogur preparado a base de a base de 1 % de inulina y 2 % de salvado de trigo (T1) fue el más aceptado, señalándose como el de mejor calidad debido a que presentó las más altas puntuaciones en las variables de color (4,40), olor (4,05), sabor (4,20), textura (4,15) y aceptabilidad (4,45). Se sugiere que las proporciones usadas de inulina y salvado de trigo proporcionaron una sinergia única de sabor, textura y propiedades prebióticas que resultaron en una experiencia sensorial altamente satisfactoria para los evaluadores.

3.5.1 Análisis físico químico y microbiológico del mejor tratamiento

Además, de acuerdo con el análisis físico, químico y microbiológico del producto liofilizado, el yogur con 1 % de inulina y 2 % de salvado de trigo (T1) mostró la más alta calidad en cuanto a contenido de fibra, porcentaje de proteína, contenido de calcio, conteo de lactobacilos, humedad, ceniza y grasa.

Tabla 47: Análisis físico, químico y microbiológico del yogur liofilizado preparado a base de 1 % de inulina y 2 % de salvado de trigo

Parámetro	Unidad	Valores
-----------	--------	---------

Fibra	%	9,09
Proteína	%	28,01
Calcio	mg/100g	543,59
Humedad	%	5,30
Ceniza	%	2,95
Grasa	%	12,80
Conteo de Lactobacillus	UFC	$1,00 \pm 0,27 \times 10^7$ UFC/g

3.5.2 Contenido de fibra

El contenido de fibra en el yogur liofilizado (T1) fue determinado por el método WEENDE y arrojó un valor de 9,09 %, lo que se considera un valor aceptable en este tipo de productos fermentados. En este caso, la alta concentración de fibra sugiere que el tratamiento T1, que contiene 1 % de inulina y 2 % de salvado de trigo, es una fuente rica en fibra. La inulina es conocida por sus propiedades prebióticas, mientras que el salvado de trigo es una excelente fuente de fibra insoluble. La combinación de estos ingredientes puede haber contribuido al alto contenido de fibra del producto.

Existen numerosos estudios relacionados con el impacto de la inulina y el salvado de trigo en el contenido de fibra del yogur. En un estudio donde se utilizó inulina en la formulación de yogur descremado de leche de cabra se encontró que la adición de inulina resultó en un producto con mayor cremosidad y firmeza, además de aumentar el contenido de fibra dietética [63]. Así mismo, en una revisión bibliográfica se analizó el uso de la inulina como sustituto de grasa en la producción de yogur, destacando sus beneficios en la mejora de la textura y el incremento del contenido de fibra, contribuyendo así a las propiedades funcionales del producto final., cuyos valores promedios deberían estar entre 3 a 6 g/100 g o 100 ml de producto, mientras que el consumo de entre 3 a 8 g por día sería necesario para asegurar su efecto prebiótico [64].

Por su parte, en una investigación se exploró el efecto de la adición de diferentes concentraciones de salvado de trigo (0 %, 1 %, 2 % y 3 %) sobre las características fisicoquímicas y sensoriales del yogur de leche de búfala se observó el incremento del contenido de fibra y la modificación de las propiedades como la acidez y la sinéresis del yogur, observándose que el producto con las mejores características tenía el menor porcentaje de fibra con mayor pH y menores valores de acidez y sinéresis [65].

3.5.3 Contenido de proteína

La proteína es un nutriente esencial para el crecimiento y la reparación de tejidos en el cuerpo humano, y su presencia en alimentos como el yogur liofilizado puede contribuir significativamente a la ingesta diaria de proteínas. El porcentaje de proteína en el yogur liofilizado (T1), determinado mediante el método Dumas, reveló un contenido del 28,01 %, indicando un alto contenido proteico en el producto. Este valor proteico pudiera deberse a la incorporación combinada de inulina y el salvado de trigo. El salvado de trigo es una buena fuente de proteína vegetal, mientras que la inulina puede haber mejorado la retención de proteínas durante el proceso de liofilización.

El valor nutricional del yogur como fuente de proteínas ha sido debido a que estudios *in vitro* han demostrado que la fermentación bacteriana del ácido láctico de la leche puede aumentar su valor biológico, evidenciándose que dietas que contenían yogur aumentaron el peso corporal por unidad de ingesta de proteína más que las dietas que contenían leche sin fermentar y, por lo tanto, la proteína en el yogur tiene mayor disponibilidad que la de la leche sin fermentar *in vivo*, lo cual está asociado con el aumento del sistema musculoesquelético [66].

3.5.4 Contenido de calcio

El calcio es un mineral importante para la salud ósea y dental, así como para diversas funciones fisiológicas, como la contracción muscular y la coagulación sanguínea.

El contenido de calcio en el yogur liofilizado (T1) fue determinado por el método de absorción atómica. Este método es una técnica altamente sensible y precisa que permite la cuantificación de metales, como el calcio, en muestras de alimentos, por lo que su aplicación garantiza la fiabilidad y exactitud de los resultados. De acuerdo con los resultados, el contenido de calcio fue de 543,59 mg por cada 100 g del producto, lo cual puede atribuirse a la inclusión de ingredientes como el salvado de trigo, conocido por ser una fuente naturalmente rica en calcio.

En resumen, el este producto puede ser considerado una fuente importante de este mineral esencial, lo que sugiere su potencial para contribuir a los requerimientos diarios de calcio y promover la salud ósea y general.

El yogur se considera una buena fuente de calcio puesto que su concentración es 50 % más alta que en la leche y cuya biodisponibilidad se incrementa por la acidez generada durante la fermentación por las bacterias lácticas y cuya función es esenciales para la salud de los huesos y los dientes, la función muscular [componentes básicos del trifosfato de adenosina (ATP)], además de intervenir en el incremento de la actividad inmunológica, la función nerviosa y la función celular general [67].

3.5.5 Contenido de humedad

La liofilización es un proceso de deshidratación que implica congelar el producto y luego eliminar el agua mediante sublimación. Así el contenido de humedad en el yogur liofilizado (T1), evaluado por el método AOAC 925.10, reveló un valor de 5,30 %, lo que contribuye a mejorar su estabilidad y aumentar la larga vida útil del producto debido a que reduce el crecimiento microbiano.

La determinación del contenido de humedad de una muestra liofilizada es una de las mediciones más importantes y utilizadas en el procedimiento y prueba de alimentos para mejorar su vida útil y estabilidad y, al mismo tiempo, preservar la viabilidad de los microorganismos [68].

3.5.6 Contenido de cenizas

La ceniza en los alimentos representa los minerales inorgánicos presentes después de la incineración a altas temperaturas, lo que refleja la cantidad de material inorgánico en la muestra. El análisis de ceniza en el yogur liofilizado (T1) fue realizado por el método AOAC 923.03, el cual mostró un valor de 2,95 %, lo que indica la presencia de minerales inorgánicos esenciales como calcio, magnesio y potasio, que son importantes para la salud ósea, muscular y cardiovascular.

La determinación de cenizas permite detectar posibles contaminaciones metálicas en los alimentos las cuales pueden ocurrir durante el proceso de producción, si parte de los metales de la maquinaria pasan al producto o durante el almacenamiento, además, la ceniza también puede influir en las propiedades físicas y sensoriales del producto final, como su textura y sabor [69].

3.5.7 Contenido de grasa

El análisis del contenido de grasa en el yogur liofilizado (T1) fue hecho mediante el método AOAC 2003.06, mostrando un valor del 12,80 %, lo que es considerado una cantidad moderada de lípidos en el producto final. Este contenido de grasa no solo mejora las propiedades nutricionales sino también las propiedades sensoriales puesto que aporte la textura y sabor adecuados al producto final, además de mejorar la saciedad y la palatabilidad. Es importante tener en cuenta que el exceso de grasa incrementa el contenido calórico del producto, con posibles consecuencias negativas en la salud cardiovascular si se consume en exceso.

El contenido de grasa es esencial para la estabilidad, el sabor y la textura de los productos alimenticios debido sus propiedades beneficiosas, por lo que esta debe sustituirse por algún producto sustituto derivado de ingredientes que contienen carbohidratos, proteínas y lípidos con

diferentes estructuras y funciones en cada grupo [70], [71] taste, texture, and odor to different foods, affecting overall consumer acceptance. There is a significantly high amount of fat in a diverse assortment of commodities, including meat, dairy, sauces, baked food, and oleogels. To reduce the high content and preserve consumer acceptability, fat replacers are often used such as proteins, complex carbohydrates, lipids, and their combinations, which have been widely investigated for use in various applications. Each type of replacers has unique characteristics that impact the quality of food product, with the processing methods playing a significant role. Emulsion and hydrocolloid methods, as well as the enzymatic synthesis of triacylglycerol, are recommended for dairy products, processed cheese, and low-fat meat products. Methods based on the enzymatic intersterification of the end product can also replicate the characteristics of natural fats (without trans).

3.5.8 **Conteo de *Lactobacillus* spp.**

Lactobacillus es una bacteria crucial en productos fermentados como el yogur, ya que son responsables de la fermentación láctica que convierte la lactosa en ácido láctico, lo que contribuye al sabor característico y a la conservación del producto.

De acuerdo con los resultados, el conteo de *Lactobacillus* en el yogur liofilizado en el mejor tratamiento (T1) mostró valores de $1,00 \pm 0,27 \times 10^7$ UFC/10mL, lo que aseguró un proceso de fermentación exitoso y una población bacteriana adecuada durante el proceso de liofilización. Esto es importante porque las bacterias *Lactobacillus* no solo contribuyen al sabor y la textura del yogur, sino que también pueden tener beneficios para la salud, como mejorar la digestión y fortalecer el sistema inmunológico. Según la NTE INEN 2395, “*las leches fermentadas deben cumplir con los requisitos del contenido mínimo del cultivo del microorganismo específico como bacterias probióticas 10^6 UFC*”.

Esta información sobre el número de UFC de *Lactobacillus* en el yogur liofilizado proporciona información crucial sobre la calidad del producto final. Un recuento adecuado de estas bacterias indica un proceso de producción controlado y garantiza un producto de alta calidad en términos de sabor, textura y beneficios para la salud.

Los efectos de la liofilización sobre la viabilidad de los microorganismos son variables. Por un lado, se encontró que el conteo de *Streptococcus thermophilus* varió de 6,97 a 7,02 log UFC/g el yogur fresco, mientras que en el yogur rehidratado varió de 6,2 a 6,6 log UFC/g, en tanto que el conteo de *Lactobacillus delbreuckii* subsp. *bulgaricus* viables varió de 7,74 a 7,80 log UFC/g, tanto en el yogur fresco como rehidratado. Esto indicó que la liofilización del yogur tuvo un efecto mínimo en la viabilidad de *S. thermophilus* y ningún efecto en la viabilidad de *Lactobacillus delbreuckii* subsp. *bulgaricus* [69]. Por el contrario, en otro estudio se encontró

que el número de *L. bulgaricus* y *S. thermophilus* disminuyó 3 ciclos logarítmicos después de la liofilización [72].

La resistencia de las células bacterianas a la liofilización depende de diversos factores relacionados con las células bacterianas y las condiciones de producción. Por ello, la incorporación de ciertos tipos de aditivos como proteína de suero, almidón modificado o polvo de espirulina durante la fabricación del yogur funcionan como agentes protectores del efecto de la liofilización para los microorganismos como *Lactobacillus delbreuckii* subsp. *bulgaricus* [69].

3.6 Imagen comercial del producto

El empaque y etiqueta del producto liofilizado fermentado con características prebióticas fueron diseñados de acuerdo con la normativa NTE INEN 2883, según la cual, se debe incluir de manera clara y legible el nombre de la marca del producto, información nutricional, lista de ingredientes, detalles adicionales que aporten al consumidor. El propósito fundamental de la información proporcionada en las etiquetas es brindar a los consumidores una visión apropiada de los componentes o nutrientes presentes en el alimento, considerados relevantes desde el punto de vista nutricional. Es crucial destacar que esta información, su finalidad es presentar de manera transparente las proporciones de nutrientes presentes en el producto. En el caso del producto liofilizado, esto implica resaltar su alto contenido de fibra y proteína que aporta al consumidor. En la **Figura 28** se muestra una propuesta de etiqueta del producto final.

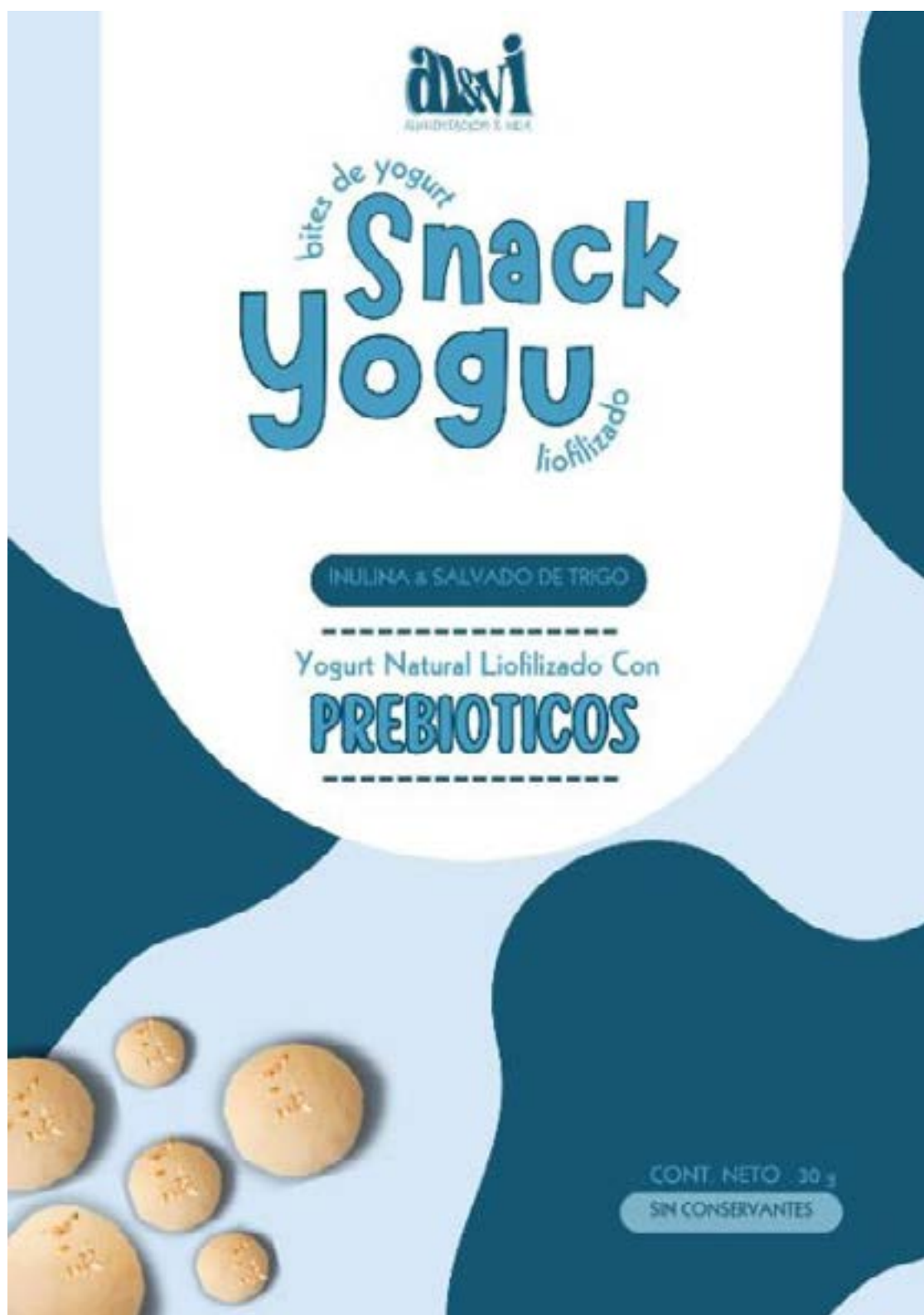




Figura 28: Propuesta de etiqueta del producto final.

La inulina es una fibra soluble compuesta de un fructano lineal formado por fructosa y glucosa que es frecuentemente usado en la formulación de productos lácteos principalmente como edulcorante bajo en calorías, como sustituto de grasas y como prebiótico, además puede

ser usado como fibra no digerible para formar geles, aumentar la viscosidad y mejorar las propiedades organolépticas de los alimentos gracias a sus características funcionales [73].

Varios estudios han demostrado los efectos positivos de la adición de inulina en diferentes tipos de yogur. En un estudio realizado en Rumania con el objetivo fue medir el efecto de la adición de inulina sobre las características organolépticas y fisicoquímicas de un yogur probiótico, así como la evolución de bifidobacterias. Los resultados obtenidos mostraron una evolución progresiva con la adición de inulina, con los mejores resultados obtenidos en el yogur con un 3 % de inulina añadida, puesto que el número de bifidobacterias aumentó en $1,04 \times 10^9$ UFC/g en apenas 7 días, alcanzando un máximo de $1,30 \times 10^9$ UFC/g [74]. De acuerdo con estos autores, los productos que contienen probióticos y prebióticos pueden modificar la composición de la microflora intestinal, con efectos beneficiosos para el organismo.

De la misma forma, en Polonia, se analizó la influencia de la cantidad de inulina añadida (3 %, 6 %, 9 %, 12 % o 15 % p/p) en las propiedades fisicoquímicas del yogur natural, tales como acidez (titulación; pH), textura (ensayo de penetración), curvas de viscosidad, microrreología (índice de viscosidad macroscópica, MVI; índice de elasticidad, EI; balance sólido-líquido y la estabilidad física (sinéresis). Entre los resultados más relevantes, se observó que los valores de pH, MVI y fuerza de penetración fueron mayores en el yogur con 15 % de inulina. A su vez, el uso de inulina provocó la reducción de la sinéresis, así como de los índices de inestabilidad y las velocidades de sedimentación, mejorando su estabilidad física y cuyo efecto estuvo en función de la concentración del contenido de inulina [50].

Finalmente, debido al incremento en el nivel de conciencia de los consumidores por adquirir productos saludables, en los últimos años se ha observado una tendencia creciente en el consumo de alimentos funcionales, entre ellos, el yogur bebible. En este sentido, al evaluar las propiedades sensoriales, nutricionales y tecnológicas de un yogur bebible simbiótico enriquecido con inulina prebiótica, se encontró que la incorporación de inulina prebiótica cumplió con los criterios nutricionales, además de cumplir con los requisitos de bajo contenido en grasa y alto contenido en fibra dietética, lo que fue evidenciado por la mayor aceptación del producto debido a que satisfizo las necesidades y expectativas de los consumidores preocupados por su salud [75].

Con base en los resultados presentados, se demuestra que los yogures naturales con un alto contenido de inulina pueden ser clasificado como un alimento funcional. Así, el yogur es un alimento con un valor nutricional beneficioso que, en combinación con la inulina, presenta efectos beneficiosos, como la reducción del contenido de grasa, la mejora de las funciones intestinales y la influencia técnica y texturizante [73].

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN YOGUR LIOFILIZADO ALTO EN FIBRA Y PROTEÍNA

Conclusiones

La caracterización de las materias primas confirmó el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos para la producción del producto liofilizado, asegurando su idoneidad conforme a los requisitos normativos en el Ecuador. De acuerdo con los resultados, los análisis fisicoquímicos demostraron que los parámetros de acidez, contenido de lactosa, proteína, grasa, sólidos no grasos, densidad y punto de congelación están alineados con las especificaciones establecidas en la norma INEN 9:2012, lo que garantiza que este producto cumple con lo establecido en la legislación ecuatoriana vigente.

Los análisis para la determinación de la formulación óptima mostraron que la combinación de 2 % de inulina y 4 % de salvado de trigo en la matriz fermentada proporcionó las mejores características fisicoquímicas al yogur bebible, con características nutricionales adecuadas, proporcionando beneficios funcionales.

La evaluación sensorial indicó que el yogur liofilizado que contenía inulina 1 % más salvado de trigo 2 % obtuvo la mayor aceptación entre los panelistas, destacándose en atributos como color, olor, sabor, textura y aceptabilidad. Estos resultados sugieren que la incorporación de inulina y salvado de trigo en las proporciones establecidas mejora significativamente las propiedades organolépticas del producto, favoreciendo su potencial aceptación en el mercado.

Finalmente, los análisis físicos, químicos y microbiológicos del producto liofilizado confirmaron su calidad y seguridad, destacando por su alto contenido de fibra prebiótica y la presencia de bacterias lácticas viables. Adicionalmente, los niveles de humedad, ceniza y grasa se encontraron dentro de los rangos óptimos, garantizando la estabilidad del producto y su valor nutricional, lo que refuerza su viabilidad como una alternativa funcional en el segmento de productos fermentados.

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN YOGUR LIOFILIZADO ALTO EN FIBRA Y PROTEÍNA

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN YOGUR LIOFILIZADO ALTO EN FIBRA Y PROTEÍNA

RECOMENDACIONES

Para profundizar en la caracterización nutricional del producto, se recomienda ampliar el análisis a otros compuestos bioactivos, incluyendo la cuantificación de vitaminas antes y después del proceso de liofilización. Esto permitiría evaluar posibles pérdidas nutricionales y de esa manera, optimizar el proceso para asegurar la preservación más eficiente del valor nutricional del producto.

Adicionalmente, para garantizar la calidad del producto, es importante realizar monitoreos del contenido de bacterias lácticas viables durante todo el proceso de liofilización para así garantizar la viabilidad probiótica del producto final, asegurando su funcionalidad y su impacto positivo en la microbiota intestinal del consumidor.

Dada la versatilidad de los ingredientes utilizados, se sugiere explorar la producción de yogur liofilizado a partir de diferentes fuentes de leche, como la de búfalo o cabra, con el fin de evaluar su influencia en la calidad sensorial, nutricional y funcional del producto.

Finalmente, se recomienda fomentar programas de investigación interdisciplinarios que integren recursos agrícolas y biotecnológicos para el desarrollo de nuevos productos alimentarios innovadores. Esta estrategia impulsaría la generación de alimentos funcionales con alto valor agregado, promoviendo la sostenibilidad y la diversificación en la industria alimentaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. J. Temple, “A rational definition for functional foods: A perspective,” *Front. Nutr.*, vol. 9, p. 957516, 2022, doi: 10.3389/fnut.2022.957516.
- [2] C. J. Henry, “Functional foods,” *Eur. J. Clin. Nutr.*, vol. 64, no. 7, pp. 657–659, 2010, doi: 10.1038/ejcn.2010.101.
- [3] M. Yoshinari, T. Ohkuma, M. Iwase, and T. Kitazono, “Milk and yogurt consumption and its association with cardiometabolic risk factors in patients with type 2 diabetes: The Fukuoka Diabetes Registry,” *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.*, vol. 35, no. 1, p. 103772, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.numecd.2024.10.010.
- [4] R. Rizzoli and E. Biver, “Role of fermented dairy products in the health benefits of a mediterranean diet,” *Aging Clin. Exp. Res.*, vol. 36, no. 1, p. 75, Mar. 2024, doi: 10.1007/s40520-024-02721-x.
- [5] S. Pannerchelvan *et al.*, “Functional yogurt: a comprehensive review of its nutritional composition and health benefits,” *Food Funct.*, vol. 15, pp. 10927–10955, 2024, doi: 10.1039/d4fo03671a.
- [6] M. M. Tosif *et al.*, “A comparative study on utilization of different plant-derived nanomucilage as a fat replacer in yogurt: Product optimization, physicochemical attributes, shelf-life evaluation, and consumer perception with market orientation,” *Food Chem. X*, vol. 24, p. 101920, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.fochx.2024.101920.
- [7] R. A. Villamil *et al.*, “Desarrollo de productos lácteos funcionales y sus implicaciones en la salud: Una revisión de literatura,” *Rev. Chil. Nutr.*, vol. 47, no. 6, pp. 1018–1028, Dec. 2020, doi: 10.4067/S0717-75182020000601018.
- [8] Y. Liu, Z. Zhang, and L. Hu, “High efficient freeze-drying technology in food industry,” *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 62, no. 12, pp. 3370–3388, Apr. 2022, doi: 10.1080/10408398.2020.1865261.
- [9] S. Sarıtaş, A. del C. Mondragon Portocarrero, J. M. Miranda, A. M. Witkowska, and S. Karav, “Functional yogurt: Types and health benefits,” *Appl. Sci.*, vol. 14, p. 11798, 2024, doi: 10.3390/app142411798.
- [10] N. Babio, G. Mena-Sánchez, and J. Salas-Salvadó, “Beyond the nutritional value of yogurt: a diet quality indicator?,” *Nutr. Hosp.*, vol. 34, pp. 26–30, 2017, doi: 10.20960/NH.1567.
- [11] T. Setyawardani, J. Sumarmono, A. H. D. Rahardjo, N. D. Arkan, and I. Fadhlurrohman, “Quality of yogurt produced from various types of milk as raw materials,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1292, no. 1, 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1292/1/012020.

- [12] D. Sözeri Atik, H. İ. Öztürk, and N. Akın, “Perspectives on the yogurt rheology,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 263, p. 130428, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.130428.
- [13] K. Comerford *et al.*, “The role of dairy food intake for improving health among black Americans across the life continuum: A summary of the evidence,” *J. Natl. Med. Assoc.*, vol. 116, no. 2, pp. 292–315, 2024, doi: 10.1016/j.jnma.2024.01.020.
- [14] B. C. Adebayo-Tayo, B. R. Ogundele, O. A. Ajani, and O. A. Olaniyi, “Characterization of Lactic Acid Bacterium Exopolysaccharide, Biological, and Nutritional Evaluation of Probiotic Formulated Fermented Coconut Beverage,” *Int. J. Food Sci.*, vol. 2024, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.1155/2024/8923217.
- [15] L. Khorraminezhad and I. Rudkowska, “Effect of Yogurt Consumption on Metabolic Syndrome Risk Factors: a Narrative Review,” *Curr. Nutr. Rep.*, vol. 10, no. 1, pp. 83–92, Mar. 2021, doi: 10.1007/s13668-020-00344-y.
- [16] A. N. DeBruyne and S. Hekmat, “The effects of fortification of yogurt with various functional flours on survival and growth of probiotic bacteria and sensory properties of the yogurt,” *Nutr. Food Sci.*, vol. 54, no. 3, pp. 597–612, Apr. 2024, doi: 10.1108/NFS-11-2023-0257.
- [17] S. Pannerchelvan *et al.*, “Functional yogurt: a comprehensive review of its nutritional composition and health benefits,” *Food Funct.*, vol. 15, no. 22, pp. 10927–10955, 2024, doi: 10.1039/D4FO03671A.
- [18] M. A. Hossain, M. F. Dewan, M. T. Billah, M. Ahiduzzaman, M. M. Haque, and M. A. Haque, “Jackfruit Seed as a Natural Source for Protein and Mineral Enrichment of Yogurt,” *J. Food Process. Preserv.*, vol. 2023, pp. 1–13, Nov. 2023, doi: 10.1155/2023/9899564.
- [19] Y. He *et al.*, “Effects of dietary fiber on human health,” *Food Sci. Hum. Wellness*, vol. 11, no. 1, pp. 1–10, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.fshw.2021.07.001.
- [20] S. Merenkova, O. Zinina, M. Stuart, E. Okuskhanova, and N. Androsova, “Effects of dietary fiber on human health: a review,” *Hum. Sport Med.*, vol. 20, no. 1, pp. 106–113, Jun. 2020, doi: 10.14529/hsm200113.
- [21] C. Tanes *et al.*, “Role of dietary fiber in the recovery of the human gut microbiome and its metabolome,” *Cell Host Microbe*, vol. 29, no. 3, pp. 394–407.e5, 2021, doi: 10.1016/j.chom.2020.12.012.
- [22] F. Yao *et al.*, “Dietary intake of total vegetable, fruit, cereal, soluble and insoluble fiber and risk of all-cause, cardiovascular, and cancer mortality: systematic review and dose–response meta-analysis of prospective cohort studies,” *Front. Nutr.*, vol. 10, 2023, doi: 10.3389/fnut.2023.1153165.
- [23] L. H. Vásquez Cortez, A. C. Cortez Espinoza, J. E. Novillo Yáñez, and A. I. Rodríguez Basantes, “Nutrition in immune defence, the role of milk and its natural components,

- a systematic review,” *Salud, Cienc. y Tecnol.*, vol. 4, p. 843, Apr. 2024, doi: 10.56294/saludcyt2024843.
- [24] J. Braña and G. Maidana, “Revisión narrativa sobre la diferencia en el rendimiento de fuerza máxima en deportistas amateurs en base al origen del consumo de proteínas animales o vegetales,” Universidad del Rosario, 2024. Accessed: Dec. 01, 2024. [Online]. Available: <https://rid.ugr.edu.ar/handle/20.500.14125/1174>
- [25] S. Lamothe and M. Britten, “Coagulation and proteolysis of high-protein milks in the gastric environment,” *J. Dairy Sci.*, vol. 106, no. 8, pp. 5242–5252, Aug. 2023, doi: 10.3168/jds.2022-22714.
- [26] M. Mederico, Y. Rincón, J. Pacheco, Y. Briceño, M. Guillén, and M. Paoli, “Revista Venezolana de Endocrinología y Metabolismo,” *Rev. Venez. Endocrinol. y Metab.*, vol. 10, no. 1, pp. 96–110, 2012, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=375540232013>
- [27] K. K. Meena, N. K. Taneja, A. Ojha, and S. Meena, “Application of spray-drying and freeze-drying for microencapsulation of lactic acid bacteria: A review,” *Ann. Phytomedicine An Int. J.*, vol. 12, no. 1, Jun. 2023, doi: 10.54085/ap.2023.12.1.76.
- [28] P. Kumar and H. N. Mishra, “Yoghurt Powder—A Review of Process Technology, Storage and Utilization,” *Food Bioprod. Process.*, vol. 82, no. 2, pp. 133–142, Jun. 2004, doi: 10.1205/0960308041614918.
- [29] K. S. Yoha, J. A. Moses, and C. Anandharamakrishnan, “Effect of different drying methods on the functional properties of probiotics encapsulated using prebiotic substances,” *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 107, no. 5–6, pp. 1575–1588, Mar. 2023, doi: 10.1007/s00253-023-12398-3.
- [30] A. Tarrah, “Probiotics, Prebiotics, and Their Application in the Production of Functional Foods,” *Fermentation*, vol. 8, no. 4, p. 154, Mar. 2022, doi: 10.3390/fermentation8040154.
- [31] S. Fernández-Tomé, T. J. Ashaolu, and B. Hernández-Ledesma, “Exploration of the Nutritional and Functional Properties of Underutilized Grains as an Alternative Source for the Research of Food-Derived Bioactive Peptides,” *Nutrients*, vol. 15, no. 2, p. 351, Jan. 2023, doi: 10.3390/nu15020351.
- [32] A. Arslaner, M. A. Salik, and İ. Bakirci, “The effects of adding Hibiscus sabdariffa L. flowers marmalade on some quality properties, mineral content and antioxidant activities of yogurt,” *J. Food Sci. Technol.*, vol. 58, no. 1, pp. 223–233, Jan. 2021, doi: 10.1007/s13197-020-04533-z.
- [33] M. Klerks, “Snackification: Understanding Healthiness and Naturalness in Snacking Products-All Databases,” Wageningen University and Research, 2023. Accessed: Dec. 02, 2024. [Online]. Available: <https://bv.unir.net:2928/wos/alldb/full-record/>

PQDT:85687027

- [34] E. Rodríguez-Mínguez *et al.*, “Symbiotic sheep milk cheese containing Moringa oleifera extract and Bifidobacterium pseudolongum INIA P2,” *Int. J. Food Microbiol.*, vol. 427, p. 110942, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110942.
- [35] R. S. Khan, J. Grigor, R. Winger, and A. Win, “Functional food product development – Opportunities and challenges for food manufacturers,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 30, no. 1, pp. 27–37, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.tifs.2012.11.004.
- [36] J. Gao *et al.*, “Probiotics in the dairy industry—Advances and opportunities,” *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 20, no. 4, pp. 3937–3982, Jul. 2021, doi: 10.1111/1541-4337.12755.
- [37] J. C. Pohlentz, N. Gallala, K. Kosciow, and M. Hövels, “Growth behavior of probiotic microorganisms on levan- and inulin-based fructans,” *J. Funct. Foods*, vol. 99, p. 105343, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.jff.2022.105343.
- [38] M. Shoaib *et al.*, “Inulin: Properties, health benefits and food applications,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 147, pp. 444–454, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.carbpol.2016.04.020.
- [39] A. A. Atallah, E. A. Ismail, H. M. Yehia, M. F. Elkhadragy, A. S. Aloufi, and D. G. Gemiel, “Physicochemical, Microbiological and Microstructural Characteristics of Sucrose-Free Probiotic-Frozen Yogurt during Storage,” *Foods*, vol. 11, no. 8, p. 1099, Apr. 2022, doi: 10.3390/foods11081099.
- [40] INEN, *Resolución N° 150 - NTE INEN 2 395 sobre requisitos de las leches fermentadas*. 2011. Accessed: Nov. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC104808>
- [41] N. H. Museum, “Past 5 - the Past of the Future,” Natural History Museum. Accessed: Mar. 03, 2025. [Online]. Available: <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/>
- [42] A. Mituniewicz-Małek, M. Ziarno, I. Dmytrów, P. Tuma, A. Witzak, and S. Vovk, “Properties of drinking yogurt obtained from cow’s and goat’s organic milk fermented by traditional yogurt cultures,” *Infrastrukt. i Ekol. Teren. Wiej. - Infrastruct. Ecol. Rural Areas*, no. 4, pp. 1755–1771, 2017, doi: 10.14597/infraeco.2017.4.3.132.
- [43] H. Priyashantha *et al.*, “Composition and properties of bovine milk: A study from dairy farms in northern Sweden; Part II. Effect of monthly variation,” *J. Dairy Sci.*, vol. 104, pp. 8595–8609, 2021, doi: 10.3168/jds.2020-19651.
- [44] C. Uysal-Pala, Y. Karagul-Yuceer, A. Pala, and T. Savas, “Sensory properties of drinkable yogurt made from milk of different goat breeds,” *J. Sens. Stud.*, vol. 21, no. 5, pp. 520–533, 2006, doi: 10.1111/j.1745-459X.2006.00077.x.

- [45] Z. Albay, M. Çelebi, and B. Şimşek, “Physicochemical, rheological, and microbiological properties of honey-fortified probiotic drinkable yogurt,” *Foods Raw Mater.*, vol. 13, no. 2, pp. 320–329, 2025, doi: 10.21603/2308-4057-2025-2-641.
- [46] E. Hadjimbei, G. Botsaris, and S. Chrysostomou, “Beneficial effects of yoghurts and probiotic fermented milks and their functional food potential,” *Foods*, vol. 11, p. 2691, 2022, doi: 10.3390/foods11172691.
- [47] M. Khodear, A. Zayan, A. A. Tammam, and M. A. Mohran, “Influence of Adding Inulin as a Fat Replacer on the Characteristics of Yoghurt,” *J. Food Dairy Sci.*, vol. 9, no. 1, pp. 13–17, 2018, doi: 10.21608/jfds.2018.35150.
- [48] A. Kheto, Y. Bist, A. Awana, S. Kaur, Y. Kumar, and R. Sehrawat, “Utilization of inulin as a functional ingredient in food: Processing, physicochemical characteristics, food applications, and future research directions,” *Food Chem. Adv.*, vol. 3, p. 100443, 2023, doi: 10.1016/j.focha.2023.100443.
- [49] A. U. Illippangama, D. D. Jayasena, C. Jo, and D. C. Mudannayake, “Inulin as a functional ingredient and their applications in meat products,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 275, no. 1, p. 118706, 2022.
- [50] A. Zbikowska, I. Szymańska, and M. Kowalska, “Impact of inulin addition on properties of natural yogurt,” *Appl. Sci.*, vol. 10, p. 4317, 2020, doi: 10.3390/app10124317.
- [51] S. Uddin *et al.*, “Enhancing yogurt quality with inulin: a study on chemical, microbial, and sensory improvements,” *Vet. Med. J.*, vol. 26, pp. 10–20, 2025, doi: 10.35943/2682-2512.1253.
- [52] J. Muller, “¿Dumas o Kjeldahl para el análisis de referencia? Comparación y consideraciones para el análisis del nitrógeno/las proteínas de los alimentos y el pienso,” *Anal. beyond Meas.*, pp. 1–4, 2017.
- [53] P. R. Shewry, “Can we increase the use of wheat and other cereals as sources of protein? Journal,” *J. Cereal Sci.*, vol. 117, p. 103899, 2024.
- [54] Z. Slavíková, P. Diviš, W. Bialas, M. Montowska, M. Adamczyková, and J. Pořízka, “The study of relationship between taste and wheat bran protein isolate fortification during high-protein yogurt manufacturing,” *J. Agric. Food Res.*, vol. 16, p. 101185, 2024, doi: 10.1016/j.jafr.2024.101185.
- [55] Z. Zhou *et al.*, “Physicochemical properties of yoghurt supplemented with polymerized whey protein and inulin,” *Lwt*, vol. 210, p. 116888, 2024, doi: 10.1016/j.lwt.2024.116888.
- [56] F. M. Fay Vásquez and H. Zumbado Fernández, *Análisis proximal en alimentos. Fundamentos teóricos y técnicas experimentales*. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2019.

- [57] C. E. Jørgensen, R. K. Abrahamsen, E. O. Rukke, T. K. Hoffmann, A. G. Johansen, and S. B. Skeie, "Processing of high-protein yoghurt: A review," *Int. Dairy J.*, vol. 88, pp. 42–59, 2019, doi: 10.1016/j.idairyj.2018.08.002.
- [58] S. Martínez and J. Carballo, "Physicochemical, sensory, and nutritional properties of foods affected by processing and storage," *Foods*, vol. 13, p. 2970, 2024, doi: 10.3390/foods13010156.
- [59] M. J. Carvalho, T. Perez-Palacios, and J. Ruiz-Carrascal, "Physico-chemical and sensory characteristics of freeze-dried and air-dehydrated yogurt foam," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 80, pp. 328–334, 2017, doi: 10.1016/j.lwt.2017.02.039.
- [60] E. Marín, R. Lemus, V. Flores, and A. Vega, "La rehidratación de alimentos deshidratados," *Rev. Chil. Nutr.*, vol. 33, no. 3, pp. 527–538, 2006.
- [61] J. Jude, E. A. Adu, O. S. Kamaldeen, and I. E. Maiyanga, "Freeze drying - Application in food processing and storage: a review," *Badeggi J. Agric. Res. Environ.*, vol. 5, no. 2, pp. 21–35, 2023, doi: 10.35849/bjare202302/97/003.
- [62] G. D. J. Adams, I. Cook, and K. R. Ward, "The Principles of Freeze-Drying," in *Cryopreservation and Freeze-Drying Protocols, Methods in Molecular Biology*, no. vol. 1257, W. F. Wolters and H. Oldenhof, Eds., Nueva York: Springer Science+Business Media New, 2015, pp. 121–143. doi: 10.1007/978-1-4939-2193-5.
- [63] O. Goncalvez, N. Paz, E. Budde, A. Cravero, and A. Ramón, "Utilización de inulina en la formulación de yogur descremado de leche de cabra," *Diaeta*, vol. 30, no. 140, pp. 25–30, 2012.
- [64] A. Acevedo, "AInulina como sucedáneo de grasa en la elaboración de yogur. Una revisión," Universidad San Francisco de Quito, 2021.
- [65] M. M. Simanca, R. D. Andrade, and M. R. Arteaga, "Efecto del salvado de trigo en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del yogurt de leche de búfala," *Inf. Tecnol.*, vol. 24, no. 1, pp. 79–86, 2013, doi: 10.4067/S0718-07642013000100010.
- [66] K. Sumi *et al.*, "Nutritional value of yogurt as a protein source: Digestibility/absorbability and effects on skeletal muscle," *Nutrients*, vol. 15, p. 4366, 2023, doi: 10.3390/nu15204366.
- [67] S. Pannerchelvan *et al.*, "Functional yogurt: a comprehensive review of its nutritional composition and health benefits," *Food Funct.*, pp. 1–30, 2024, doi: 10.1039/d4fo03671a.
- [68] A. A. Kahar, S. A. Sharifudin, B. B. Kee, N. Aziz, and K. Long, "Effect of different freeze dried formulations on the viability of lactic acid bacteria in lactose-free yogurt production," *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 10, no. 17, pp. 164–171, 2016.
- [69] E. A. Ismail, A. A. Aly, and A. A. Atallah, "Quality and microstructure of freeze-dried

yoghurt fortified with additives as protective agents,” *Heliyon*, vol. 6, p. e05196, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05196.

- [70] U. Fadillah, A. Dirpan, and A. Syarifuddin, “Fat replacers in food system: A focus on ingredients, fabrication methods, and applications in food products,” *Futur. Foods*, vol. 10, no. October, p. 100490, 2024, doi: 10.1016/j.fufo.2024.100490.
- [71] A. K. F. I. Câmara, P. K. Okuro, R. L. da Cunha, A. M. Herrero, C. Ruiz-Capillas, and M. A. R. Pollonio, “Chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage as a new fat substitute in emulsified meat products: Technological, physicochemical, and rheological characterization,” *Lwt*, vol. 125, no. September 2019, p. 109193, 2020, doi: 10.1016/j.lwt.2020.109193.
- [72] J. Chutrtong, “Survival of Probiotic Bacteria in Freeze - Dry Yogurt Starter Cultures Storage at 4 and 30 Degree Celsius,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 191, pp. 2219–2225, 2015, doi: 10.1016/j.sbspro.2015.04.514.

- [73] B. Esmailnejad Moghadam, F. Keivaninahr, M. Fouladi, R. Rezaei Mokarram, and A. Nazemi, "Inulin addition to yoghurt: Prebiotic activity, health effects and sensory properties," *Int. J. Dairy Technol.*, vol. 72, no. 2, pp. 183–198, 2019, doi: 10.1111/1471-0307.12579.
- [74] M. Jimborean, D. Țibulcă, A. M. Rotar, C. Pop, and S. Socaci, "Studies on Functional Yogurt with Added Inulin as Prebiotic Fiber," *Bull. Univ. Agric. Sci. Vet. Med. Cluj-Napoca. Food Sci. Technol.*, vol. 72, no. 2, pp. 285–286, 2015, doi: 10.15835/buasvmcn-fst:11556.
- [75] J. I. X. Soh, M. Wilian, and S. W. Yan, "Inulin enhances nutritional, sensorial and technological characteristics of synbiotic yogurt drink," *Br. Food J.*, vol. 123, no. 7, pp. 2571–2581, 2021.



EDITORIAL
UNIÓN CIENTÍFICA

ISBN: 978-9942-7391-0-0



9 789942 739100