UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Desarrollo tecnológico de una harina de plátano adicionada con probióticos y prebióticos utilizando el secado por ventana de refractancia

Andrés Felipe Londoño Sierra

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos
Medellín, Colombia
2024

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Technologic development of an unripe plantain flour added with probiotics and prebiotics using refractance window drying

Andrés Felipe Londoño Sierra

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos
Medellín, Colombia
2024

Desarrollo tecnológico de una harina de plátano adicionada con probióticos y prebióticos utilizando el secado por ventana de refractancia

Andrés Felipe Londoño Sierra

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Directora:

Ph.D. Sneyder Rodríguez Barona

Codirector:

Ph.D. Misael Cortés Rodríguez

Línea de Investigación:

Desarrollo de alimentos funcionales usando bacterias ácido-lácticas

Grupo de Investigación:

Bacterias Ácido-Lácticas y sus Aplicaciones Biotecnológicas Industriales

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos

Medellín, Colombia

2024

Dedicatoria

A mi familia, por su inconmensurable apoyo y paciencia, y por creer en mí incluso más de lo que yo creí en mí mismo.

A les panas, que tomaron mi mano en la adversidad, que secaron mis lágrimas cuando no podía detenerlas, y que me sacaron más de una sonrisa cuando me hundía en la desesperación.

Al Andrés Felipe del 2021 que nunca creyó llegar tan lejos, que enfrentó la incertidumbre de una pandemia, limitaciones económicas y problemas emocionales, y, aun así, hizo todo lo que estuvo a su alcance para no rendirse.

Con mi cuerpo físico, mi energía espiritual y mi corazón, les amo.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia por ser el amparo de luz que iluminó mi vida académica, profesional, artística, política y cultural.

A los profesores del Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos de la sede Medellín y del Departamento de Ingeniería Química y de Física y Química de la sede Manizales, por compartir su experiencia y conocimientos, dándole norte a mi investigación.

A mis directores de tesis Sneyder Rodríguez Barona y Misael Cortés Rodríguez por su dirección, tiempo y dedicación, y por convencerme de seguir cuando estaba a punto de tirar la toalla.

A María Eugenia Duque por su compañía, palabras de aliento e indispensable apoyo en la etapa experimental de este trabajo en el Laboratorio de Control y Calidad de Alimentos.

A mis compañeros del semillero de investigación Diseño y Formulación de Alimentos, por acogerme como parte de los suyos y formar una hermosa comunidad, que va más allá de lo académico.

A Tecnoparque - SENA seccional Caldas por apoyar el desarrollo experimental de esta tesis, permitiéndome usar sus instalaciones, equipos y personal experto en el área de Biotecnología.

A la Universidad de Caldas y la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales por apoyar y financiar parte de esta investigación a través del proyecto “Evaluación de los cambios físicos, estructurales y funcionales ocurridos en el almidón durante la aplicación de tratamientos tecnológicos en el proceso de obtención de un alimento funcional probiótico a base de harina de plátano” en el marco de la Convocatoria Conjunta de Desarrollo Tecnológico e Innovación 2021.

Resumen

Desarrollo tecnológico de una harina de plátano adicionada con probióticos y prebióticos utilizando secado por ventana de refractancia

El plátano es un alimento primordial en países tropicales, produciendo un impacto sobre la seguridad alimentaria. La generación de valor en la agrocadena a partir de la aplicación de nuevas tecnologías o tecnologías mejoradas contribuye a mejorar su competitividad, al desarrollar ingredientes alimentarios con múltiples aplicaciones y alimentos con potencial funcional y ente ellos alimentos funcionales probióticos (AFP). Estos han ganado popularidad en los últimos años debido a sus beneficios sobre la salud, sobre todo en las esferas digestiva, cardiovascular, inmunitaria y mental de los consumidores. El vehículo tradicional de los alimentos probióticos han sido las matrices lácteas, sin embargo, la intolerancia a la lactosa, cada vez más frecuente, limita su consumo. Esto ha impulsado la exploración de matrices no lácteas para la producción de AFP.

La presente investigación fue desarrollada por los grupos de investigación en Bacterias Ácido Lácticas y sus Aplicaciones Biotecnológicas e Industriales (GIBALABI) y en Alimentos Funcionales (GAF), adscritos a la Universidad Nacional de Colombia, y en alianza con la Universidad de Caldas y Tecnoparque SENA seccional Caldas, en el marco del proyecto de investigación “Evaluación de los cambios físicos, estructurales y funcionales ocurridos en el almidón durante la aplicación de tratamientos tecnológicos en el proceso de obtención de un alimento funcional probiótico a base de harina de plátano”.

El objetivo de la presente investigación fue desarrollar una harina de plátano adicionada con prebióticos y probióticos, usando la tecnología de ventana de secado, una tecnología de secado no convencional, que busca conservar las características fisicoquímicas, tecno-funcionales, microbiológicas y funcionales de los alimentos. Para lograr este objetivo, se plantea la realización de una revisión de literatura acerca de las matrices no lácteas empleadas para producir AFP en el capítulo 1, seguido de una etapa experimental para desarrollar la harina de plátano adicionada con prebióticos y probióticos en el capítulo 2.

En el capítulo 1 se realizó una revisión bibliográfica reciente (últimos 10 años) acerca de las matrices alimenticias no lácteas que se han explorado para producir AFP. La revisión examina el estado del arte en términos de matrices no lácteas y su impacto sobre la viabilidad celular, además de abordar parámetros de selección y uso de probióticos en alimentos. También se mencionan aspectos generales acerca de los beneficios que otorgan los AFP sobre la salud y plantea perspectivas futuras que justifican la necesidad de seguir investigando en este campo del conocimiento, como es el caso del reciente descubrimiento de los paraprobióticos (probióticos no viables o sus fracciones y componentes celulares libres) y su efecto sobre las características fisiológicas mejoradas, constituyendo el inicio de la ruptura del paradigma de requerir garantizar alta viabilidad celular de los probióticos para la manifestación de beneficios fisiológicos en los consumidores. Estos hallazgos plantean nuevas perspectivas en el desarrollo de AFP en general, abriendo un campo de investigación poco explorado hasta el momento.

En el capítulo 2 se llevó a cabo la investigación experimental de producción de harina de plátano adicionada con prebióticos y probióticos, desarrollada en tres fases a escala laboratorio. En la primera fase, se evaluó la estabilidad fisicoquímica de tres suspensiones de plátano verde sin probióticos (SPSP) formuladas con distintas fracciones másicas de sólidos totales aportados por el plátano (X_{TS}) (0.18 – 0.24), y adicionada con encapsulantes (maltodextrina) (MD) (1,58 %p/p), prebiótico (inulina) (INU) (1,58 %p/p) y acidulante (ácido cítrico) (AC) (0,32 %p/p), utilizando un diseño unifactorial completamente aleatorizado, considerando las variables dependientes: humedad (X_w), sólidos totales (TS), sólidos solubles (SS), viscosidad (μ) y potencial Z (ζ). Los resultados de X_w, μ y ζ señalaron una mayor estabilidad fisicoquímica en las SPSP con X_{TS} = 0.24 en comparación con 0.18 y 0.21, obteniendo una suspensión con los siguientes atributos fisicoquímicos: X_w = 75,3 ± 0,8%, TS = 24,7± 0,82%, SS = 4.6± 0.0°Bx, μ = 844,7 ± 25,3 cP y ζ = -25,2 ± 0,8 mV. Sin embargo, el ANOVA no mostró diferencias significativas ($p<0.05$) de ninguna variable dependiente con respecto a X_{TS}, mientras que la prueba de Diferencia Mínima Significativa (LSD) mostró diferencias significativas ($p<0.05$) entre los valores de X_w y TS obtenidos a una X_{TS} de 0.21 y 0.24. Esto indicó que las tres formulaciones se comportaron estadísticamente como un solo grupo homogéneo, por lo que X_{TS} fue considerada como variable independiente en el diseño experimental del proceso de secado de la fase 2;

En la segunda fase se desarrolló una harina de plátano adicionada con prebióticos y probióticos, utilizando la tecnología de secado por ventana de refractancia (RWD). Se evaluó el proceso de RWD de las SPSP, utilizando la metodología de superficie de respuesta con un diseño experimental central compuesto cara centrada (α=1) (20 experimentos), considerando las variables independientes: fracción másica de sólidos totales aportados por el plátano (X_{TS}) (0.18 – 0.24), temperatura del agua de calentamiento (T) (50 – 70°C) y tiempo de secado (t) (2 – 3 h), y las variables dependientes: humedad (X_w), actividad de agua (a_w), solubilidad (S), higroscopicidad (Hy), humectabilidad (*We*), tamaño de partícula ($D_{[3,2]}$) y ángulo de reposo (α). El ANOVA demostró diferencias significativas ($p<0.05$) de la Xw, a_w y Hy con respecto a X_{TS}, T y t y a sus interacciones lineales, ya que altas T favorece la difusión del agua en el producto y, al mismo tiempo, bajos t produce una menor fuerza motriz a la transferencia de calor que deriva en la evaporación efectiva del agua, mientras la monocapa del producto queda saturada por falta de afinidad del almidón y otros carbohidratos de plátano hacia el agua, evitando beneficiar su capacidad de adsorción. Las condiciones óptimas de proceso de RWD fueron X_{TS}=0.24, T=68°C, t=2 h, con las que se obtiene una harina de plátano sin probióticos (HPSP) con los siguientes atributos de calidad: Xw = 5,1%, a_w = 0,163, S = 17,4%, Hy = 14,5%, *We* = 38,0 s, $D_{[3,2]}$ = 79,3 μm, α = 14,9°. Una vez obtenida la formulación con mejores características tecno-funcionales y las condiciones óptimas de proceso, se incorporó la biomasa probiótica (*Bacillus coagulans* ATCC 7050) al 2, 4, 6 y 8%p/p a la SPSP. La suspensión de plátano verde con probióticos (SPCP) fue secada a las condiciones óptimas del proceso de RWD para producir una harina de plátano verde con probióticos (HPCP) con una concentración celular probiótica (N) de 10,4 ± 0,6 Log UFC/g, y viabilidad celular máximas del 91,12% con un 8%p/p de biomasa adicionada; el mayor rendimiento de encapsulación (RE) (16.97%) fue obtenido al agregar un 2% p/p de biomasa a la HPSP;

En la tercera fase se evaluó el almacenamiento de la HPCP obtenida con la mayor viabilidad, utilizando un diseño factorial completamente aleatorizado en función de las variables independientes: t (0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses) y temperatura de almacenamiento (T) (15, 25 y 35 °C), y de las variables dependientes: Xw, a_w, S, Hy, *We*, α y N. La optimización del secado por ventana de refractancia de SPCP garantizó la conservación de los atributos fisicoquímicos, tecno-funcionales y funcionales probióticos de la HPCP durante todo el almacenamiento, mostrando las siguientes características a los 6 meses: Xw = 7,2 ± 0,08%, a_w = 0,331 ± 0,002, S = 16,2 ± 0,91%, Hy = 5,91 ± 0,03, *We* = 100,35 ± 6,64 s y α = 16,02 ± 1,67°. N solo pudo ser evaluada hasta el quinto mes de almacenamiento, en el que arrojó un valor de 8.02 ± 0,73 Log UFC/g a 15°C. Este estudio representa

una herramienta científica para el desarrollo de una harina de plátano fortificada con prebióticos y probióticos, en el que se incursionó en una metodología no convencional de procesamiento, se describió el efecto de las interacciones de los componentes del sistema y su relación con las características del polvo y se estimó la vida útil de la harina.

Como conclusión general, la aplicación del secado por ventana de refractancia para la producción de una harina de plátano fortificada con prebióticos y probióticos generó un producto fisicoquímicamente estable en el tiempo, y logró desarrollar propiedades tecno-funcionales que le confieren versatilidad como insumo para diversos sectores de la industria agroalimentaria.

Palabras clave: *Musa paradisiaca* L., secado por ventana de refractancia, *Bacillus coagulans*, alimentos funcionales probióticos, almacenamiento de producto en polvo.

Abstract

Technologic development of green banana flour added with probiotics and prebiotics using refractance window drying*

Plantains are a dietary mainstay in tropical countries, exerting a profound influence on food security. The generation of value in the agri-chain from the application of new or improved technologies contributes to an improvement in competitiveness by developing food ingredients with multiple applications and foods with functional potential, including probiotic functional foods (PFA). Such products have gained popularity in recent years due to their purported health benefits, particularly in digestive, cardiovascular, immune, and mental health. The conventional medium for probiotic foods has been dairy matrices. However, the rising prevalence of lactose intolerance has constrained their consumption. This has prompted the exploration of non-dairy matrices to produce probiotic foods.

This research was conducted by the research groups in “Bacterias Ácido Lácticas y sus Aplicaciones Biotecnológicas e Industriales” (GIBALABI) and in “Alimentos Funcionales” (GAF), which are attached to the Universidad Nacional de Colombia, and in collaboration with the University de Caldas. As part of the research project "Evaluation of the physical, structural, and functional changes occurring in starch during the application of technological treatments in the production of a probiotic functional food based on banana flour," the Tecnoparque SENA Caldas section has conducted an analysis.

The objective of this research was to develop a plantain flour fortified with prebiotics and probiotics, using the refractance window drying technology, a non-conventional drying technology, seeking to preserve the physicochemical, techno-functional, microbiological, and functional characteristics of foods. To achieve the proposed objective, a comprehensive literature review of non-dairy matrices utilized in the production of PFA will be conducted in Chapter 1. This will be followed by an experimental stage in Chapter 2, during which banana flour will be developed with the addition of prebiotics and probiotics.

In Chapter 1, a comprehensive literature review was conducted on the recent (within the past ten years) exploration of non-dairy food matrices to produce PFA. The review examines the current state of the art in terms of non-dairy matrices and their impact on cell viability, as well as addressing the parameters of selection and use of probiotics in foods. Furthermore, the text mentions general aspects of the health benefits of PFAs and raises future perspectives that justify the need for further research in this field of knowledge. For example, the recent discovery of paraprobiotics (non-viable probiotics or their fractions and free cellular components) and their effect on improved physiological characteristics represents a significant departure from the traditional paradigm of requiring high cell viability of probiotics for the manifestation of physiological benefits in consumers. These findings introduce new avenues for the development of PFAs in general and provide a foundation for further research in this relatively unexplored field.

In Chapter 2, the experimental research on producing banana flour with prebiotics and probiotics was carried out in three phases at a laboratory scale. In the initial phase, the physicochemical stability of three green plantain suspensions without probiotics (SPSP) formulated with varying mass fractions of total solids contributed by plantain (XTS) (0.18-0.24) and supplemented with an encapsulant (maltodextrin) (MD) (1.58% w/w), a prebiotic (inulin) (INU) (1.58 % w/w) and acidulant (citric acid) (AC) (0.32 % w/w). The experiment was conducted using a completely randomized one-factorial design. The dependent variables were moisture (Xw), total solids (TS), soluble solids (SS), viscosity (μ), and Z potential (ζ). The results of Xw, TS, and ζ measurements indicated a higher degree of physicochemical stability in the SPSPs with X_{TS} = 0.24 compared to those with 0.18 and 0.21. The resulting suspensions exhibited the following physicochemical attributes: Xw = 75.3 ± 0.8%, TS = 24.7 ± 0.82%, SS = 4.6 ± 0.0°Bx, μ = 844.7 ± 25.3 cP and ζ = -25.2 ± 0.8 mV. Nevertheless, the ANOVA results indicated no statistically significant differences ($p < 0.05$) in any of the dependent variables concerning X_{TS}. Conversely, the LSD test revealed that there were statistically significant differences ($p < 0.05$) between the Xw and TS values obtained at an X_{TS} of 0.21 and 0.24. This indicated that the three formulations behaved statistically as a single homogeneous group. Consequently, X_{TS} was considered an independent variable in the experimental design of the Phase 2 drying process.

In the second phase of the study, an unripe plantain flour fortified with prebiotics and probiotics was developed using refractance window drying (RWD) technology. The suitability of the RWD process to produce SPSPs was evaluated using response surface methodology with a face-centered (α=1) central composite experimental design (20 experiments), considering the independent variables: mass fraction of total solids contributed by banana (X_{TS}) (0. 18 - 0.24), water temperature (T) (50 - 70°C) and time (t) (2 - 3 h), and the dependent variables: moisture (Xw), water activity (a_w), solubility (S), hygroscopicity (Hy), wettability (*We*), particle size ($D_{[3,2]}$) and angle of repose (α). The ANOVA demonstrated statistically significant differences ($p<0.05$) in Xw, a_w, and Hy concerning X_{TS}, T, and t, as well as their linear interactions. High T facilitates the diffusion of water in the product, while simultaneously, low t results in a reduced driving force for heat transfer, leading to the effective evaporation of water. However, the monolayer of the product remains saturated due to the lack of affinity of starch and other plantain carbohydrates for water, which hinders the adsorption capacity. The optimal RWD process conditions were X_{TS}=0.24, T=68°C, t=2 h, resulting in the production of a plantain flour without probiotics (HPSP) with the following quality attributes: Xw = 5,1%, a_w = 0,163, S = 17,4%, Hy = 14,5%, *We* = 38,0 s, $D_{[3,2]}$ = 79,3 μm, α = 14,9°. Once the formulation with the optimal techno-functional characteristics and process conditions had been established, the probiotic biomass (*Bacillus coagulans* ATCC 7050) was incorporated at 2, 4, 6, and 8% w/w into the SPSP. The green plantain suspension with probiotics (SPCP) was subjected to an RWD process to produce a green plantain flour with probiotics (HPCP) with a probiotic cell concentration (N) of 10.4 ± 0.6 Log CFU/g and a maximum cell viability of 91.12% with 8% w/w of biomass added. The highest encapsulation yield (RE) (16.97%) was obtained by adding 2% w/w of biomass to the HPSP;

In the third phase, the storage of HPCP obtained with the highest viability was evaluated using a completely randomized factorial design as a function of the independent variables, namely t (0, 1, 2, 2, 3, 4, 5, and 6 months) and storage temperature (T) (15, 25 and 35 °C), and the dependent variables: Xw, aw, S, Hy, We, α and N. The optimization of SPCP refractance window drying ensured the preservation of the probiotic's physicochemical, techno-functional, and functional attributes throughout the storage period. At six months, the following characteristics were observed: Xw = 7,2 ± 0,08%, a_w = 0,331 ± 0,002, S = 16,2 ± 0,91%, Hy = 5,91 ± 0,03, *We* = 100,35 ± 6,64 s y α = 16,02 ± 1,67°. The evaluation of N was only possible until the fifth month of storage, at which point it yielded a value of 8.02 ± 0.73 Log CFU/g at 15°C. This study represents a scientific tool for the development of a banana flour fortified with prebiotics and probiotics, in which a non-conventional processing methodology was ventured, the effect of the interactions of the system

components and their relationship with the characteristics of the powder was described, and the shelf life of the flour was estimated.

As a general conclusion, the application of refractory window drying to produce a banana flour fortified with prebiotics and probiotics generated a product that is physicochemically stable over time and managed to develop techno-functional properties that confer versatility as an input for various sectors of the agri-food industry.

Keywords: *Musa paradisiaca* L., Refractance Window Drying, *Bacillus coagulans*, functional probiotic foods, storage of powdered products.

Tabla de contenido

Pág.

Resumen ..... **VII**

Abstract ..... **X**

Lista de figuras ..... **XV**

Lista de tablas **16**

Lista de abreviaturas **17**

Interés de la investigación **20**

Introducción **23**
Plátano 23
Origen, descripción botánica y clasificación 23
Composición química y nutricional 25
Cadena agroalimentaria del plátano en Colombia 27
Contexto económico del plátano 30
Agroindustria del plátano 31
Alimentos funcionales 32
Probióticos 33
Prebióticos 35
Secado por ventana de refractancia 36

Bibliografía de la introducción **38**

Objetivos **69**

Capítulo 1 Matrices no lácteas para la producción de alimentos funcionales probióticos: una revisión **70**
Resumen 70
Introducción 70
Materiales y métodos 72
Matrices no lácteas para producir alimentos funcionales probióticos 73
Frutas y vegetales 74
Cereales 75
Legumbres 79
Productos cárnicos 80
Selección y uso de cultivos probióticos en alimentos 80
Perspectivas futuras y conclusiones 82
Referencias 82

Capítulo 2 Desarrollo de una harina de plátano fortificada con prebióticos y probióticos utilizando secado por ventana de refractancia 95
Resumen 95
Introducción 96
Materiales y métodos 98
Materias primas 98
Obtención de biomasa probiótica 98
Preparación de suspensiones de plátano verde 98
Caracterización fisicoquímica de suspensiones 98
Proceso de ventana de refractancia y molienda 99
Análisis estadístico, optimización y modelamiento matemático del RWD 99
Caracterización de las harinas 100
Almacenamiento 100
Resultados y análisis 101
Caracterización fisicoquímica de suspensiones 101
Secado por ventana de refractancia 102
Optimización del secado por ventana de refractancia 109
Harina de plátano adicionada con probióticos 110
Almacenamiento 112
Conclusiones 116
Referencias 117

Capítulo 3 Conclusiones generales 149

Capítulo 4 ANEXOS 150
Anexo 1. Prueba Tukey para la comparación múltiple en el estudio de almacenamiento 150

Lista de figuras

Pág.

Figura A. Anatomía del plátano. 24
Figura B. Principales zonas de producción de plátano en Colombia. 28
Figura C. Principales productores de plátano del mundo. 30
Figura D. Exportaciones e importaciones de plátano en Colombia de los últimos años. 30
Figura E. Comercio internacional del plátano para el 2019. Principales **(a)** exportadores e **(b)** importadores de plátano en el mundo. 31
Figura 1.1. Esquema metodológico para la búsqueda sistemática de información. 73
Figura 2.1. *Gráficos de superficie y volumen de respuesta de Xw y aw de la HPSP.* 104
Figura 2.2. *Volumen de respuesta de S de la HPSP.* 105
Figura 2.3. *Gráficos de superficie y volumen de respuesta de Hy de la HPSP.* 106
Figura 2.4. *Gráficos de volumen y superficie de respuesta de We de la HPSP.* 107
Figura 2.5. *Volumen de respuesta de* $D_{[3,2]}$ *de la HPSP.* 108
Figura 2.6. *Volumen de respuesta de α de la HP obtenida por RWD.* 109
Figura 2.7. *Comportamiento de las variables de la HPCP en el almacenamiento.* 113

Lista de tablas

Pág.

Tabla 0.1. Clasificación taxonómica del plátano. 24
Tabla 1.2. Clasificación de los plátanos según la Norma Técnica Colombiana 1190 de 1976. 25
Tabla 1.3. Composición nutricional de diferentes variedades de plátano verde cultivadas en Colombia por cada 100 g de pulpa fresca. 26
Tabla 1.4. Evolución del precio del plátano en Colombia. 28
Tabla 1.5. Empleos generados por el subsector platanicultor en Colombia. 29
Tabla 1.1. *Selección de estudios que evalúan la supervivencia de microorganismos probióticos incorporados en matrices a base de frutas y vegetales.* 76
Tabla 1.2. *Cereales y legumbres empleadas para producir alimentos funcionales probióticos.* 77
Tabla 1.3. Requerimientos para la selección y uso de microorganismos como probióticos. 81
Tabla 2.1. *Caracterización de suspensiones de plátano verde.* 101
Tabla 2.2. *Resultados de las variables dependientes de la HPSP según diseño experimental.* 103
Tabla 2.3. *Valores p del ANOVA para las variables dependientes de la HPSP.* 103
Tabla 2.4. *Coeficientes de regresión del modelo matemático de las variables dependientes de HPSP.* 109
Tabla 2.5. *Optimización experimental de múltiples respuestas para la HPSP.* 110
Tabla 2.6. *Comportamiento microbiológico de B. coagulans ATCC 7050 incorporado en HPCP.* 111
Tabla 2.7. *Valores p del ANOVA para las variables dependientes del estudio de almacenamiento de la HPCP.* 114
Tabla 4.1. *Resultados de la prueba Tukey para la comparación múltiple de las diferencias significativas de los resultados del estudio de almacenamiento.* 150

Lista de abreviaturas

Abrev.	Definición	Abrev.	Definición
A		**M**	
AC	Ácido cítrico	MD	Maltodextrina
AF	Alimentos funcionales	Mg	Magnesio
AFP	Alimentos funcionales probióticos	MRS	Medio de cultivo selectivo para el crecimiento de bacterias ácido-lácticas, formulado por Man, Rogosa y Sharpe en 1962
ANOVA	Análisis de varianza	**N**	
AR	Almidón resistente	N	Concentración celular viable
ATCC	American Type Culture Collection	Na	Sodio
aw	Actividad de agua	ns	No significativo
B		NTC	Norma Técnica Colombiana
B0	Coeficientes de regresión del modelo polinómico de segundo grado con el que se realiza la optimización multiobjetivo	**O**	
Bi		O2	Oxígeno
Bii		OH	Hidroxilo
Bij		OMS	Organización Mundial de la Salud
BPA	Buenas Prácticas Agropecuarias	**P**	
C		P	Fósforo
Ca	Calcio	p	Probabilidad de que un valor estadístico calculado sea posible dada una hipótesis nula cierta
CBA	Compuestos bioactivos	pH	Potencial de hidrógeno
CD	Secado convectivo (Convective drying)	PP	Paraprobiótico
D		**R**	
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística	R2	Coeficiente de determinación o correlación
D[3;2]	Diámetro equiv	RE	Rendimiento de encapsulación
d.c.	Después de Cristo	RWD	Secado por ventana de refractancia (Refractance Window Drying)
E		**S**	
EMR	Error medio relativo	S	Solubilidad
F		SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization of the United Nations)	SIPOL	Sistema de Información Policial del Cuerpo de Investigaciones Científicas, Penales y Criminalísticas
Fe	Hierro	SPCP	Suspensión soloidal de plátano verde con probióticos
FUFOSE	Functional Food Science in Europa	SPSP	Suspensión soloidal de plátano verde sin probióticos
G		**T**	
GAF	Grupo de investigación en Alimentos Funcionales	T	Temperatura

GIBALABI	Grupo de investigación en Bacterias Ácido Lácticas y sus Aplicaciones Biotecnológicas e Industriales	t	tiempo
GRAS	Generally Recognized As Safe	TGI	Tracto grastointestinal
H		TS	Sólidos totales
HP	Harina de plátano	**U**	
HPCP	Harina de plátano verde con probióticos	UV	Ultravioleta
HPSP	Harina de plátano verde sin probióticos	**W**	
Hy	Higroscopicidad	WAI	Índice de absorción de agua (Water Absorption Index)
I		We	Humectabilidad
I	Yodo	**X**	
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario	X	Fracción másica
ICBF	Instituto Colombiano de Bienestar Familiar	Xi	Efecto lineal de la variable independiente i
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación	Xij	Efecto interactivo entre dos variables independientes
IMC	Índice de Masa Corporal	Xi2	Efecto cuadrático de una variable independiente
INU	Inulina	Xj	Efecto lineal de la variable independiente j
K		Xw	Humedad
K	Potasio	**Y**	
L		Y	Variable dependiente modelada
LSD	Diferencia Mínima Significativa	**Z**	
		Z	Zinc
LETRAS GRIEGAS		**SUBÍNDICES**	
Símbolo	**Definición**	**Subíndices**	**Definición**
α	Ángulo de reposo	TS	Sólidos totales aportados por el plátano verde
μ	Viscosidad	W	Agua (water)
ς	Potencial Z		
UNIDADES			
Símbolo	**Definición**	**Símbolo**	**Definición**
°	Grados	LOG UFC/g	Logaritmo en base 10 de las unidades formadoras de colonia por gramo
°Bx	Grados brix	m	Metro
°C	Grados centrígrados	m^2	Metro cuadrado
%	Porcentaje	mg	Miligramo
%p/p	Porcentaje peso/peso	min	Minuto
atm	Atmósfera	mL	Mililitro
cm^3	Centrímetro cúbico	mV	Milivoltio
cP	Centipoise	RE	Equivalente de retinol
g	Gramo	rpm	Revoluciones por minuto
h	Hora	s	Segundos
ha	Hectárea	ton	Tonelada
J	Joules	UI	Unidades Internacionales
Kcal	Kilocaloría	µg	Microgramo

KJ	Kilojoules	µm	Micrómetro

Interés de la investigación

En el último siglo, los alimentos funcionales han adquirido especial interés gracias al descubrimiento de que estos pueden impactar positivamente la salud humana y animal. Así lo han demostrado numerosos estudios clínicos controlados, obteniendo prometedores resultados en el tratamiento de enfermedades crónicas como la diabetes tipo 2 (Alberti et al., 2007), hipertensión (Khalesi et al., 2014), el reflujo gastroesofágico asociado a malestar gastrointestinal (Malfa et al., 2021a), dermatitis atópica severa en niños (Michail et al., 2008), colitis ulcerosa (Ohkawara et al., 2005), estreñimiento crónico y funcional (Chmielewska & Szajewska, 2010; Lamiki et al., 2010), síndrome de colon irritable (Urgesi et al., 2014), diarrea aguda asociada a infección viral (Guandalini, 2011), a antibióticos y a malnutrición (Goldenberg et al., 2015). También, varios autores han recomendado el consumo de alimentos funcionales probióticos como estrategia terapéutica y de prevención contra tres tipos de cáncer intestinal (Bell et al., 2022; Cordeiro et al., 2021; Grom et al., 2020; Hou et al., 2022; Savassi et al., 2021; Stelmasiewicz et al., 2021), dada la capacidad que posee la microbiota intestinal de modular la respuesta inmune del organismo a través de la producción de metabolitos que juegan un papel clave en la defensa contra agentes patológicos, no solo en la mucosa intestinal, sino también a nivel sistémico. Esto abre un campo de estudio completo para la evaluación del uso de los probióticos en el manejo preventivo y terapéutico de enfermedades inflamatorias, infecciones del tracto urinario de mujeres en edad fértil (Romeo et al., 2010) e incluso algunos desórdenes mentales (Long-Smith et al., 2020; Sarkar et al., 2016): estrés crónico (Bharwani et al., 2016; Golubeva et al., 2015), trastorno depresivo mayor (Aizawa et al., 2016; J. R. Kelly et al., 2016; Naseribafrouei et al., 2014), Parkinson (Sampson et al., 2016), Alzheimer (Manderino et al., 2017), síndrome del espectro autista (Liu et al., 2019; Mangiola, 2016), ansiedad (Colica et al., 2017) y depresión postparto (Slykerman et al., 2017).

Tradicionalmente, el éxito de la terapia probiótica se manifiesta en la normalización de la permeabilidad intestinal, la mejora de la respuesta inflamatoria intestinal y del metabolismo de carbohidratos (George Kerry et al., 2018b; Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2015; Rowland et al., 2018), la síntesis de micronutrientes esenciales como vitaminas, aminoácidos y enzimas, la mejora de la biodisponibilidad de nutrientes y compuestos bioactivos en la dieta (Pandey et al., 2015), la modulación de la microbiota intestinal (Lopetuso et al., 2019; Schepper et al., 2017) y la estimulación del sistema inmune (Kober & Bowe, 2015). Sin embargo, sus ventajas están condicionadas a su consumo regular, a pesar de que se encuentre bien documentada la capacidad de varias especies de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* de colonizar el intestino humano por largos periodos de tiempo (Xiao et al., 2020), incluyendo las estrategias dietéticas específicas (como la ingestión de altos niveles de triptófano, galacto-oligosacáridos y polisacáridos resistentes a la digestión) para lograr colonizaciones sinérgicas eficaces (Krumbeck et al., 2015; Rattanaprasert et al., 2014; Wu et al., 2017; Zelante et al., 2013), contrastando con la creencia de que la mayoría de probióticos ejercen sus efectos de modo local y temporal (Chugh & Kamal-Eldin, 2020; Ouwehand et al., 2002). Como consecuencia, se requiere garantizar la supervivencia de los probióticos a los procesos tecnológicos y fisiológicos (acidez gástrica y biliar) en términos de estabilidad microbiológica (Quigley, 2010), en una cantidad lo suficientemente grande como para ejercer sus beneficios en el intestino grueso. Esto implica la exploración de ingredientes y matrices no

convencionales, y de tecnologías de procesamiento que le otorgue, a parte de una buena estabilidad fisicoquímica y microbiológica, características tecno-funcionales y sensoriales deseadas a los productos probióticos diseñados.

Diferentes estrategias tecnológicas han sido evaluadas en los últimos años para preservar la viabilidad celular de los probióticos. La microencapsulación ha resultado ser de las más atractivas, pues emplea un material pared que protege al microorganismo de entornos ácidos y enzimáticos, y de altas temperaturas (Salazar et al., 2015). A partir de este principio, varios estudios han empleado fibras prebióticas para la encapsulación de probióticos, demostrando un aumento significativo en la viabilidad celular al ser empleados junto a agentes encapsulantes, para la producción de microcápsulas probióticas (Ormaza-Zapata et al., 2019; Rodríguez-Barona et al., 2012, 2016). La mayor ventaja que resulta de este planteamiento es que el microorganismo tiene la capacidad de utilizar al agente prebiótico que lo protege como sustrato, incluso luego de que la fibra sea parcialmente hidrolizada por el ácido gástrico y biliar. De hecho, la microbiota intestinal fermenta la fibra prebiótica que llega al intestino grueso para formar biopelículas alrededor del epitelio y producir sustancias antimicrobianas y metabolitos con actividad funcional e inmunoreguladora, influyendo en la absorción de minerales y otros micronutrientes, además de generar un ambiente ácido que modula la población microbiana en el intestino (Lopetuso et al., 2019; Pandey et al., 2015). De acuerdo con esto, la interacción probiótico – prebiótico genera un doble beneficio para el consumidor. A estos productos se les conoce como simbióticos (Rashidinejad et al., 2020), y se ha convertido en un enfoque estratégico en la industria alimentaria (Cadena et al., 2014). Basado en impulsar el aumento en la supervivencia de microorganismos probióticos gracias a la capacidad protectora de los prebióticos, la microencapsulación asegura que mayores poblaciones probióticas alcancen el intestino grueso y prolonga su tiempo de residencia en ese medio.

En este contexto, el almidón resistente (AR) ha emergido como un prebiótico de interés. Como escapa a la digestión en el intestino delgado y llega al colon intacto, sirve como sustrato selectivo para el crecimiento de probióticos (Villarroel et al., 2018). Al ser fermentado por la microbiota intestinal, el almidón resistente genera productos metabólicos como ácidos grasos de cadena corta, para producir un entorno propicio para la proliferación de probióticos (Le Leu et al., 2010). Este enfoque innovador busca aprovechar sinergias entre el almidón resistente y las cepas probióticas, ofreciendo así productos simbióticos que pueden potenciar tanto la salud digestiva como el equilibrio del microbioma intestinal.

Después de la celulosa, el almidón es el carbohidrato más abundante de la naturaleza susceptible de ser aprovechado comercialmente (Badui, 2006; García-Tejeda et al., 2011; Rodríguez-Barona et al., 2016), pues tiene la capacidad de modificar la textura y consistencia de los alimentos (Bello et al., 2002; Cabrera et al., 2007). Por otro lado, algunos estudios en humanos demuestran los efectos positivos del AR en la salud tal como la modulación de la microbiota, la mejora de la sensibilidad a la insulina, la regulación de la glicemia y el control del metabolismo lipídico (Nguyen et al., 2007). Estos descubrimientos impulsan a la comunidad científica e industrial a generar nuevos desarrollos de alimentos enriquecidos con AR como estrategia terapéutica para la prevención y control de enfermedades no transmisibles (Bell et al., 2022), representando una alternativa de masificación de

los beneficios de este ingrediente funcional, más aún si éste otorga propiedades tecnológicas al alimento.

El almidón resistente es abundante en frutas y hortalizas. Particularmente, las musáceas en estado crudo son ricas en este almidón, destacándose el plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) con un promedio de 2.8 % en base seca para la variedad Dominico hartón (Montoya, 2020). Este cultivo es uno de los más importantes para la seguridad alimentaria en Colombia, pues es el cultivo frutal más sembrado en el país y hace parte de la canasta familiar colombiana (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

Más del 85% de los secadores empleados para estabilizar alimentos emplean aire caliente o gases de combustión como medios para la transferencia de calor (Zarein et al., 2015), lo que a menudo resulta en niveles significativos de cambios en la calidad del producto. Aunque estas tecnologías tienen la capacidad de procesar productos altamente estables, evidenciado en bajos niveles de humedad, también impactan negativamente en la preservación de los componentes termolábiles y volátiles de los alimentos que, en general, poseen efectos fisiológicos de gran interés comercial y para la salud. Como consecuencia, se ha buscado desarrollar alternativas tecnológicas que aseguren la conservación de las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y organolépticas de los productos y que, al mismo tiempo, sea una estrategia eficaz para estabilizarlos. Este tipo de desarrollos están orientados al análisis integral de la capacidad operativa, control del proceso, requisitos de tiempo, economía de costos, calidad del producto, seguridad operacional y mínimo impacto ambiental. El secado por ventana de refractancia (RWD), por ejemplo, ha cobrado gran relevancia como tecnología promisoria para la preservación de CBA (Yoha et al., 2020).

Se sugiere que en la RWD la incidencia térmica sobre el producto contribuye a la conservación eficaz de sus componentes y de sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas (Yoha et al., 2020). A diferencia de otras tecnologías de secado, el secado por RWD no requiere altas presiones operativas. Además, existe un alcance limitado para la oxidación y la formación de radicales libres, y los productos secos ofrecen una mejor vida útil (Mt. Capra, 2017). Por lo tanto, el bajo nivel de incidencia sobre los productos alimenticios resulta ser una característica potencialmente aprovechable en la microencapsulación de probióticos, buscando aumentar la preservación de la viabilidad de los microorganismos durante el procesamiento y consumo de productos funcionales probióticos (Aragón-Rojas et al., 2019).

Introducción

Plátano

Origen, descripción botánica y clasificación

El plátano es un fruto de la familia de las Musáceas, las cuales se dividen en las especies *Musa cavendishii* (bananos) y *Musa paradisiaca* (plátanos). La mayoría de los frutos comestibles conocidos de esta familia proceden de dos especies diploides, *Musa acuminata* y *Musa balbisiana* (P. Zhang et al., 2005). Su origen se localiza en las regiones tropicales del sudeste asiático, desde donde se propagó hacia el oeste. Los primeros registros de su introducción a Europa datan del siglo X d.C. Luego, los portugueses lo llevarían a América desde las plantaciones de África Occidental, donde fue ampliamente cultivado gracias a las óptimas condiciones climatológicas que ofrecía su zona tropical. A principios del siglo XX, el plátano se convierte en unos de los principales cultivos de América Central y del Sur, colocándose en renglones destacados de exportación en países tropicales. Su elevada demanda internacional, la abundante manufactura que se requiere para su producción y el destacado desarrollo de técnicas para su cultivo y comercialización, son algunos factores que han posicionado al plátano como el cuarto cultivo más importante del mundo, sólo por detrás del arroz, el trigo y el maíz (Montoya, 2020).

El plátano es una planta herbácea perenne gigante compuesta por una prolongación del rizoma denominada seudotallo o tallo falso. De este crecen hojas muy grandes que forman una corona y rodean al rizoma al marchitarse, aplicándose unas sobre otras, alcanzando entre 3,5 y 8 metros de altura. El rizoma genera brotes laterales llamados retoños, y la raíz es blanca y superficial, distribuida en una capa de 30 a 40 centímetros. El fruto es una baya oblonga, alargada y curvada, que se sostiene del pedúnculo de la inflorescencia que sobresale lateralmente del seudotallo; es polimórfico con 5 a 20 manos, cada una con 2 a 20 frutos, de color verde, amarillo verdoso, amarillo, amarillo rojizo o rojo (Figura A), y en la mayoría de las ocasiones son estériles gracias a genes específicos de esterilidad femenina, triploidía y cambios estructurales cromosómicos (Montoya, 2020; Dávila, 2010).

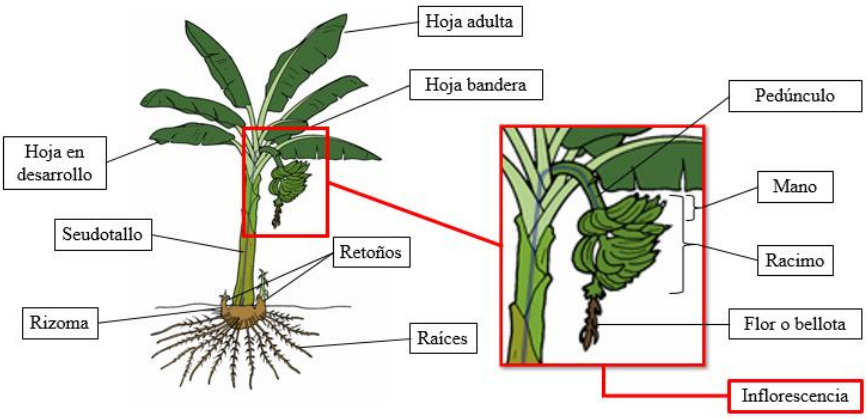


Figura A. Anatomía del plátano.

Fuente: Propia

La clasificación taxonómica del plátano se presenta en la Tabla A.

Tabla 0.1. Clasificación taxonómica del plátano.

Taxonomía	
Reino	*Plantae*
Subreino	*Franqueahionta*
División	*Espermatophyta*
Subdivisión	*Magnoliophyta*
Clase	*Liliatae*
Orden	*Zingiberales*
Familia	*Musaceae*
Género	*Musa sp.*

Fuente: Montoya, 2020

Según (P. Zhang et al., 2005), las contribuciones haploides de las respectivas especies a los cultivares se indican convencionalmente con las letras A y B. Los bananos (*Musa cavendishii*), bananitos (*Musa x paradisiaca*) y plátanos (*Musa paradisiaca*) se derivan de las especies *Musa acuminata* (genoma A), *Musa balbisiana* (genoma B) y sus cruces intra e interespecíficos. El género *Musa* se divide en cuatro secciones: Australimusa (proveniente del sureste de Indonesia y del sur de Filipinas), Callimusa (originario del sur de Vietnam, Malasia peninsular, Borneo y Sumatra), Rhodochlamys (sudeste asiático) y Eumusa (cubre toda el área de diversidad primaria, excepto Melanesia del este); esta última comprende las especies *M. acuminata* y *M. balbisiana* (Gutierrez, 2017). Los frutos comestibles derivados de ambas especies pueden ser diploides (AA, BB y AB), triploides (AAA, ABB, AAB) o tetraploides (AABB, AAAB, ABBB, AAAA). Las plantas poliploides de las musáceas suelen ser más resistentes, vigorosas, de mayor adaptación y productividad que las diploides. Ejemplo de ello son los bananos (*M. cavendishii*), que son el pilar del comercio internacional de este subgrupo, y son acuminata triploides puros (grupo AAA); *M. paradisiaca* y *M. sapientum* son miembros del grupo AAB (P. Zhang et al., 2005).

En Colombia, los frutos del género *Musa* son clasificados de acuerdo con su peso (Tabla B), y su designación se da por su nombre, variedad, tamaño y grado de calidad. Esta última hace referencia a su aspecto e integridad física, estado de maduración y forma de comercialización (mano, dedo o racimo) (Instituto Colombiano de Normas Técnicas [ICONTEC], 1976).

Tabla 1.2. Clasificación de los plátanos según la Norma Técnica Colombiana 1190 de 1976.

Variedades	**Peso (g)**		
	Pequeño (máximo)	**Mediano**	**Grande (mínimo)**
Hartón	249	250 a 349	350
Dominico - Hartón	199	200 a 299	300
Dominico	149	150 a 199	200
Cachaco	119	120 a 139	140
Banano	109	110 a 129	130
Comino o colicero	99	100 a 119	120
Pacífico	29	30 a 49	50
Bocadillo	19	20 a 39	40

Fuente: ICONTEC (1976)

Composición química y nutricional

Nutricionalmente, el plátano es una buena fuente de potasio. Este compuesto tiene la capacidad de disminuir la presión arterial y de reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares. También es rico en vitaminas A, B_6, C y D, que ayudan a restaurar tejidos y fortalecer el sistema óseo y muscular, según estudios recientes (Montoya, 2020). La información nutricional de siete de las ocho variedades de plátano definidas por la Norma Técnica Colombiana (ver Tabla B) se presenta en la Tabla C (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar [ICBF], 2018).

En estado primario de maduración, el principal constituyente del plátano después del agua es el almidón, con un 78% en base seca en promedio (Almanza-Benitez et al., 2015; Rayo et al., 2015; Tribess et al., 2009). A medida que avanza el proceso de maduración, el almidón se hidroliza y genera glucosa, fructosa y sacarosa (Agama-Acevedo et al., 2014). Los plátanos tipo AAB y ABB contienen más almidón y ácidos orgánicos que el banano (AAA) (Álvarez, 2014), tal como se evidencia en la Tabla 3. Con la creciente demanda de almidón, el plátano se presenta como una opción socioeconómica promisoria para la diversificación de fuentes alternativas, como tubérculos y raíces, para la obtención de almidón (Agama-Acevedo et al., 2014; Chandanasree et al., 2016).

El almidón de plátano presenta una alta resistencia enzimática y otras propiedades fisicoquímicas ligadas a su estructura molecular. Su temperatura de gelatinización y entalpía están relacionadas con la cadena ramificada que presenta la amilopectina (79°C y 13 J/g, respectivamente) a pesar de tener un alto porcentaje de amilosa (37%). Debido a estas características, este almidón nativo presenta resistencia al ataque enzimático de las amilasas y a la digestión *in vivo* e *in vitro* de la glucoamilasa,

con un 75-84% indigestible. Al aplicar tratamientos tecnológicos térmicos y de estrés mecánico, la resistencia del almidón puede verse afectada (Agama-Acevedo et al., 2014).

Tabla 1.3. Composición nutricional de diferentes variedades de plátano verde cultivadas en Colombia por cada 100 g de pulpa fresca.

Factor nutricional		**Variedad**						
		Hartón	**Dominico**	**Cachaco**	**Banano**	**Colicero**	**Pacífico**	**Bocadillo**
Análisis proximal	**Humedad (g)**	58,5	58,4	68,9	75,3	67,4	71,2	69,1
	Proteína (g)	1,2	1,2	1,0	1,5	1,3	1,1	1,2
	Lípidos (g)	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
	Carbohidratos totales (g)	39,3	39,4	29,0	22,3	30,3	26,4	28,9
	Carbohidratos disponibles (g)	38,1	38,3	28,5	19,6	29,9	-	26,9
	Fibra dietaria (g)	1,2	1,1	0,5	2,6	0,4	-	2,0
	Cenizas (g)	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	1,1	0,7
	Energía (kJ)*	166	166	123	101	128	122	125
	Energía (kcal)*	705	703	521	430	544	475	531
Minerales	**Calcio (mg)**	8,0	8,0	6,0	8,0	4,0	6,0	5,0
	Hierro (mg)	0,4	0,9	0,4	0,9	0,7	0,4	0,4
	Sodio (mg)	26	10	-	3	-	-	-
	Fósforo (mg)	20	31	40	27	38	22	26
	Yodo (mg)	-	0,8	-	2,0	-	-	-
	Zinc (mg)	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	-	0,3
	Magnesio (mg)	-	-	-	29	-	-	28
	Potasio (mg)	627	-	-	328	-	-	355
Vitaminas	**Tiamina, B_1 (mg)**	0,06	0,07	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04
	Riboflavina, B_2 (mg)	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04
	Niacina, B_3 (mg)	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5
	Folatos, B_9 (µg)	-	-	-	21	-	-	-
	Vitamina B_{12} (mg)	0	0	0	0	0	0	0
	Vitamina C (mg)	20	20	20	19	15	15	10
	Vitamina A (RE)	106	100	130	22	16	90	20
Parte comestible (%)		68	60	60	70	60	65	80

* Expresado en cantidad de energía por gramo de parte comestible del fruto

RE: Equivalente de retinol (µg) = µg retinol + 1/6 µg β-caroteno + 1/12 µg otros carotenoides de provitamina A; 1 RE = 3,33 UI derivadas de retinol = 10 UI derivadas de β-caroteno; UI: Unidades internacionales

Fuente: ICBF (2018).

El almidón debe estar completamente despolimerizado a glucosa antes de que pueda ser absorbido en el intestino delgado. Este proceso es ejecutado por varias enzimas digestivas que rompen los enlaces glucosídicos α-(1-4) y α-(1-6) de la amilosa y la amilopectina. Inicialmente, las enzimas α-amilasas rompen los enlaces glucosídicos α-(1-4) liberando glucosa, maltosa y dextrinas mayores a

partir de las terminaciones de azúcares no reductores. Posteriormente, estos oligosacáridos son degradados a monosacáridos por otras enzimas como los complejos enzimáticos sucrasa-isomaltasa y maltasa-glucoamilasa que atacan además los enlaces glucosídicos α-(1-6) (Gray, 1992).

No todo el almidón que se ingiere es degradado a glucosa y absorbido en el intestino delgado, sino que hay fracciones de almidón que escapan a la digestión para ser posteriormente fermentadas en el intestino grueso por la microbiota intestinal. Esta fracción se denomina almidón resistente (AR) (Englyst et al., 1992), y puede encontrarse de manera natural en granos de cereales, semillas, legumbres y tubérculos. Desde el punto vista fisiológico, el almidón resistente es capaz de modular la cinética de digestibilidad de los nutrientes, lo que posibilita su incorporación en el diseño de productos con menor índice glicémico y menor poder energético. La modulación del metabolismo de la glucosa y los lípidos, así como las posibles asociaciones de la microbiota intestinal con la salud, indican que el almidón resistente podría ser un ingrediente con un gran potencial en el tratamiento y prevención de enfermedades crónicas no transmisibles (Villarroel et al., 2018).

Cadena agroalimentaria del plátano en Colombia

Según reporte del Ministerio de Agricultura de Colombia (2021), el plátano es el cultivo frutal más sembrado en el país, siendo el más importante en la seguridad alimentaria y haciendo parte de la canasta familiar de los colombianos. Para el 2023, su producción y área sembrada tuvo un incremento anual de 4.4% y 2.4% respectivamente, llegando a las 4.850.985 toneladas en 486.876 hectáreas, para un rendimiento de 10.6 ton/ha (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, 2023).

La cobertura geográfica de la cadena del plátano abarca los 32 departamentos de Colombia, en 786 municipios. El aumento del área sembrada de plátano se refleja en los principales departamentos productores (Figura B): Arauca, Antioquia, Meta, Caldas y Córdoba, acumulan un 4% de aumento en las áreas cultivadas registradas en promedio, y representan el 54% de la producción nacional. El departamento con mayor producción es Arauca, teniendo una participación en el mercado nacional del 21% con cerca de 49 mil ha y un rendimiento de 23 ton/ha; seguido de Antioquia en donde se concentra el 10% de la producción y de Meta con 9,7%. En Cauca y Córdoba se registra el 7% y 6% de la producción, respectivamente (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

Cabe resaltar que, en los departamentos del Tolima y Huila, la variedad cachaco se desarrolla como una actividad económica de doble propósito, comercializándose la hoja y el fruto. Además, el plátano de exportación se produce en los departamentos de Choco y Antioquia, en donde se registró una producción de 261 mil ton para el año 2020 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

El rendimiento promedio por hectárea nacional se ha incrementado en los últimos años, pasando de 7,9 ton/ha en 2007 a 10,6 ton/ha para el año 2023 (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, 2023). Colombia presenta un rendimiento superior que la media mundial que, para el año 2022, se calculó en 6.9 ton/ha (FAO, 2022).

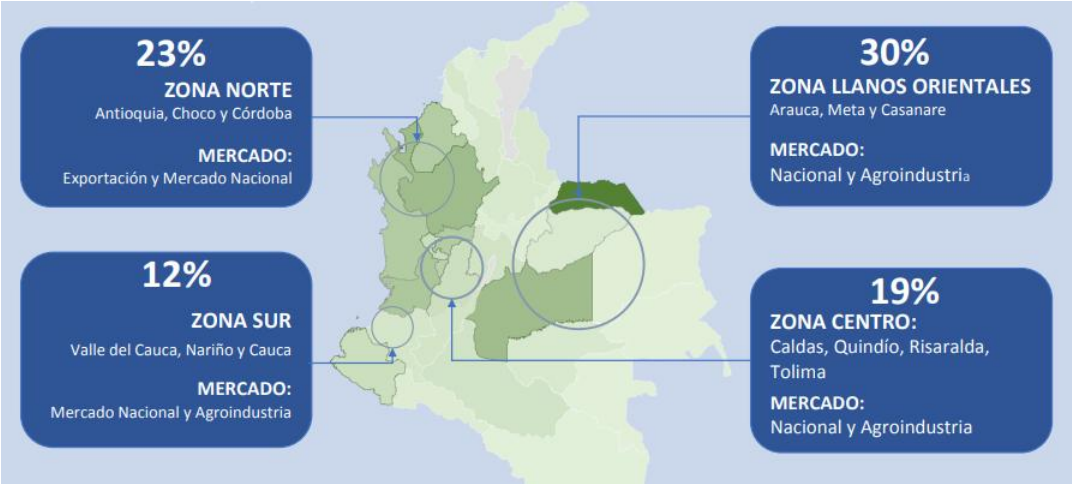


Figura B. Principales zonas de producción de plátano en Colombia.

Fuente: (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

Por otro lado, la mejora en los precios del plátano (Tabla D) se explica, entre otras cosas, por el aumento de la inflación generalizada, lo que pudo haber incentivado a los productores a incrementar las áreas de cultivo (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, 2023).

Tabla 1.4. Evolución del precio del plátano en Colombia.

Precios nacionales promedios	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Productor (COP/kg)	647	918	643	794	985	878
Industrial (COP/kg)	700	650	600	700	650	850
Consumidor (COP/kg)	925	1310	920	1.135	1.407	1.254

Fuente: (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

La evolución del precio para los productores permite obtener márgenes de rentabilidad que oscilan entre el 10 y 15% dependiendo su tecnificación. Por otra parte, el valor pagado al productor es entre 1,5 y 2 veces menor al valor de venta al consumidor en los últimos años. Esta brecha representa el valor de la intermediación del producto (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

Por otro lado, el DANE registra 213.950 familias productoras de plátano. Además, este subsector agrícola genera alrededor de 967 mil empleos directos e indirectos, según lo muestra la Tabla E (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017).

Desde el año 2015, la cantidad de empleos directos e indirectos generados por el subsector platanicultor colombiano se han incrementado en un 17% (Tabla E), siendo uno de los principales productos que generan más empleos en el sector agrícola en el país, después del café y la panela. El

cultivo de plátano con producción tecnificada para exportación reporta un promedio de 1 y 2 empleos directo e indirectos por hectárea, respectivamente (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

Tabla 1.5. Empleos generados por el subsector platanicultor en Colombia.

Año	Área cosechada	Empleos directos	Empleos indirectos	Empleos totales
2015	405.910	235.102	584.847	819.949
2016	416.053	248.758	618.779	867.537
2017	415.943	248.521	618.179	866.700
2018	434.078	267.813	665.744	933.557
2019	448.596	275.953	681.456	957.409
2020	453.438	278.931	688.812	967.743

Fuente: (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2017).

Finalmente, existen aspectos que han dinamizado el desarrollo de la cadena del plátano en Colombia desde distintos enfoques:

- Según informes de exportación, se ha analizado el interés por el plátano en países como China, Japón y países del medio oriente. Sin embargo, es necesario evaluar los mecanismos con los cuales competir contra el mercado africano, pues concentra el 60% de la producción mundial y posee ventajas geoestratégicas sobre el mercado colombiano (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).
- Con apoyo del Sistema de Información Policial del Cuerpo de Investigaciones Científicas, Penales y Criminalísticas (SIPOL), se están desarrollando estrategias para el manejo del ingreso ilegal de plátano por la frontera ecuatoriana (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).
- Según la Dirección de Asuntos Internacionales del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), constantemente hay solicitud de plátano a otros mercados de Latinoamérica y del mundo, pero es indispensable la certificación de predios en Buenas Prácticas Agropecuarias (BPA) y en la Norma GlobalG.A.P. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).
- Actualmente existe una problemática sanitaria por Moko (*Ralstonia Solanacearum*, Raza II), que afecta la productividad de las zonas de los llanos orientales y el eje (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).
- En agosto de 2019, el ICA emitió la Resolución 17334 mediante la cual fue se declaró en cuarentena vegetal una finca bananera de La Guajira, por encontrar la plaga Fusarium Raza 4 Tropical (Foc R4T) en algunos predios de banano (Instituto Colombiano Agropecuario, 2019). Actualmente se están realizando estudios confirmatorios por parte de Agrosavia para determinar la vulnerabilidad del plátano ante esta plaga.

Contexto económico del plátano

La producción mundial de plátano se esquematiza en la Figura C. Colombia ocupa el quinto lugar en producción mundial de plátano. Por otro lado, el país con mayor rendimiento mundial es República Dominicana, con 21,7 ton/ha. También, en África se concentra el 60% de la producción mundial con cerca de 24 millones de ton, seguido de América con un 27%, registrando 10,5 millones de ton. Las exportaciones de plátano en el año 2020 tuvieron un crecimiento del 23,85%, frente al año 2019, llegando a las 141.029 ton enviadas, tal como se observa en la balanza comercial histórica de la Figura E (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

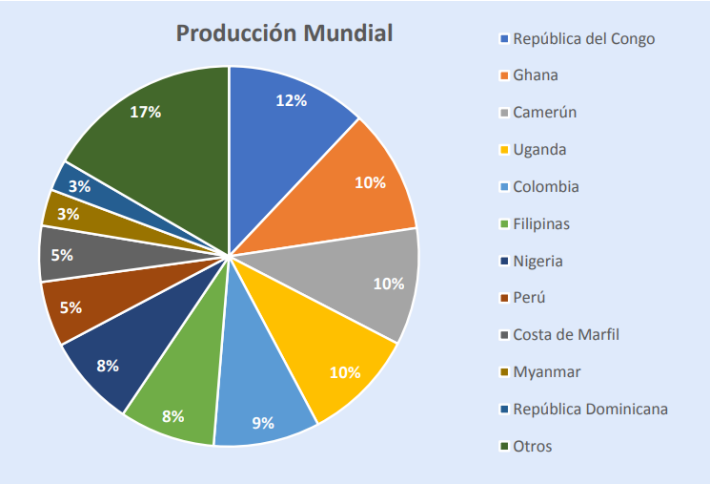


Figura C. Principales productores de plátano del mundo.

Fuente: (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

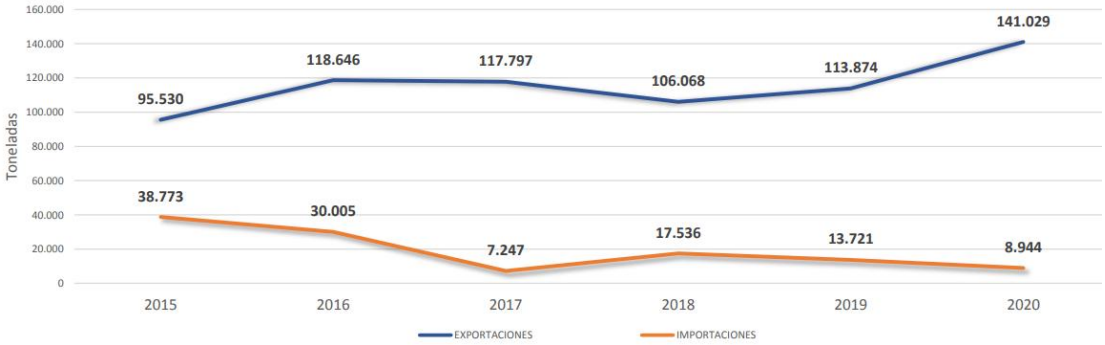


Figura D. Exportaciones e importaciones de plátano en Colombia de los últimos años.

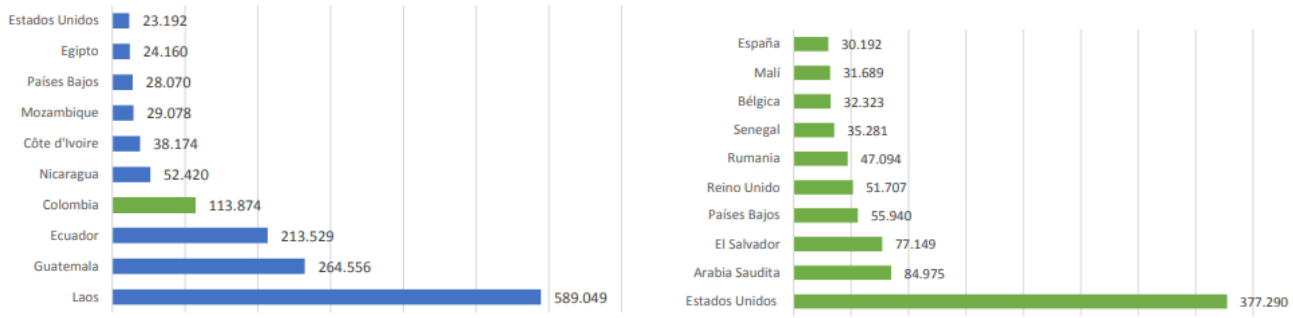
Fuente: (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

El principal destino de exportación es Estados Unidos, registrando el 39% de participación del mercado para 55.245 ton, seguido de Reino Unido con 45.654 ton, representando el 32% de las exportaciones. Los principales países destinos de las exportaciones de plátano colombiano son en su orden: Estados Unidos, Reino Unido, España, Holanda, Portugal, Bélgica y Francia, que en conjunto

sumaron cerca del 95% del plátano exportado en el 2020, con divisas por exportaciones de plátano del orden de 77 millones de dólares (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

Sin embargo, las exportaciones hacia Estados Unidos disminuyeron en 5% durante enero y mayo de 2021, frente al mismo periodo del 2019. Francia y Holanda son los países que muestran la mayor variación positiva de las exportaciones, con 321% y 154%, respectivamente (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

La balanza del comercio internacional del plátano para 2019 se esquematiza en la Figura E.



(a) **(b)**

Figura E. Comercio internacional del plátano para el 2019. Principales **(a)** exportadores e **(b)** importadores de plátano en el mundo.

Fuente: (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

En el 2019, se exportaron 1.505.637 ton de plátano en total, siendo Laos el principal país exportador, con una participación del 39% del mercado internacional. Colombia ocupa el cuarto puesto en exportaciones mundiales, con un 8% de participación. Por otro lado, el principal país comprador de plátano en el contexto mundial es Estados Unidos con 377.290 toneladas para un 32%. Los 10 países de la Figura 5b agrupan más del 70% de las importaciones mundiales de plátano (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

Agroindustria del plátano

La cadena colombiana del plátano se encuentra institucionalmente intervenida, lo que ha facilitado su desarrollo al recibir asistencia técnica y apoyos financieros provenientes del Estado y de entidades privadas. La cadena se compone por agricultores, comercializadores, industriales y exportadores. El plátano fresco se produce en fincas y, luego de ser cosechado, inspeccionado, seleccionado y clasificado, se lleva al mercado nacional e internacional ya sea para su consumo directo o para ser usado como materia prima en la elaboración de harinas, plátanos congelados, pasabocas o alimentos para animales (Montoya, 2020).

Alrededor del 5% de la producción mundial de plátano se comercializa como producto procesado. A partir de su pulpa se han obtenido diversos productos como patacones frescos y congelados,

bioetanol, snacks, plátano deshidratado, puré de plátano y harina nativa y fortificada (Abiodun-Solanke & Falade, 2011; Giraldo-Gómez et al., 2019). Otro producto generado es el almidón de la pulpa del plátano verde (Melo Sabogal et al., 2015).

Históricamente, las investigaciones que se han desarrollado alrededor de la industrialización del plátano han tenido como objetivo principal la obtención de harinas o féculas; inicialmente se pretendía dar un valor agregado a las segundas y terceras, ya que estas no tienen buena aceptación por los consumidores debido, principalmente, a su tamaño y presentación. La harina de plátano es muy apreciada por sus propiedades nutricionales. Sus altos contenidos de vitaminas, minerales, carbohidratos complejos y fibra dietética, AR y su carencia de gluten (Flores Navarrete, 2018), han hecho de este fruto un promisorio insumo para el diseño y formulación de nuevos alimentos.

Desde el 2011, Castellanos y su grupo de investigación han desarrollado investigaciones hacia la determinación de las propiedades funcionales y estructurales tanto de las harinas como de los almidones de plátanos en fresco, que permitían establecer su potencial de industrialización para la elaboración de diversos productos como los snacks, sopas, coladas, entre otros (Castellanos-Galeano & Lucas-Aguirre, 2011). Simultáneamente, se han enfocado principalmente hacia el modelamiento de los procesos de fritura del plátano (Martinez Pantoja et al., 2022), y el estudio del efecto de las condiciones de fritura al vacío de rodajas de plátano verde variedad *Dominico Hartón* (Catellanos-Galeano et al., 2017). Otros autores enriquecieron harina de banano verde con micronutrientes (Villegas et al., 2012). En el 2013 surge FORTILLANO, una idea empresarial de los llanos orientales colombianos, que pretendía fortificar la harina de plátano con ácidos omega-3 y omega-6 aportados por las semillas de ajonjolí, y saborizada con canela. En el 2015 se propone una harina de plátano fortificada con harina de ahuyama y quinua en un programa liderado por la Agencia Presidencial de Cooperación de Colombia (APCColombia). Existen un número importante de empresas del sector agroindustrial que elaboran mezclas de harina de plátano, con harinas o féculas de maíz, arroz o trigo (Montoya, 2020). También es importante resaltar investigaciones complementarias sobre el estudio de las características y usos del almidón del plátano en la industria alimenticia (Espinosa Solis, 2012; García-Tejeda et al., 2011). En 2019, grupos de investigación de la Universidad Nacional de Colombia y de la Universidad de Caldas logran el desarrollo de harinas instantáneas de plátano mediante extrusión, una tecnología aplicada para modificar físicamente el almidón y mejorar su solubilidad (Giraldo-Gómez et al., 2019), y enfocándose en el diseño de un alimento funcional con un destacado perfil sensorial.

Alimentos funcionales

En el último siglo, la comunidad científica ha llamado la atención de la industria agroalimentaria y de los consumidores al descubrir el efecto que tiene la dieta sobra la salud y bienestar de las comunidades (Rashidinejad et al., 2020). Diferentes estudios han correlacionado la dieta como un factor de riesgo modificable para prevenir y/o tratar enfermedades no transmisibles como la diabetes tipo 2 (Alberti et al., 2007), el reflujo gastroesofágico asociado a malestar gastrointestinal (Malfa et al., 2021b) y la psicosis no afectiva (Fernández-Abascal et al., 2021). Así es como en 1984, a fin de disminuir el gasto público en salud, la comunidad científica e industrial japonesa desarrollaron un conjunto de alimentos dirigidos específicamente para el mejoramiento de la salud y para reducir el

riesgo de contraer enfermedades (Rashidinejad et al., 2020). Los resultados de esta política pública ocasionaron un incremento en la demanda de alimentos nutritivos saludables por parte de los consumidores, que no sólo aportaban un contenido calórico balanceado sino también características funcionales promotoras de la salud. En la actualidad, esta clase de alimentos es promovida y avalada por gobiernos de todo el mundo (Day et al., 2009), y este tipo de productos fueron denominados alimentos funcionales (AF). Estos aparecieron en Europa gracias al proyecto Functional Food Science in Europa (FUFOSE), mediante el cual se buscaba proporcionar las bases conceptuales para el desarrollo científico de la alimentación funcional (Montoya, 2020).

Los AF se definen como aquellos que han demostrado científicamente sus efectos beneficiosos en la salud a través del mejoramiento de una o varias funciones biológicas en el organismo que lo consume, cuyo efecto es independiente de su aporte nutricional (Granato et al., 2010). Dichos efectos son aportados por compuestos bioactivos (CBA), tales como micronutrientes (minerales, vitaminas y ácidos grasos de cadena corta), fibra prebiótica, fitoquímicos y otros antioxidantes, que generan un beneficio fisiológico adicional a un alimento más allá de su nutrición básica, otorgando funcionalidad al producto (Chugh & Kamal-Eldin, 2020; Y. Y. Zhu et al., 2020). Dentro del campo de los AF también se encuentran los probióticos, microorganismos activos no patógenos cuya adecuada administración en la ingesta produce beneficios en la salud del organismo huésped (Organización de la Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2006).

Probióticos

El término probiótico, que significa “a favor de la vida”, fue introducido por primera vez por el microbiólogo ruso Elie Metchnikoff, premio Nobel de medicina de 1908, al establecer el principio para la modificación de la microbiota intestinal por la ingesta de microorganismos con funciones positivas para la salud del consumidor, sustituyendo los microorganismos nocivos (Metchnikoff, 1910). Mientras tanto, el pediatra francés Henry Tissier observó en 1900 que los niños con diarrea presentaban pocas bacterias en forma de “Y”, mientras que estas bacterias “bífidas” eran abundantes en niños sanos. Como resultado de su análisis, sugirió administrar estos microbios a pacientes con diarrea para restablecer su microbiota intestinal sana (Tissier, 1900).

De acuerdo con la FAO, los probióticos se definen como microorganismos vivos no patógenos cuya adecuada administración en la ingesta produce beneficios en la salud del organismo huésped (FAO, 2006). Otras definiciones (Vrese, 2001) se limitan en mencionar los efectos ejercidos por microorganismos viables en el organismo huésped, independientemente del lugar de acción o del modo de administración.

Para que un microorganismo se considere probiótico, es necesario que cumpla con el siguiente conjunto de requisitos (Dunne et al., 1999; Quigley, 2010):

- Demostrar un comportamiento no patógeno y no citotóxico.
- Exhibir resistencia a los procesos tecnológicos en términos de estabilidad microbiológica, a la acidez gástrica y biliar.

- Adherirse al tejido epitelial del intestino.
- Tener la capacidad de persistir al tracto gastrointestinal, al menos durante periodos cortos de tiempo.
- Producir sustancias antimicrobianas (ácidos orgánicos, ácidos grasos de cadena corta, bacteriocinas, entre otros).
- Modular la respuesta inmune e influir en la actividad metabólica del huésped.

Sin embargo, existen importantes excepciones y, además, su comportamiento en el tracto gastrointestinal y sus efectos varían entre las distintas cepas. Por ejemplo, la capacidad de varias especies de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* de colonizar el intestino humano por largos periodos de tiempo se encuentra bien documentada (Xiao et al., 2020), en la que se incluyen las estrategias dietéticas específicas (como la ingestión de altos niveles de triptófano, galacto-oligosacáridos y polisacáridos resistentes a la digestión) para lograr colonizaciones sinérgicas eficaces (Krumbeck et al., 2015; Rattanaprasert et al., 2014; Wu et al., 2017; Zelante et al., 2013), contrastando con la creencia de que la mayoría de probióticos ejercen sus efectos de modo local y temporal (Chugh & Kamal-Eldin, 2020; Ouwehand et al., 2002). En consecuencia, se hace necesario el consumo regular de productos funcionales probióticos, para garantizar la manifestación y persistencia de los efectos fisiológicos favorables, mejorando la salud de los consumidores, la disponibilidad de nutrientes y compuestos bioactivos en la dieta (Pandey et al., 2015), la modulación de la microbiota intestinal (Lopetuso et al., 2019; Schepper et al., 2017) y la estimulación del sistema inmune (Kober & Bowe, 2015). Por lo tanto, garantizar su supervivencia durante el procesamiento y almacenamiento de productos funcionales probióticos y su tránsito por el tracto gastrointestinal, para lograr colonizar el intestino grueso del huésped, representa el principal desafío tecnológico de este emergente campo del diseño y formulación de nuevos productos, pues al proporcionar la población adecuada de microorganismos se incrementa la manifestación de sus beneficios en la salud.

Por esto, los microorganismos probióticos formadores de esporas han atraído el interés de los investigadores. Algunas especies no patógenas de *Bacillus* han sido empleadas para desarrollar alimentos funcionales probióticos (Almada-Érix et al., 2021, 2022; Cardoso et al., 2024; Glaser & Venus, 2014; Homsuwan et al., 2023; A. Lee et al., 2017; Shaikh et al., 2024; Tan et al., 2021), aprovechando la termorresistencia y la capacidad de esporulación de manera específica para cada cepa. Particularmente, la bacteria *Bacillus coagulans*, que ha sido empleada para el tratamiento del síndrome de colon irritable (Urgesi et al., 2014), intolerancia a la lactosa (Batra et al., 2002) y otras enfermedades (J. Cao et al., 2020), es de gran interés dada su alta tolerancia a condiciones extremas y sus características probióticas, como su capacidad para regular la microbiótca instestinal, estimular el sistema inmunológico del huésped y promover la absorción de nutrientes (J. Cao et al., 2020).

Las preparaciones comerciales de probióticos normalmente contienen mezclas de cepas bacterianas de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, pero también se han empleado levaduras. En algunos casos, se ha reportado el uso de cepas de *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Enterococcus* y *Propionibacterium* (Azad et al., 2018; Espin & Balberan, 2005). Las bacterias probióticas son usadas para la preparación de diferentes alimentos funciones basados en leche, productos lácteos (leches acidificadas, yogurt, quesos, cremas y helados) y no lácteos (carnes, productos cárnicos y horneados, snacks de cereales, jugos y otros productos frutales) (Chugh & Kamal-Eldin, 2020).

Prebióticos

Los prebióticos son ingredientes alimentarios no digeribles que benefician al organismo que lo consume a través de la estimulación selectiva del crecimiento y/o de la actividad de la microbiota intestinal, regulando el tránsito digestivo, favoreciendo tanto el equilibrio microbiológico del sistema digestivo como la absorción de minerales a nivel intestinal (Gibson & Roberfroid, 1995; Rodríguez-Barona et al., 2014b). Los prebióticos son comúnmente usados para prevenir enfermedades como la diarrea por antibióticos, enfermedad inflamatoria intestinal, infección por *Helicobacter*, encefalopatía hepática, entre otras (Olveira & González-Molero, 2016).

La efectividad de los prebióticos se enfoca en su capacidad de resistir la digestión en el estómago e intestino delgado para alcanzar el intestino grueso, donde serán usados de forma selectiva por microorganismos, fundamentalmente *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*. Algunos carbohidratos que pueden cumplir estos requisitos y que son objeto de investigación son la inulina y sus derivados (fructooligosacáridos), que han demostrado actividades prebióticas en un número aceptable de estudios (Azizishafa et al., 2023; Iraporda et al., 2022; Lacerda et al., 2016; Rodríguez-Barona et al., 2014b, 2014a), además de estar comercialmente disponibles. La inulina es un polisacárido presente en las raíces y rizomas de diferentes plantas, y pertenece al grupo de compuestos conocidos como fructanos. Es resistente al ataque ácido y enzimático del tracto gastrointestinal, y tiene la capacidad de ser empleada como fuente de carbono en cultivos microbianos (Torres Rodelo, 2018). De hecho, algunos estudios han demostrado la influencia de la inulina en la regulación de la microbiota intestinal en humanos, pues su fermentación en el intestino grueso produce ácido láctico que regula el pH del medio y ácidos grasos de cadena corta (ácido butírico, propiónico y otros) que estimulan el sistema inmunológico (Azizishafa et al., 2023). Por otro lado, algunas investigaciones evidencian un efecto positivo en el uso de inulina como un agente termoprotector y prebiótico para el desarrollo de alimentos funcionales probióticos, donde se exhibe una relación simbiótica con los microorganismos objeto de estudio enfocada en su protección a la condiciones ambientales y gastrointestinales, además de su uso como sustrato microbiológico (Iraporda et al., 2022; Lacerda et al., 2016).

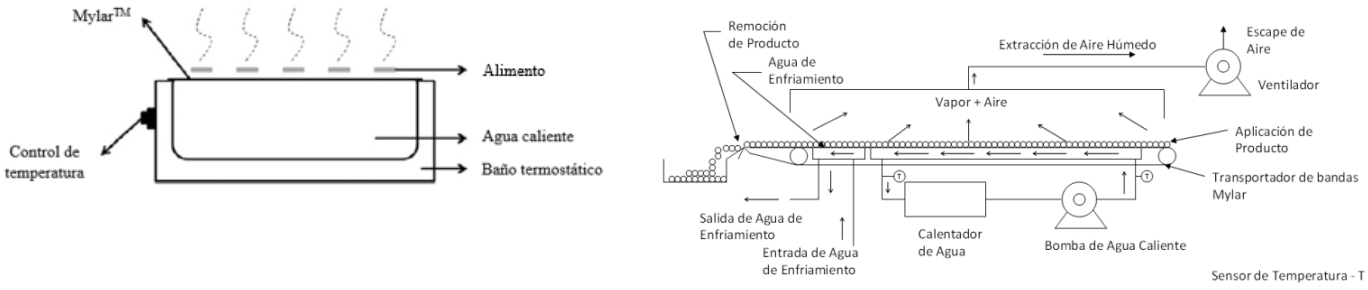
Aunque la mayoría de los ingredientes prebióticos explorados son carbohidratos de cadena larga y sus derivados, existen también aquellos de naturaleza proteica, incluyendo distintas proteínas lácteas (de suero lácteo), sus hidrolizados, y no lácteas, que pueden ejercer capacidades bioactivas en el consumidor, a parte de los beneficios propiamente derivados del valor nutritivo de estos compuestos. Precisamente son las proteínas minoritarias, como las inmunoglobulinas, lactoferrina y lactoperoxidasa, las que mayor atención han recibido por parte de las investigaciones más recientes por su potencialidad para ser empleadas como ingredientes funcionales en alimentos o en aplicaciones farmacéuticas (G. S. Kelly, 2003; Playne et al., 2003; Wei et al., 2002), lo que incrementa la necesidad de implementar mecanismos para protegerlas. Al respecto, la microencapsulación se vislumbra como una alternativa en la preservación efectiva de CBA en productos alimenticios.

Secado por ventana de refractancia

La encapsulación de probióticos se ha realizado principalmente mediante extrusión, emulsión, liofilización, secado por aspersión, coacervación y más recientemente mediante lecho fluidizado (Haffner et al., 2016; Huq et al., 2013; Rodrigues et al., 2020). En el método de extrusión, una suspensión coloidal con probióticos cae sobre una solución endurecedora, y se utilizan altas temperaturas para secar las células bacterianas que afectan su tasa de supervivencia. El método de emulsificación requiere el uso de aceite vegetal que da como resultado la variabilidad de las cápsulas en tamaño y forma, mientras que las células se recolectan húmedas. En la liofilización, las lesiones por calor en las células son mínimas en comparación con otros métodos; sin embargo, deben usarse crioprotectores para inhibir las lesiones por frío. El secado por aspersión es más económico que la liofilización; no obstante, la pérdida de viabilidad de las células es muy alta dada la deshidratación inducida por calor. Otras limitaciones vitales de esos métodos de encapsulación son la baja eficiencia de encapsulación y la capacidad de carga, así como la amplia distribución del tamaño de partícula (Mendes & Chronakis, 2021).

Más del 85% de los secadores empleados para estabilizar alimentos emplean aire caliente o gases de combustión como medios para la transferencia de calor (Zarein et al., 2015), lo que a menudo resulta en niveles significativos de cambios en la calidad del producto. Aunque estas tecnologías tienen la capacidad de procesar productos altamente estables, evidenciado en bajos niveles de humedad, también impactan negativamente en la preservación de los componentes termolábiles y volátiles de los alimentos que, en general, poseen efectos fisiológicos de gran interés comercial y para la salud. Como consecuencia, se ha buscado desarrollar alternativas tecnológicas que aseguren la conservación de las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y organolépticas de los productos y que, al mismo tiempo, sea una estrategia eficaz para estabilizarlos. Este tipo de desarrollos están orientados al análisis integral de la capacidad operativa, control del proceso, requisitos de tiempo, economía de costos, calidad del producto, seguridad operacional y mínimo impacto ambiental. El secado por ventana de refractancia (RWD), por ejemplo, ha cobrado gran relevancia como tecnología promisoria para la preservación de CBA (Yoha et al., 2020a).

El RWD es una tecnología desarrollada por MCD Technologies, Inc (Tacoma, Washington) y patentada por Maggon en 1986, que se basa en la evaporación del agua de un alimento al ser dispuesto sobre Mylar™, una lámina plástica polimérica transparente a la radiación infrarroja. Bajo el conjunto, se encuentra un reservorio de agua caliente que, al aprovechar la capacidad de absorción de radiación infrarroja del agua del producto, induce la evaporación de la humedad del alimento (Ochoa-Martínez et al., 2012). Las configuraciones estática y dinámica del RWD se esquematizan en la Figura G(a) y G(b), respectivamente.



(a) **(b)**

Figura G. Representación esquemática del secado por VR. Configuración **(a)** estática y **(b)** dinámica.

Fuente: Modificado de Ochoa-Martínez *et al.* (2012); Ortiz-Jerez & Ochoa-Martínez (2015)

Aunque es un método relativamente reciente, se ha utilizado ampliamente para el secado de un diverso rango de productos como frutas, vegetales, extractos herbales, especias, suplementos nutricionales (Ochoa-Martínez et al., 2012; Ocoró-Zamora & Ayala-Aponte, 2013), enfocándose en evaluar el color, el perfil nutricional y la retención de CBA en distintas matrices alimentarias: granada (I. Tontul & Topuz, 2017), papaya (Ocoró-Zamora & Ayala-Aponte, 2013), mango (Ochoa-Martínez et al., 2012), banana malbhog (Dadhaneeya et al., 2023), kiwi (Azizi et al., 2017), zapote (Jalgaonkar et al., 2020), manzana (Rajoriya et al., 2019), ñame blanco (Santos et al., 2022), zanahoria (Hernández-Santos et al., 2016) y tomate (Castoldi et al., 2015). Sin embargo, su uso ha tenido limitada exploración para secar microorganismos, pues se ha empleado principalmente para deshidratar soluciones y purés de tal manera que se obtengan escamas o películas alimenticias (Aragón-Rojas et al., 2019a; Yoha et al., 2020a). Las primeras aplicaciones microbiológicas del RWD lograron inactivar eficazmente microorganismos patógenos en puré de calabaza a 95°C (Nindo et al.[33]). Otro estudio lo logró en carne en polvo a 100°C (Rostami et al., 2018). Por otro lado, Nindo & Tang (2007) sugirieron emplear RWD para secar cultivos microbiológicos gracias a su capacidad de deshidratar efectivamente productos a T≤30°C, y estudios posteriores lo han confirmado explorando la microencapsulación de probióticos: *Lactobacillus delbrueckii* y *Streptococcus thermophilus* presentes en el yogurt (Tontul et al., 2018), *Lactobacillus fermentum* en medio de cultivo MRS enriquecido con suero dulce, extracto de levadura y maltodextrina (Aragón-Rojas et al., 2019b), *Lactobacillus plantarum* en fructooligosacárido, proteína de suero y maltodextrina (Yoha et al., 2020b), y *Lactiplantibacillus plantarum* en fructooligosacárido, proteína de suero y maltodextrina (Yoha et al., 2021). Por otro lado, Tontul et al. (2021) obtuvo kéfir en polvo sin emplear agentes encapsulantes. Finalmente, (Nuñez et al., 2024) desarrolló un snack de manzana impregnado con *Lacticaseibacillus rhamnosus* y secado a 45°C empleando RWD, representando el primer estudio reportado de una matriz no láctea fortificada con probióticos y estabilizada con RWD. Este interesante enfoque es el que pretende ser desarrollado en esta investigación.

Bibliografía de la introducción

Abiodun-Solanke, A., & Falade, K. (2011). A review of the uses and methods of processing banana and plantain (Musa spp.) into storable food products. *Journal of Agricultural Research and Development*, *9*(2). https://doi.org/10.4314/jard.v9i2.66815

Aboulfazli, F., Baba, A. S., & Misran, M. (2015). The Rheology and Physical Properties of Fermented Probiotic Ice Creams Made with Dairy Alternatives. *International Journal of Food Engineering*, *11*(4), 493–504. https://doi.org/10.1515/ijfe-2014-0343

Adams, C. A. (2010). The probiotic paradox: live and dead cells are biological response modifiers. *Nutrition Research Reviews*, *23*(1), 37–46. https://doi.org/10.1017/S0954422410000090

Agama-Acevedo, E., Rodriguez-Ambriz, S. L., García-Suárez, F. J., Gutierrez-Méraz, F., Pacheco-Vargas, G., & Bello-Pérez, L. A. (2014). Starch isolation and partial characterization of commercial cooking and dessert banana cultivars growing in Mexico. *Starch - Stärke*, *66*(3–4), 337–344. https://doi.org/10.1002/star.201300125

Ahmad, A., Prakash, O., Kumar, A., Chatterjee, R., Sharma, S., Kumar, V., Kulshreshtha, K., Li, C., & Eldin, E. M. T. (2022). A Comprehensive State-of-the-Art Review on the Recent Developments in Greenhouse Drying. *Energies*, *15*(24), 9493. https://doi.org/10.3390/en15249493

Aizawa, E., Tsuji, H., Asahara, T., Takahashi, T., Teraishi, T., Yoshida, S., Ota, M., Koga, N., Hattori, K., & Kunugi, H. (2016). Possible association of Bifidobacterium and Lactobacillus in the gut microbiota of patients with major depressive disorder. *Journal of Affective Disorders*, *202*, 254–257. https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.05.038

Alberti, K. G. M. M., Zimmet, P., & Shaw, J. (2007). International Diabetes Federation: A consensus on Type 2 diabetes prevention. *Diabetic Medicine*, *24*(5), 451–463. https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2007.02157.x

Almada-Érix, C. N., Almada, C. N., Pedrosa, G. T. S., Biachi, J. P., Bonatto, M. S., Schmiele, M., Nabeshima, E. H., Clerici, M., Magnani, M., & Sant'Ana, A. S. (2022). Bread as probiotic carriers: Resistance of *Bacillus coagulans* GBI-30 6086 spores through processing steps. *FOOD RESEARCH INTERNATIONAL*, *155*. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111040

Almada-Érix, C. N., Almada, C. N., Souza Pedrosa, G. T., dos Santos, P., Schmiele, M., Clerici, M. T. P. S., Martinez, J., Lollo, P. C., Magnani, M., & Sant'Ana, A. S. (2021). Quantifying the impact of eight unit operations on the survival of eight Bacillus strains with claimed probiotic

properties. *Food Research International*, *142*(February). https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110191

Almanza-Benitez, S., Osorio-Díaz, P., Méndez-Montealvo, G., Islas-Hernández, J. J., & Bello-Perez, L. A. (2015). Addition of acid-treated unripe plantain flour modified the starch digestibility, indigestible carbohydrate content and antioxidant capacity of semolina spaghetti. *LWT - Food Science and Technology*, *62*(2), 1127–1133. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.02.031

Ammor, S., Tauveron, G., Dufour, E., & Chevallier, I. (2006). Antibacterial activity of lactic acid bacteria against spoilage and pathogenic bacteria isolated from the same meat small-scale facility. *Food Control*, *17*(6), 454–461. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.02.006

Anyasi, T. A., Jideani, A. I. O., & Mchau, G. R. A. (2015). Effect of organic acid pretreatment on some physical, functional and antioxidant properties of flour obtained from three unripe banana cultivars. *Food Chemistry*, *172*, 515–522. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.120

Aradón, A., & Castellano, V. (2014). Regulation and guidelines of probiotics and prebiotics. In *Probiotics and prebiotics in food, nutrition and health* (pp. 91–113). CRC Press.

Aragón-Rojas, S., Quintanilla-Carvajal, M. X., Hernández-Sánchez, H., Hernández-Álvarez, A. J., & Moreno, F. L. (2019a). Encapsulation of Lactobacillus fermentum K73 by Refractance Window drying. *Scientific Reports*, *9*(1), 1–15. https://doi.org/10.1038/s41598-019-42016-0

Aragón-Rojas, S., Quintanilla-Carvajal, M. X., Hernández-Sánchez, H., Hernández-Álvarez, A. J., & Moreno, F. L. (2019b). Encapsulation of Lactobacillus fermentum K73 by Refractance Window drying. *Scientific Reports*, *9*(1), 1–15. https://doi.org/10.1038/s41598-019-42016-0

Araújo, T. M. R., Farias, M. D. L., Afonso, M. R. A., Costa, J. M. C. da, & Eça, K. S. (2020). Maltodextrin on the flow properties of green coconut (Cocos nucifera L.) pulp powder. *Ciência e Agrotecnologia*, *44*. https://doi.org/10.1590/1413-7054202044003220

Arihara, K., & Ohata, M. (2011). Functional meat products. In *Functional Foods* (pp. 512–533). Elsevier. https://doi.org/10.1533/9780857092557.3.512

Ashwar, B. A., Gani, A., Gani, A., Shah, A., & Masoodi, F. A. (2018). Production of RS4 from rice starch and its utilization as an encapsulating agent for targeted delivery of probiotics. *Food Chemistry*, *239*, 287–294. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.110

Asif-Ul-Alam, S. M., Islam, M. Z., Hoque, M. M., & Monalisa, K. (2014). Effects of Drying on the Physicochemical and Functional Properties of Green Banana (Musa sapientum) Flour and Development of Baked Product. *American Journal of Food Science and Technology*, *2*(4), 128–133. https://doi.org/10.12691/ajfst-2-4-4

Asiimwe, A., Kigozi, J. B., Baidhe, E., & Muyonga, J. H. (2022). Optimization of refractance window drying conditions for passion fruit puree. *LWT*, *154*, 112742. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112742

Association of Official Analytical Chemist [AOAC]. (1990). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (15th ed.). AOAC International.

Astudillo-Heras, L. L., & Sánchez-Salamea, A. L. (2019). *Extracción de Almidón a partir del banano (plátano) de categoría II (Musa paradisiaca) en estado verde, para la elaboración de colada instantánea fortificada y utilización de su fibra para balanceado de ganado porcino* [Tesis de grado]. Universidad de Cuencua.

Azad, Md. A. K., Sarker, M., Li, T., & Yin, J. (2018). Probiotic Species in the Modulation of Gut Microbiota: An Overview. *BioMed Research International*, *2018*, 1–8. https://doi.org/10.1155/2018/9478630

Azizi, D., Jafari, S. M., Mirzaei, H., & Dehnad, D. (2017). The Influence of Refractance Window Drying on Qualitative Properties of Kiwifruit Slices. *International Journal of Food Engineering*, *13*(2). https://doi.org/10.1515/ijfe-2016-0201

Azizishafa, M., Basti, A. A., Sharifan, A., & Khanjari, A. (2023). Reformulation of traditional Iranian food (Doeeneh) using probiotics: Bifidobacterium animalis subsp. lactis BB-12, Lactobacillus acidophilus LA-5, Lacticaseibacillus rhamnosus LGG, and inulin and its effect on diabetic and non-diabetic rats. *Food Quality and Safety*, *7*. https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyad028

Babolanimogadam, N., Akhondzadeh Basti, A., Khanjari, A., Sajjadi Alhashem, S. H., Babolani Moghadgam, K., & Ahadzadeh, S. (2024). Shelf life extending of probiotic beef patties with polylactic acid-ajwain essential oil films and stress effects on *Bacillus coagulans*. *Journal of Food Science*, *89*(2), 866–880. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16864

Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (E. Quintanar Duarte & M. B. Gutiérrez Hernández, Eds.; Cámara Nac). Pearson Educación de México, S.A. de C.V. https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/QUIMICA-DE-LOS-ALIMENTOS-4ta-Edicion.pdf

Bamigbola, Y. A., Awolu, O. O., & Oluwalana, I. B. (2016). The effect of plantain and tigernut flours substitution on the antioxidant, physicochemical and pasting properties of wheat-based composite flours. *Cogent Food & Agriculture*, *2*(1). https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1245060

Batra, N., Singh, J., Banerjee, U. C., Patnaik, P. R., & Sobti, R. C. (2002). Production and characterization of a thermostable β -galactosidase from *Bacillus coagulans* RCS3. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, *36*(1), 1–6. https://doi.org/10.1042/BA20010091

Bell, K. J., Saad, S., Tillett, B. J., McGuire, H. M., Bordbar, S., Yap, Y. A., Nguyen, L. T., Wilkins, M. R., Corley, S., Brodie, S., Duong, S., Wright, C. J., Twigg, S., de St Groth, B. F., Harrison, L. C., Mackay, C. R., Gurzov, E. N., Hamilton-Williams, E. E., & Mariño, E. (2022). Metabolite-based dietary supplementation in human type 1 diabetes is associated with microbiota and immune modulation. *Microbiome*, *10*(1), 9. https://doi.org/10.1186/s40168-021-01193-9

Bello-Pérez, L. A., Pineda-Tapia, F. J., Pacheco-Vargas, G., Carmona-Garcia, R., & Tovar, J. (2024a). Whole Unripe Plantain Flour as Unconventional Carbohydrate Source to Prepare Gluten-Free Pasta with High Dietary Fiber Content and Reduced Starch Hydrolysis. *Starch - Stärke*, *76*(1–2). https://doi.org/10.1002/star.202200222

Bello-Pérez, L. A., Pineda-Tapia, F. J., Pacheco-Vargas, G., Carmona-Garcia, R., & Tovar, J. (2024b). Whole Unripe Plantain Flour as Unconventional Carbohydrate Source to Prepare Gluten-Free Pasta with High Dietary Fiber Content and Reduced Starch Hydrolysis. *Starch - Stärke*, *76*(1–2). https://doi.org/10.1002/star.202200222

Bernat, N., Cháfer, M., González-Martínez, C., Rodríguez-García, J., & Chiralt, A. (2015). Optimisation of oat *milk* formulation to obtain fermented derivatives by using probiotic *Lactobacillus reuteri* microorganisms. *Food Science and Technology International*, *21*(2), 145–157. https://doi.org/10.1177/1082013213518936

Bhandari, B., Bansal, N., Zhang, M., & Schuck, P. (2013). *Handbook of food powders*. Woodhead Publishing Limited. https://doi.org/10.1533/9780857098672

Bharwani, A., Mian, M. F., Foster, J. A., Surette, M. G., Bienenstock, J., & Forsythe, P. (2016). Structural & functional consequences of chronic psychosocial stress on the microbiome & host. *Psychoneuroendocrinology*, *63*, 217–227. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2015.10.001

Bonik, S. K., Tamanna, S. T., Happy, T. A., Haque, Md. N., Islam, S., & Faruque, Md. O. (2024). Formulation and evaluation of cereal-based breads fortified with natural prebiotics from green banana, moringa leaves powder and soya powder. *Applied Food Research*, *4*(1), 100377. https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100377

Cadena, R. S., Caimi, D., Jaunarena, I., Lorenzo, I., Vidal, L., Ares, G., Deliza, R., & Giménez, A. (2014). Comparison of rapid sensory characterization methodologies for the development of functional yogurts. *Food Research International*, *64*, 446–455. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.027

Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *6*(4), 420–428. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003

Cano-Sarmiento, C., Téllez-Medina, D. I., Viveros-Contreras, R., Cornejo-Mazón, M., Figueroa-Hernández, C. Y., García-Armenta, E., Alamilla-Beltrán, L., García, H. S., & Gutiérrez-López, G. F. (2018). Zeta Potential of Food Matrices. *Food Engineering Reviews*, *10*(3), 113–138. https://doi.org/10.1007/s12393-018-9176-z

Cánovas Barbosa, & G.V y Vega Mercado, H. (1996). *Dehydration of Foods Dehydration of Foods Series Editor* (1st ed.).

Cao, J., Yu, Z., Liu, W., Zhao, J., Zhang, H., Zhai, Q., & Chen, W. (2020). Probiotic characteristics of Bacillus coagulans and associated implications for human health and diseases. *Journal of Functional Foods*, *64*(October), 103643. https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103643

Cao, Z., Pan, H., Tong, H., Gu, D., Li, S., Xu, Y., Ge, C., & Lin, Q. (2016). In vitro evaluation of probiotic potential of Pediococcus pentosaceus L1 isolated from paocai—a Chinese fermented vegetable. *Annals of Microbiology*, *66*(3), 963–971. https://doi.org/10.1007/s13213-015-1182-2

Capela, P., Hay, T. K. C., & Shah, N. P. (2006). Effect of cryoprotectants, prebiotics and microencapsulation on survival of probiotic organisms in yoghurt and freeze-dried yoghurt. *Food Research International*, *39*(2), 203–211. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.07.007

Cardoso, P. I. F. da C., Grisi, C. V. B., Vieira, É. de A., de Almeida, D. K. L., & Cardarelli, H. R. (2024). Cereal flours with Bacillus coagulans and beta-glucan: Technological properties and sensory acceptability. *Food Chemistry*, *448*, 139146. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139146

Castaño-Peláez, H. I., Cortes-Rodríguez, M., Gil-González, J., & Gallón-Bedoya, M. (2022). Influence of gum arabic and homogenization process on the physicochemical stability of strawberry suspensions. *Food Science and Technology*, *42*. https://doi.org/10.1590/fst.58020

Castaño-Peláez, H., Rodríguez, M. C., Gil G., J. H., López, G. L., & Ortega-Toro, R. (2022). Optimization of spray-drying process parameters on strawberry (Fragaria ananassa D.) extracts microcapsules quality. *Journal of Berry Research*, *12*(4), 531–550. https://doi.org/10.3233/JBR-220047

Castellanos-Galeano, F. J., & Lucas-Aguirre, J. C. (2011). Caracterización física del fruto en variedades de plátano cultivadas en la zona cafetera de Colombia. *Acta Agronómica*, *60*(2).

Castoldi, M., Zotarelli, M. F., Durigon, A., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2015). Production of Tomato Powder by Refractance Window Drying. *Drying Technology*, *33*(12), 1463–1473. https://doi.org/10.1080/07373937.2014.989327

Catellanos-Galeano, F. J., Chavez-Salazar, A., & Martínez-Hernández, L. J. (2017). Effect of process variables in the production of fried green plantain in vacuum. *Revista Vitae*, 38–46. https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v24n1a05

Cayra, E., Dávila, J. H., Villalta, J. M., & Rosales, Y. (2017). Evaluación de la Estabilidad y Viabilidad de Dos Cepas Probióticas Microencapsuladas por Lecho Fluidizado. *Información Tecnológica*, *28*(6), 35–44. https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000600005

Champagne, C. P., Tompkins, T. A., Buckley, N. D., & Green-Johnson, J. M. (2010). Effect of fermentation by pure and mixed cultures of Streptococcus thermophilus and Lactobacillus helveticus on isoflavone and B-vitamin content of a fermented soy beverage. *Food Microbiology*, *27*(7), 968–972. https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.06.003

Chandanasree, D., Gul, K., & Riar, C. S. (2016). Effect of hydrocolloids and dry heat modification on physicochemical, thermal, pasting and morphological characteristics of cassava (Manihot esculenta) starch. *Food Hydrocolloids*, *52*, 175–182. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.06.024

Charalampopoulos, D., Pandiella, S. S., & Webb, C. (2003). Evaluation of the effect of malt, wheat and barley extracts on the viability of potentially probiotic lactic acid bacteria under acidic conditions. *International Journal of Food Microbiology*, *82*(2), 133–141. https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00248-9

Chávez-Salazar, A., Castellanos-Galeano, F. J., Álvarez-Barreto, C. I., Bello-Pérez, L. A., Cortés-Rodríguez, M., & Hoyos-Leyva, J. D. (2019). Optimization of the Spray Drying Process of the Esterified Plantain Starch by Response Surface Methodology. *Starch - Stärke*, *71*(7–8). https://doi.org/10.1002/star.201800330

Chen, Q., Bi, J., Zhou, Y., Liu, X., Wu, X., & Chen, R. (2014). Multi-objective Optimization of Spray Drying of Jujube (Zizyphus jujuba Miller) Powder Using Response Surface Methodology. *Food and Bioprocess Technology*, *7*(6), 1807–1818. https://doi.org/10.1007/s11947-013-1171-z

Chen, X., Yang, G., Song, J.-H., Xu, H., Li, D., Goldsmith, J., Zeng, H., Parsons-Wingerter, P. A., Reinecker, H.-C., & Kelly, C. P. (2013). Probiotic Yeast Inhibits VEGFR Signaling and Angiogenesis in Intestinal Inflammation. *PLoS ONE*, *8*(5), e64227. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064227

Chmielewska, A., & Szajewska, H. (2010). Systematic review of randomised controlled trials: probiotics for functional constipation. *World Journal of Gastroenterology*, *16*(1), 69–75. https://doi.org/10.3748/wjg.v16.i1.69

Chugh, B., & Kamal-Eldin, A. (2020). Bioactive compounds produced by probiotics in food products. *Current Opinion in Food Science*, *32*, 76–82. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.02.003

Coelho, S. R., Lima, Í. A., Martins, M. L., Benevenuto Júnior, A. A., Torres Filho, R. de A., Ramos, A. de L. S., & Ramos, E. M. (2019). Application of Lactobacillus paracasei LPC02 and lactulose as a potential symbiotic system in the manufacture of dry-fermented sausage. *LWT*, *102*, 254–259. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.045

Colica, C., Avolio, E., Bollero, P., Costa de Miranda, R., Ferraro, S., Sinibaldi Salimei, P., De Lorenzo, A., & Di Renzo, L. (2017). Evidences of a New Psychobiotic Formulation on Body Composition and Anxiety. *Mediators of Inflammation*, *2017*, 1–10. https://doi.org/10.1155/2017/5650627

Cordeiro, B. F., Alves, J. L., Belo, G. A., Oliveira, E. R., Braga, M. P., da Silva, S. H., Lemos, L., Guimarães, J. T., Silva, R., Rocha, R. S., Jan, G., Le Loir, Y., Silva, M. C., Freitas, M. Q., Esmerino, E. A., Gala-García, A., Ferreira, E., Faria, A. M. C., Cruz, A. G., … do Carmo, F.

L. R. (2021). Therapeutic Effects of Probiotic Minas Frescal Cheese on the Attenuation of Ulcerative Colitis in a Murine Model. *Frontiers in Microbiology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.623920

Cortés-Rodríguez, M., Hernández, G., & Estrada M, E. M. (2017). OPTIMIZATION OF THE SPRAY DRYING PROCESS FOR OBTAINING CAPE GOOSEBERRY POWDER: AN INNOVATIVE AND PROMISING FUNCTIONAL FOOD. *Revista Vitae*, 59–67. https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v24n1a07

Dadhaneeya, H., Nayak, P. K., Saikia, D., Kondareddy, R., Ray, S., & Kesavan, R. krishnan. (2023). The impact of refractance window drying on the physicochemical properties and bioactive compounds of malbhog banana slice and pulp. *Applied Food Research*, *3*(1), 100279. https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100279

Dahdouh, L., Delalonde, M., Ricci, J., Ruiz, E., & Wisnewski, C. (2018). Influence of high shear rate on particles size, rheological behavior and fouling propensity of fruit juices during crossflow microfiltration: Case of orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *48*(March), 304–312. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.006

Day, L., Seymour, R. B., Pitts, K. F., Konczak, I., & Lundin, L. (2009). Incorporation of functional ingredients into foods. *Trends in Food Science and Technology*, *20*(9), 388–395. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.05.002

Daza, L. D., Fujita, A., Fávaro-Trindade, C. S., Rodrigues-Ract, J. N., Granato, D., & Genovese, M. I. (2016). Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (Eugenia dysenterica DC.) fruit extracts. *Food and Bioproducts Processing*, *97*, 20–29. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.10.001

de Oliveira, P. M., Leite Júnior, B. R. de C., Martins, E. M. F., Martins, M. L., Vieira, É. N. R., de Barros, F. A. R., Cristianini, M., de Almeida Costa, N., & Ramos, A. M. (2021). Mango and carrot mixed juice: a new matrix for the vehicle of probiotic lactobacilli. *Journal of Food Science and Technology*, *58*(1), 98–109. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04518-y

Di Stefano, E., White, J., Seney, S., Hekmat, S., McDowell, T., Sumarah, M., & Reid, G. (2017). A Novel Millet-Based Probiotic Fermented Food for the Developing World. *Nutrients*, *9*(5), 529. https://doi.org/10.3390/nu9050529

Diaz-Vela, J., Totosaus, A., Cruz-Guerrero, A. E., & de Lourdes Pérez-Chabela, M. (2013). *In vitro* evaluation of the fermentation of added-value agroindustrial by-products: cactus pear (*<scp>O</scp> puntia ficus-indica* <scp>L</scp> .) peel and pineapple (*<scp>A</scp> nanas comosus*) peel as functional ingredients. *International Journal of Food Science & Technology*, *48*(7), 1460–1467. https://doi.org/10.1111/ijfs.12113

Do, T. V. T., & Fan, L. (2019). Probiotic Viability, Qualitative Characteristics, and Sensory Acceptability of Vegetable Juice Mixture Fermented with

<i>Lactobacillus</i> Strains. *Food and Nutrition Sciences*, *10*(04), 412–427. https://doi.org/10.4236/fns.2019.104031

Donkor, O. N., Henriksson, A., Vasiljevic, T., & Shah, N. P. (2007). α-Galactosidase and proteolytic activities of selected probiotic and dairy cultures in fermented soymilk. *Food Chemistry*, *104*(1), 10–20. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.065

Dunne, C., Murphy, L., Flynn, S., O'Mahony, L., O'Halloran, S., Feeney, M., Morrissey, D., Thornton, G., Fitzgerald, G., Daly, C., Kiely, B., Quigley, E. M., O'Sullivan, G. C., Shanahan, F., & Collins, J. K. (1999). Probiotics: from myth to reality. Demonstration of functionality in animal models of disease and in human clinical trials. *Antonie van Leeuwenhoek*, *76*(1–4), 279–292. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10532384

Duru, K. C., Kovaleva, ElenaG., Danilova, IrinaG., & Belousova, AnnaV. (2019a). Production and assessment of novel probiotic fermented oat flour enriched with isoflavones. *LWT*, *111*, 9–15. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.102

Duru, K. C., Kovaleva, ElenaG., Danilova, IrinaG., & Belousova, AnnaV. (2019b). Production and assessment of novel probiotic fermented oat flour enriched with isoflavones. *LWT*, *111*, 9–15. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.102

Englyst, H. N., Kingman, S. M., & Cummings, J. H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, *46 Suppl 2*, S33-50.

Enujiugha, Victor. N., & Badejo, A. A. (2017). Probiotic potentials of cereal-based beverages. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(4), 790–804. https://doi.org/10.1080/10408398.2014.930018

Eraso-Grisales, S., Cortés-Rodríguez, M., Gallón-Bedoya, M., Herrera-Herrera, E., & Ortega-Toro, R. (2023a). A powdered mix of cape gooseberry-based pulp, seed, and peel: Optimization of formulation and spray-drying process. *Journal of Berry Research*, *13*(2), 107–120. https://doi.org/10.3233/JBR-220079

Eraso-Grisales, S., Cortés-Rodríguez, M., Gallón-Bedoya, M., Herrera-Herrera, E., & Ortega-Toro, R. (2023b). A powdered mix of cape gooseberry-based pulp, seed, and peel: Optimization of formulation and spray-drying process. *Journal of Berry Research*, *13*(2), 107–120. https://doi.org/10.3233/JBR-220079

Ermis, E. (2021). A review of drying methods for improving the quality of probiotic powders and characterization. *Drying Technology*, *0*(0), 1–18. https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1950169

Ermiş, E. (Ed.). (2021). *Food Powders Properties and Characterization*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48908-3

Espin, J. C., & Balberan, F. T. (2005). Alimentos funcionales (EUFIC). In *Constituyentes bioactivos no nutricionales de alimentos de origen vegetal y su aplicacion en alimentos funcionales.* http://www.eufic.org/article/es/expid/basics-alimentos-funcionales/

Espinosa Solis, V. (2012). *PROPIEDADES DE DIGESTIÓN DE ALMIDONES NATIVOS Y MODIFICADOS DE PLÁTANO Y MANGO*. https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13426/Tesis%202012%20Vicente%20Espinosa%20Solis.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Falcomer, A. L., Riquette, R. F. R., de Lima, B. R., Ginani, V. C., & Zandonadi, R. P. (2019). Health Benefits of Green Banana Consumption: A Systematic Review. *Nutrients*, *11*(6), 1222. https://doi.org/10.3390/nu11061222

FAO. (2022). *FAOSTAT - Crops and livestock products: Plantains and cooking bananas*. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize

FAO, E., & OMS, E. (2006). Probióticos en los alimentos Propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación. *Estudios FAO Alimentación y Nutrición*, *85*, 52. file:///C:/Users/Acer/Documents/paty/homework1/PROBIOTICOS OPS 2006.pdf

Fernández-Abascal, B., Suárez-Pinilla, P., Cobo-Corrales, C., Crespo-Facorro, B., & Suárez-Pinilla, M. (2021). In- and outpatient lifestyle interventions on diet and exercise and their effect on physical and psychological health: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials in patients with schizophrenia spectrum disorders and first episod. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *125*, 535–568. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.01.005

Ford, A. C., Quigley, E. M. M., Lacy, B. E., Lembo, A. J., Saito, Y. A., Schiller, L. R., Soffer, E. E., Spiegel, B. M. R., & Moayyedi, P. (2014). Efficacy of prebiotics, probiotics, and synbiotics in irritable bowel syndrome and chronic idiopathic constipation: systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Gastroenterology*, *109*(10), 1547–1562. https://doi.org/10.1038/ajg.2014.202

Franceschinis, L., Salvatori, D. M., Sosa, N., & Schebor, C. (2014). Physical and Functional Properties of Blackberry Freeze- and Spray-Dried Powders. *Drying Technology*, *32*(2), 197–207. https://doi.org/10.1080/07373937.2013.814664

Fustier, P., Taherian, A. R., & Ramaswamy, H. S. (2010). Emulsion Delivery Systems for Functional Foods. In *Functional Food Product Development* (pp. 79–97). Wiley-Blackwell. https://doi.org/10.1002/9781444323351.ch4

García-Tejeda, Y. V., Zamudio-Flores, P. B., Bello-Pérez, L. A., Romero-Bastida, C. A., & Solorza-Feria, J. (2011). OXIDACIÓN DEL ALMIDÓN NATIVO DE PLÁTANO PARA SU USO POTENCIAL EN LA FABRICACIÓN DE MATERIALES DE EMPAQUE BIODEGRADABLES: CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA, TÉRMICA Y

MORFOLÓGICA. In *Rev. Iberoam. Polim* (Vol. 12, Issue 3). https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/07/2011-garcia-tejana.pdf

Genovese, D. B., & Lozano, J. E. (2001). The effect of hydrocolloids on the stability and viscosity of cloudy apple juices. *Food Hydrocolloids*, *15*(1), 1–7. https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00053-9

Genovese, D. B., & Lozano, J. E. (2006). Contribution of colloidal forces to the viscosity and stability of cloudy apple juice. *Food Hydrocolloids*, *20*(6), 767–773. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.07.003

George Kerry, R., Patra, J. K., Gouda, S., Park, Y., Shin, H. S., & Das, G. (2018a). Benefaction of probiotics for human health: A review. *Journal of Food and Drug Analysis*, *26*(3), 927–939. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.01.002

George Kerry, R., Patra, J. K., Gouda, S., Park, Y., Shin, H.-S., & Das, G. (2018b). Benefaction of probiotics for human health: A review. *Journal of Food and Drug Analysis*, *26*(3), 927–939. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.01.002

Gibson, G. R., & Roberfroid, M. B. (1995). Dietary Modulation of the Human Colonic Microbiota: Introducing the Concept of Prebiotics. *The Journal of Nutrition*, *125*(6), 1401–1412. https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401

Giraldo-Gómez, G. I., Rodríguez-Barona, S., & Sanabria-González, N. R. (2019). Preparation of instant green banana flour powders by an extrusion process. *Powder Technology*, *353*, 437–443. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.05.050

Glaser, R., & Venus, J. (2014). Screening of Bacillus coagulans strains in lignin supplemented minimal medium with high throughput turbidity measurements. *Biotechnology Reports*, *4*, 60–65. https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.08.001

Glaser, R., & Venus, J. (2017). Model-based characterisation of growth performance and l-lactic acid production with high optical purity by thermophilic Bacillus coagulans in a lignin-supplemented mixed substrate medium. *New Biotechnology*, *37*, 180–193. https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.12.006

Goldenberg, J. Z., Lytvyn, L., Steurich, J., Parkin, P., Mahant, S., & Johnston, B. C. (2015). Probiotics for the prevention of pediatric antibiotic-associated diarrhea. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. https://doi.org/10.1002/14651858.CD004827.pub4

Golubeva, A. V., Crampton, S., Desbonnet, L., Edge, D., O'Sullivan, O., Lomasney, K. W., Zhdanov, A. V., Crispie, F., Moloney, R. D., Borre, Y. E., Cotter, P. D., Hyland, N. P., O'Halloran, K. D., Dinan, T. G., O'Keeffe, G. W., & Cryan, J. F. (2015). Prenatal stress-induced alterations in major physiological systems correlate with gut microbiota composition in adulthood. *Psychoneuroendocrinology*, *60*, 58–74. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2015.06.002

Gómez, A., Anaya, J., Rodríguez, G., Lechón, A., Perugachi, I., Velásquez, C., Carlos, S., Miniet, A., & Lascano, R. (2022). Glycemic effect of a functional pancake made from an instant oat mix. *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica*, *26*(3), 189–196. https://doi.org/10.14306/renhyd.26.3.1668

Granato, D., Branco, G. F., Nazzaro, F., Cruz, A. G., & Faria, J. A. F. (2010). Functional Foods and Nondairy Probiotic Food Development: Trends, Concepts, and Products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *9*(3), 292–302. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00110.x

Gray, G. M. (1992). Starch Digestion and Absorption in Nonruminants. *The Journal of Nutrition*, *122*(1), 172–177. https://doi.org/10.1093/jn/122.1.172

Grom, L. C., Rocha, R. S., Balthazar, C. F., Guimarães, J. T., Coutinho, N. M., Barros, C. P., Pimentel, T. C., Venâncio, E. L., Collopy Junior, I., Maciel, P. M. C., Silva, P. H. F., Granato, D., Freitas, M. Q., Esmerino, E. A., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2020). Postprandial glycemia in healthy subjects: Which probiotic dairy food is more adequate? *Journal of Dairy Science*, *103*(2), 1110–1119. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17401

Guandalini, S. (2011). Probiotics for Prevention and Treatment of Diarrhea. *Journal of Clinical Gastroenterology*, *45*, S149–S153. https://doi.org/10.1097/MCG.0b013e3182257e98

Gupta, M., & Bajaj, B. K. (2017). Development of fermented oat flour beverage as a potential probiotic vehicle. *Food Bioscience*, *20*, 104–109. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.08.007

Haffner, F. B., Diab, R., & Pasc, A. (2016). Encapsulation of probiotics: insights into academic and industrial approaches. *AIMS Materials Science*, *3*(1), 114–136. https://doi.org/10.3934/matersci.2016.1.114

Haider, C., & Palzer, S. (2016). Agglomeration in the Food Industry—A Result of Particle Contact Mechanisms. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21002-0

Handique, J., Bora, S. J., & Sit, N. (2019). Optimization of banana juice extraction using combination of enzymes. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(8), 3732–3743. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03845-z

Hernández-Santos, B., Martínez-Sánchez, C. E., Torruco-Uco, J. G., Rodríguez-Miranda, J., Ruiz-López, I. I., Vajando-Anaya, E. S., Carmona-García, R., & Herman-Lara, E. (2016). Evaluation of physical and chemical properties of carrots dried by Refractance Window drying. *Drying Technology*, *34*(12), 1414–1422. https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1118705

Hijová, E. (2022). Synbiotic Supplements in the Prevention of Obesity and Obesity-Related Diseases. In *Metabolites* (Vol. 12, Issue 4). MDPI. https://doi.org/10.3390/metabo12040313

Homsuwan, N., Pruksasri, S., & Ngampanya, B. (2023). Bacillus siamensis FVP1 as a potential probiotic for enhancing nutritional aspects of soybean meal. *International Journal of Food Science and Technology*, *58*(8), 4277–4287. https://doi.org/10.1111/ijfs.16527

Hou, H., Chen, D., Zhang, K., Zhang, W., Liu, T., Wang, S., Dai, X., Wang, B., Zhong, W., & Cao, H. (2022). Gut microbiota-derived short-chain fatty acids and colorectal cancer: Ready for clinical translation? *Cancer Letters*, *526*, 225–235. https://doi.org/10.1016/j.canlet.2021.11.027

Huang, S., Méjean, S., Rabah, H., Dolivet, A., Le Loir, Y., Chen, X. D., Jan, G., Jeantet, R., & Schuck, P. (2017). Double use of concentrated sweet whey for growth and spray drying of probiotics: Towards maximal viability in pilot scale spray dryer. *Journal of Food Engineering*, *196*, 11–17. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.10.017

Huq, T., Khan, A., Khan, R. A., Riedl, B., & Lacroix, M. (2013). Encapsulation of Probiotic Bacteria in Biopolymeric System. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *53*(9), 909–916. https://doi.org/10.1080/10408398.2011.573152

İçier, F., Gündüz, G. T., Yılmaz, B., & Memeli, Z. (2015a). Changes on some quality characteristics of fermented soy milk beverage with added apple juice. *LWT - Food Science and Technology*, *63*(1), 57–64. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.102

İçier, F., Gündüz, G. T., Yılmaz, B., & Memeli, Z. (2015b). Changes on some quality characteristics of fermented soy milk beverage with added apple juice. *LWT - Food Science and Technology*, *63*(1), 57–64. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.102

Iguarán, E. C., Triviño-Valencia, J., & Rodríguez-Barona, S. (2020). Effect of storage and stress conditions on the counts of Bifidobacterium animalis microencapsulated and incorporated in plantain flour. *Brazilian Journal of Food Technology*, *23*. https://doi.org/10.1590/1981-6723.25219

Instituto Colombiano Agropecuario. (2019). *Resolución 17334* (17334).

Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (2018). *Tabla de composición de alimentos colombianos*. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (1976). *Norma Técnica Colombiana [NTC] 1190*.

Iraporda, C., Rubel, I. A., Managó, N., Manrique, G. D., Garrote, G. L., & Abraham, A. G. (2022). Inulin addition improved probiotic survival in soy-based fermented beverage. *WORLD JOURNAL OF MICROBIOLOGY & BIOTECHNOLOGY*, *38*(8). https://doi.org/10.1007/s11274-022-03322-4

Ishwarya, S. P., & Anandharamakrishnan, C. (2015). Spray-Freeze-Drying approach for soluble coffee processing and its effect on quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, *149*, 171–180. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.10.011

Jalgaonkar, K., Mahawar, M. K., Vishwakarma, R. K., Shivhare, U. S., & Nambi, V. E. (2020). Optimization of process condition for preparation of sapota bar using Refractance window drying method. *Drying Technology*, *38*(3), 269–278. https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1482314

Janiszewska-Turak, E., Dellarosa, N., Tylewicz, U., Laghi, L., Romani, S., Dalla Rosa, M., & Witrowa-Rajchert, D. (2017). The influence of carrier material on some physical and structural properties of carrot juice microcapsules. *Food Chemistry*, *236*, 134–141. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.134

Kandylis, P., Pissaridi, K., Bekatorou, A., Kanellaki, M., & Koutinas, A. A. (2016). Dairy and non-dairy probiotic beverages. *Current Opinion in Food Science*, *7*, 58–63. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.11.012

Karagül, Ö., & EL, S. N. (2024). Cereal-based fermented synbiotic instant powders: a dessert practice. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *60*(4), 571–579. https://doi.org/10.20289/zfdergi.1336843

Kareem, S. O., Adio, O. Q., & Osho, M. B. (2014). Immobilization of Aspergillus niger F7-02 Lipase in Polysaccharide Hydrogel Beads of Irvingia gabonensis Matrix. *Enzyme Research*, *2014*, 1–7. https://doi.org/10.1155/2014/967056

Katina, K., Liukkonen, K.-H., Kaukovirta-Norja, A., Adlercreutz, H., Heinonen, S.-M., Lampi, A.-M., Pihlava, J.-M., & Poutanen, K. (2007). Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye. *Journal of Cereal Science*, *46*(3), 348–355. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.07.006

Kelly, G. S. (2003). Bovine colostrums: a review of clinical uses. *Alternative Medicine Review : A Journal of Clinical Therapeutic*, *8*(4), 378–394.

Kelly, J. R., Borre, Y., O' Brien, C., Patterson, E., El Aidy, S., Deane, J., Kennedy, P. J., Beers, S., Scott, K., Moloney, G., Hoban, A. E., Scott, L., Fitzgerald, P., Ross, P., Stanton, C., Clarke, G., Cryan, J. F., & Dinan, T. G. (2016). Transferring the blues: Depression-associated gut microbiota induces neurobehavioural changes in the rat. *Journal of Psychiatric Research*, *82*, 109–118. https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2016.07.019

Khalesi, S., Sun, J., Buys, N., & Jayasinghe, R. (2014). Effect of probiotics on blood pressure: A systematic review and meta-analysis of randomized, controlled trials. *Hypertension*, *64*(4), 897–903. https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.114.03469

Kingwatee, N., Apichartsrangkoon, A., Chaikham, P., Worametrachanon, S., Techarung, J., & Pankasemsuk, T. (2015). Spray drying Lactobacillus casei 01 in lychee juice varied carrier

materials. *LWT - Food Science and Technology*, *62*(1), 847–853. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.007

Kober, M.-M., & Bowe, W. P. (2015). The effect of probiotics on immune regulation, acne, and photoaging. *International Journal of Women's Dermatology*, *1*(2), 85–89. https://doi.org/10.1016/j.ijwd.2015.02.001

Koç, B., Sakin-Yılmazer, M., Kaymak-Ertekin, F., & Balkır, P. (2014). Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(7), 1377–1383. https://doi.org/10.1007/s13197-012-0653-8

Krumbeck, J. A., Maldonado-Gomez, M. X., Martínez, I., Frese, S. A., Burkey, T. E., Rasineni, K., Ramer-Tait, A. E., Harris, E. N., Hutkins, R. W., & Walter, J. (2015). In vivo selection to identify bacterial strains with enhanced ecological performance in synbiotic applications. *Applied and Environmental Microbiology*, *81*(7), 2455–2465. https://doi.org/10.1128/AEM.03903-14

Kumar, B., Vijayendra, S. V. N., & Reddy, O. V. S. (2015). Trends in dairy and non-dairy probiotic products - a review. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(10), 6112–6124. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1795-2

Kumar, H., Dhalaria, R., Guleria, S., Cimler, R., Choudhary, R., Dhanjal, D. S., Singh, R., Kimta, N., Dulta, K., Pathera, A. K., Khan, A., Nausad, M., Alomar, S. Y., Manickam, S., & Kuča, K. (2023). To exploring the role of probiotics, plant-based fermented products, and paraprobiotics as anti-inflammatory agents in promoting human health. *Journal of Agriculture and Food Research*, *14*, 100896. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100896

Kumar, P. S., Saravanan, A., Sheeba, N., & Uma, S. (2019). Structural, functional characterization and physicochemical properties of green banana flour from dessert and plantain bananas (Musa spp.). *LWT*, *116*, 108524. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108524

Kumar, P. S., Thayumanavan, S., Pushpavalli, S., Saraswathi, M. S., Backiyarani, S., Mohanasundaram, A., & Uma, S. (2023). Comparing physico-chemical characteristics, antioxidant properties, glycemic response, and volatile profiles of eleven banana varieties. *International Journal of Food Science & Technology*, *58*(6), 2893–2908. https://doi.org/10.1111/ijfs.16392

Kumar, S., Rattu, G., Mitharwal, S., Chandra, A., Kumar, S., Kaushik, A., Mishra, V., & Nema, P. K. (2022). Trends in non-dairy-based probiotic food products: Advances and challenges. *Journal of Food Processing and Preservation*, *46*(9). https://doi.org/10.1111/jfpp.16578

Lacerda, E. C. Q., Calado, V. M. de A., Monteiro, M., Finotelli, P. V., Torres, A. G., & Perrone, D. (2016). Starch, inulin and maltodextrin as encapsulating agents affect the quality and stability of jussara pulp microparticles. *Carbohydrate Polymers*, *151*, 500–510. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.093

Laksmi Suryaatmadja Jenie, B. S., Yusup Saputra, M., & Widaningrum, dan. (2013). SENSORY EVALUATION AND SURVIVAL OF PROBIOTICS IN MODIFIED BANANA FLOUR YOGHURT DURING STORAGE. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, *24*(1), 40–47. https://doi.org/10.6066/jtip.2013.24.1.40

Lamiki, P., Tsuchiya, J., Pathak, S., Okura, R., Solimene, U., Jain, S., Kawakita, S., & Marotta, F. (2010). Probiotics in diverticular disease of the colon: an open label study. *Journal of Gastrointestinal and Liver Diseases : JGLD*, *19*(1), 31–36. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20361072

Lapsiri, W., Bhandari, B., & Wanchaitanawong, P. (2012). Viability of Lactobacillus plantarum TISTR 2075 in Different Protectants during Spray Drying and Storage. *Drying Technology*, *30*(13), 1407–1412. https://doi.org/10.1080/07373937.2012.684226

Le Leu, R. K., Hu, Y., Brown, I. L., Woodman, R. J., & Young, G. P. (2010). Synbiotic intervention of Bifidobacterium lactis and resistant starch protects against colorectal cancer development in rats. *Carcinogenesis*, *31*(2), 246–251. https://doi.org/10.1093/carcin/bgp197

Lee, A., Cheng, K.-C., & Liu, J.-R. (2017). Isolation and characterization of a Bacillus amyloliquefaciens strain with zearalenone removal ability and its probiotic potential. *PLOS ONE*, *12*(8), e0182220. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182220

Lee, N., Park, Y.-S., Kang, D.-K., & Paik, H.-D. (2023). Paraprobiotics: definition, manufacturing methods, and functionality. *Food Science and Biotechnology*, *32*(14), 1981–1991. https://doi.org/10.1007/s10068-023-01378-y

Liu, Liong, Chung, Huang, Peng, Cheng, Lin, Wu, & Tsai. (2019). Effects of Lactobacillus plantarum PS128 on Children with Autism Spectrum Disorder in Taiwan: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial. *Nutrients*, *11*(4), 820. https://doi.org/10.3390/nu11040820

Long-Smith, C., O'Riordan, K. J., Clarke, G., Stanton, C., Dinan, T. G., & Cryan, J. F. (2020). Microbiota-Gut-Brain Axis: New Therapeutic Opportunities. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, *60*(1), 477–502. https://doi.org/10.1146/annurev-pharmtox-010919-023628

Lopetuso, L. R., Giorgio, M. E., Saviano, A., Scaldaferri, F., Gasbarrini, A., & Cammarota, G. (2019). Bacteriocins and Bacteriophages: Therapeutic Weapons for Gastrointestinal Diseases? *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(1), 183. https://doi.org/10.3390/ijms20010183

López-Esparza, R., Balderas Altamirano, M. A., Pérez, E., & Gama Goicochea, A. (2015). Importance of Molecular Interactions in Colloidal Dispersions. *Advances in Condensed Matter Physics*, *2015*, 1–8. https://doi.org/10.1155/2015/683716

Louis, P., Hold, G. L., & Flint, H. J. (2014). The gut microbiota, bacterial metabolites and colorectal cancer. *Nature Reviews Microbiology*, *12*(10), 661–672. https://doi.org/10.1038/nrmicro3344

Mahanti, N. K., Chakraborty, S. K., Sudhakar, A., Verma, D. K., Shankar, S., Thakur, M., Singh, S., Tripathy, S., Gupta, A. K., & Srivastav, P. P. (2021). Refractance WindowTM-Drying vs. other drying methods and effect of different process parameters on quality of foods: A comprehensive review of trends and technological developments. *Future Foods*, *3*, 100024. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100024

Mäkeläinen, H., Saarinen, M., Stowell, J., Rautonen, N., & Ouwehand, A. (2010). Xylo-oligosaccharides and lactitol promote the growth of *Bifidobacterium lactis* and *Lactobacillus* species in pure cultures. *Beneficial Microbes*, *1*(2), 139–148. https://doi.org/10.3920/BM2009.0029

Malfa, G. A., Di Giacomo, C., Cardia, L., Sorbara, E. E., Mannucci, C., & Calapai, G. (2021a). A standardized extract of <scp> *Opuntia ficus-indica* </scp> (L.) Mill and <scp> *Olea europaea* </scp> L. improves gastrointestinal discomfort: A <scp>double-blinded randomized-controlled</scp> study. *Phytotherapy Research*, ptr.7074. https://doi.org/10.1002/ptr.7074

Malfa, G. A., Di Giacomo, C., Cardia, L., Sorbara, E. E., Mannucci, C., & Calapai, G. (2021b). A standardized extract of <scp> *Opuntia ficus-indica* </scp> (L.) Mill and <scp> *Olea europaea* </scp> L. improves gastrointestinal discomfort: A <scp>double-blinded randomized-controlled</scp> study. *Phytotherapy Research*, ptr.7074. https://doi.org/10.1002/ptr.7074

Mandale, N. M., Attkan, A. K., Kumar, S., & Kumar, N. (2023). Drying kinetics and quality assessment of refractance window dried beetroot. *Journal of Food Process Engineering*, *46*(7). https://doi.org/10.1111/jfpe.14332

Manderino, L., Carroll, I., Azcarate-Peril, M. A., Rochette, A., Heinberg, L., Peat, C., Steffen, K., Mitchell, J., & Gunstad, J. (2017). Preliminary Evidence for an Association Between the Composition of the Gut Microbiome and Cognitive Function in Neurologically Healthy Older Adults. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *23*(8), 700–705. https://doi.org/10.1017/S1355617717000492

Mangiola, F. (2016). Gut microbiota in autism and mood disorders. *World Journal of Gastroenterology*, *22*(1), 361. https://doi.org/10.3748/wjg.v22.i1.361

Mantzourani, I., Kazakos, S., Terpou, A., Alexopoulos, A., Bezirtzoglou, E., Bekatorou, A., & Plessas, S. (2018). Potential of the Probiotic Lactobacillus Plantarum ATCC 14917 Strain to Produce Functional Fermented Pomegranate Juice. *Foods*, *8*(1), 4. https://doi.org/10.3390/foods8010004

Marín-Arango, Z. T., Cortés R., M., Gil G., J., & Agudelo-Laverde, L. M. (2023). Biofortified andean blackberry (rubus glaucus benth) powder with Lacticaseibacillus casei: process and formulation effects. *F1000Research*, *12*, 479. https://doi.org/10.12688/f1000research.132767.1

Martinez Pantoja, D. F., Acosta Castaño, M., Alvarez Barreto, C. I., & Castellanos Galeano, F. J. (2022). Fritura por inmersión al vacío de rodajas de plátano verde con recubrimientos

comestibles. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, *25*(1), 14. https://doi.org/10.25100/iyc.v25i1.11970

Martínez-Navarrete, N., Andrés Grau, A., Chiralt Boix, A., & Fito Maupoey, P. (1998). *Termodinámica y cinética de sistemas alimento-entorno*. Universidad Politécnica de Valencia.

Martins, E. M. F., Ramos, A. M., Vanzela, E. S. L., Stringheta, P. C., de Oliveira Pinto, C. L., & Martins, J. M. (2013). Products of vegetable origin: A new alternative for the consumption of probiotic bacteria. *Food Research International*, *51*(2), 764–770. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.047

Melo Sabogal, D. V., Torres Grisales, Y., Serna jiménez, J. A., & Torres Valenzuela, L. S. (2015). APROVECHAMIENTO DE PULPA Y CÁSCARA DE PLÁTANO(Musa paradisiaca spp) PARA LA OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINA. *Biotecnoloía En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *13*(2), 76. https://doi.org/10.18684/BSAA(13)76-85

Mendes, A. C., & Chronakis, I. S. (2021). Electrohydrodynamic encapsulation of probiotics: A review. *Food Hydrocolloids*, *117*, 106688. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106688

Metchnikoff, E. (1910). *The Prolongation of Life: Optimistic Studies* (P. C. Mitchell, Ed.). G P Putnam's Sons.

Michail, S. K., Stolfi, A., Johnson, T., & Onady, G. M. (2008). Efficacy of probiotics in the treatment of pediatric atopic dermatitis: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, *101*(5), 508–516. https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)60290-6

Min, M., Bunt, C. R., Mason, S. L., & Hussain, M. A. (2019a). Non-dairy probiotic food products: An emerging group of functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *59*(16), 2626–2641. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1462760

Min, M., Bunt, C. R., Mason, S. L., & Hussain, M. A. (2019b). Non-dairy probiotic food products: An emerging group of functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *59*(16), 2626–2641. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1462760

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017). *Evaluaciones agropecuarias municipales: plátano*.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Cadena de plátano. Dirección de cadenas agrícolas y forestales Junio 2021*.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2021). *Resolución 810*.

Mitharwal, S., Kumar, S., & Chauhan, K. (2021a). Nutritional, polyphenolic composition and in vitro digestibility of finger millet (Eleusine coracana L.) with its potential food applications: A review. *Food Bioscience*, *44*, 101382. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101382

Mitharwal, S., Kumar, S., & Chauhan, K. (2021b). Nutritional, polyphenolic composition and in vitro digestibility of finger millet (Eleusine coracana L.) with its potential food applications: A review. *Food Bioscience*, *44*, 101382. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101382

Montoya, J. (2020). *Formulación de una matriz alimentaria a base de harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) para el diseño de alimentos funcionales libres de gluten*. 1–217. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78569

Montoya, J., Rodriguez-Barona, S., & Giraldo, G. (2016). CARACTERISITICAS FISICOQUÍMICAS DE LA HARINA DE PLÁTANO (Musa Paradisiaca) DOMINICO HARTON Y HARINA DE TRIGO COMERCIAL CON TENDENCIAS FUNCIONALES. *Vitae*, *23*, 396–399.

Mujumdar, A. S., & Xiao, H.-W. (2019). *Advanced Drying Technologies for Foods* (CRC Press). Taylor & Francis Group. https://cloudflare-ipfs.com/ipfs/bafykbzacedi3guxgccvbjaqaltnkgyetubxd7gizgn4ty4s4z545jreyjpwpo?filename=Arun S Mujumdar %28Editor%29_ Hong-Wei Xiao %28Editor%29 - Advanced Drying Technologies for Foods-CRC Press %282019%29.pdf

Muyonga, J. H., Natocho, J., Kigozi, J., Baidhe, E., & Nansereko, S. (2022). Drying behaviour and optimization of drying conditions of pineapple puree and slices using refractance window drying technology. *Journal of Food Science and Technology*, *59*(7), 2794–2803. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05302-2

Nakamura, F., Ishida, Y., Aihara, K., Sawada, D., Ashida, N., Sugawara, T., Aoki, Y., Takehara, I., Takano, K., & Fujiwara, S. (2016). Effect of fragmented *Lactobacillus amylovorus* CP1563 on lipid metabolism in overweight and mildly obese individuals: a randomized controlled trial. *Microbial Ecology in Health & Disease*, *27*(0). https://doi.org/10.3402/mehd.v27.30312

Naseribafrouei, A., Hestad, K., Avershina, E., Sekelja, M., Linløkken, A., Wilson, R., & Rudi, K. (2014). Correlation between the human fecal microbiota and depression. *Neurogastroenterology & Motility*, *26*(8), 1155–1162. https://doi.org/10.1111/nmo.12378

Nguyen, T. D. T., Kang, J. H., & Lee, M. S. (2007). Characterization of Lactobacillus plantarum PH04, a potential probiotic bacterium with cholesterol-lowering effects. *International Journal of Food Microbiology*, *113*(3), 358–361. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.08.015

Nindo, C. I., & Tang, J. (2007). Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. *Drying Technology*, *25*(1), 37–48. https://doi.org/10.1080/07373930601152673

Ninkov, A., Frank, J. R., & Maggio, L. A. (2021). Bibliometrics: Methods for studying academic publishing. *Perspectives on Medical Education*, *11*(3), 173–176. https://doi.org/10.1007/S40037-021-00695-4

Nunes, G. L., Motta, M. H., Cichoski, A. J., Wagner, R., Muller, É. I., Codevilla, C. F., da Silva, C. D. B., & de Menezes, C. R. (2018). Encapsulation of lactobacillus acidophilus la-5 and bifidobacterium bb-12 by spray drying and evaluation of its resistance in simulated gastrointestinal conditions, thermal treatments and storage conditions. *Ciencia Rural*, *48*(6), 1–11. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180035

Nuñez, H., Jaques, A., Belmonte, K., Elitin, J., Valdenegro, M., Ramírez, C., & Córdova, A. (2024). Development of an Apple Snack Enriched with Probiotic Lacticaseibacillus rhamnosus: Evaluation of the Refractance Window Drying Process on Cell Viability. *Foods*, *13*(11), 1756. https://doi.org/10.3390/foods13111756

Ochoa-Martínez, C. I., Quintero, P. T., Ayala, A. A., & Ortiz, M. J. (2012). Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window^{TM} technique. *Journal of Food Engineering*, *109*(1), 69–75. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.032

Ocoró-Zamora, M. U., & Ayala-Aponte, A. A. (2013). Influencia del espesor en secado de puré de papaya (Carica papaya L.) por tecnología de ventana de refractanciaspi®. *DYNA (Colombia)*, *80*(182), 147–154.

Ohkawara, S., Furuya, H., Nagashima, K., Asanuma, N., & Hino, T. (2005). Oral Administration of Butyrivibrio fibrisolvens, a Butyrate-Producing Bacterium, Decreases the Formation of Aberrant Crypt Foci in the Colon and Rectum of Mice. *The Journal of Nutrition*, *135*(12), 2878–2883. https://doi.org/10.1093/jn/135.12.2878

Olivares, A., Soto, C., Caballero, E., & Altamirano, C. (2019). Survival of microencapsulated Lactobacillus casei (prepared by vibration technology) in fruit juice during cold storage. *Electronic Journal of Biotechnology*, *42*, 42–48. https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.10.002

Olugbuyi, A. O., Malomo, S. A., Ijarotimi, O. S., & Fagbemi, T. N. (2023). Amino Acids Profile,Glyceamic Index/load, *In-vitro* Antioxidant and Sensory Attributes of Optimized Dough Meal from the Blends of Plantain, Soycake and Rice-bran Flours. *Journal of Culinary Science & Technology*, *21*(5), 795–817. https://doi.org/10.1080/15428052.2021.2016530

Oluwajuyitan, T. D., & Ijarotimi, O. S. (2019). Nutritional, antioxidant, glycaemic index and Antihyperglycaemic properties of improved traditional plantain-based (Musa AAB) dough meal enriched with tigernut (Cyperus esculentus) and defatted soybean (Glycine max) flour for diabetic patients. *Heliyon*, *5*(4), e01504. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01504

Olveira, G., & González-Molero, I. (2016). Actualización de probióticos, prebióticos y simbióticos en nutrición clínica. *Endocrinología y Nutrición*, *63*(9), 482–494. https://doi.org/10.1016/j.endonu.2016.07.006

Organización Mundial de Gastroenterología. (2023). *Directrices mundiales de la Organización Mundial de Gastroenterología*. https://www.worldgastroenterology.org/UserFiles/file/guidelines/probiotics-and-prebiotics-spanish-2023.pdf

Ormaza-Zapata, Á. M., Días-Arango, F. O., & Rodríguez-Barona, S. (2019). EVALUATION OF PROBIOTIC MICROENCAPSULATION IN A PREBIOTIC WITH COFFEE EXTRACT. *Coffe Science*, *14*(3), 394–406.

Ortega-Rivas, E., Yang, H., Juliano, P., & Barbosa-Canovas, G. V. (2005). *Food Powders: Physical properties, processing and functionality* (Springer Science & Business Media, Ed.). Springer US. https://doi.org/10.1007/0-387-27613-0

Ortiz-Jerez, M. J., & Ochoa-Martínez, C. I. (2015). Heat Transfer Mechanisms in Conductive Hydro-Drying of Pumpkin (Cucurbita maxima) Pieces. *Drying Technology*, *33*(8), 965–972. https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1009538

Ouwehand, A. C., Salminen, S., & Isolauri, E. (2002). Probiotics: an overview of beneficial effects. *Antonie van Leeuwenhoek*, *82*(1–4), 279–289.

Ovando-Martinez, M., Sáyago-Ayerdi, S., Agama-Acevedo, E., Goñi, I., & Bello-Pérez, L. A. (2009). Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. *Food Chemistry*, *113*(1), 121–126. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.035

Ozuna, L. E. (1992). *Elaboración de puré de plátano por un método alternativo* [Master's degree]. Universidad de Sonora.

Padhi, S., & Dwivedi, M. (2022). Physico-chemical, structural, functional and powder flow properties of unripe green banana flour after the application of Refractance window drying. *Future Foods*, *5*, 100101. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100101

Padhi, S., Murakonda, S., & Dwivedi, M. (2022). Investigation of drying characteristics and nutritional retention of unripe green banana flour by refractance window drying technology using statistical approach. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *16*(3), 2375–2385. https://doi.org/10.1007/s11694-022-01349-7

Pallares Pallares, A., Estupiñán A, M. R., Perea Villamil, J. A., & López Giraldo, L. J. (2017). Impacto de la fermentación y secado sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante del clon de cacao CCN-51. *Revista ION*, *29*(2), 7–21. https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016001

Pandey, Kavita. R., Naik, Suresh. R., & Vakil, Babu. V. (2015). Probiotics, prebiotics and synbiotics- a review. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(12), 7577–7587. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1921-1

Panghal, A., Janghu, S., Virkar, K., Gat, Y., Kumar, V., & Chhikara, N. (2018a). Potential non-dairy probiotic products – A healthy approach. *Food Bioscience*, *21*, 80–89. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.12.003

Panghal, A., Janghu, S., Virkar, K., Gat, Y., Kumar, V., & Chhikara, N. (2018b). Potential non-dairy probiotic products – A healthy approach. *Food Bioscience*, *21*, 80–89. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.12.003

Pavan, M. A., Schmidt, S. J., & Feng, H. (2012). Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, Refractance Window-dried and hot-air dried açaí (Euterpe oleracea Martius) juice. *LWT - Food Science and Technology*, *48*(1), 75–81. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.024

Pedersen, L. L., Owusu-Kwarteng, J., Thorsen, L., & Jespersen, L. (2012). Biodiversity and probiotic potential of yeasts isolated from Fura, a West African spontaneously fermented cereal. *International Journal of Food Microbiology*, *159*(2), 144–151. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.08.016

Pereira, A. L. F., Maciel, T. C., & Rodrigues, S. (2011). Probiotic beverage from cashew apple juice fermented with Lactobacillus casei. *Food Research International*, *44*(5), 1276–1283. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.035

Perricone, M., Bevilacqua, A., Corbo, M. R., & Sinigaglia, M. (2014). Technological characterization and probiotic traits of yeasts isolated from Altamura sourdough to select promising microorganisms as functional starter cultures for cereal-based products. *Food Microbiology*, *38*, 26–35. https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.08.006

Playne, M. J., Bennett, L. E., & Smithers, G. W. (2003). Functional dairy foods and ingredients. *Australian Journal of Dairy Technology*, *58*(3), 242.

Powthong, P., Jantrapanukorn, B., Suntornthiticharoen, P., & Laohaphatanalert, K. (2020). Study of prebiotic properties of selected banana species in Thailand. *Journal of Food Science and Technology*, *57*(7), 2490–2500. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04284-x

Prado, F. C., Parada, J. L., Pandey, A., & Soccol, C. R. (2008). Trends in non-dairy probiotic beverages. *Food Research International*, *41*(2), 111–123. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.10.010

Quigley, E. M. M. (2010). Prebiotics and probiotics; modifying and mining the microbiota. *Pharmacological Research*, *61*(3), 213–218. https://doi.org/10.1016/j.phrs.2010.01.004

Rajoriya, D., Shewale, S. R., & Hebbar, H. U. (2019). Refractance Window Drying of Apple Slices: Mass Transfer Phenomena and Quality Parameters. *Food and Bioprocess Technology*, *12*(10), 1646–1658. https://doi.org/10.1007/s11947-019-02334-7

Ramani, R., & Ramani, V. (2018). PROBIOTIC MICROENCAPSULATION TECHNIQUES AND COATING MATERIALS: EBSCOhost. *International Journal of Probiotics & Prebiotics*, *13*(4), 161–168. https://web-b-ebscohost-com.wdg.biblio.udg.mx:8443/ehost/detail/detail?vid=0&sid=363953fd-8220-475d-8972-2b57009c5f10%40sessionmgr103&bdata=JnNpdGU9ZWhvc3QtbGl2ZQ%3D%3D#AN=133492672&db=fsr

Rashidinejad, A., Bahrami, A., Rehman, A., Rezaei, A., Babazadeh, A., Singh, H., & Jafari, S. M. (2020). Co-encapsulation of probiotics with prebiotics and their application in functional/synbiotic dairy products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *0*(0), 1–25. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1854169

Rattanaprasert, M., Roos, S., Hutkins, R. W., & Walter, J. (2014). Quantitative evaluation of synbiotic strategies to improve persistence and metabolic activity of Lactobacillus reuteri DSM 17938 in the human gastrointestinal tract. *Journal of Functional Foods*, *10*, 85–94. https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.05.017

Rayo, L. M., Chaguri e Carvalho, L., Sardá, F. A. H., Dacanal, G. C., Menezes, E. W., & Tadini, C. C. (2015). Production of instant green banana flour (Musa cavendischii, var. Nanicão) by a pulsed-fluidized bed agglomeration. *LWT - Food Science and Technology*, *63*(1), 461–469. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.059

Reis, J. M. C. dos, Pinheiro, M. F., Oti, A. T., Feitosa-Junior, D. J. S., Pantoja, M. de S., & Barros, R. S. M. (2016). TECHNOLOGICAL INFORMATION REGARDING PREBIOTICS AND PROBIOTICS NUTRITION VERSUS THE PATENT REGISTERS: WHAT IS NEW? *ABCD. Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva (São Paulo)*, *29*(4), 279–281. https://doi.org/10.1590/0102-6720201600040016

Rivera-Espinoza, Y., & Gallardo-Navarro, Y. (2010). Non-dairy probiotic products. *Food Microbiology*, *27*(1), 1–11. https://doi.org/10.1016/j.fm.2008.06.008

Rodrigues, F. J., Cedran, M. F., Bicas, J. L., & Sato, H. H. (2020). Encapsulated probiotic cells: Relevant techniques, natural sources as encapsulating materials and food applications – A narrative review. In *Food Research International* (Vol. 137). https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109682

Rodríguez de Olmos, A., Garro, O. A., & Garro, M. S. (2022). Behavior study of Bifidobacterium longum using solid state fermentation from commercial soybean meal. *LWT*, *157*, 113101. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113101

Rodríguez-Barona, S., Giraldo, G. I., & Montes, L. M. (2016). Encapsulación De Alimentos Probióticos Mediante Liofilización En Presencia De Prebióticos. *Informacion Tecnologica*, *27*(6), 135–144. https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000600014

Rodríguez-Barona, S., Giraldo, G. I., & Zuluaga, Y. P. (2015). Evaluación de la Incorporación de Fibra Prebiótica sobre la Viabilidad de LactobaciHus casei Impregnado en Matrices de Mora (Rubus glaucus). *Información Tecnológica*, *26*(5), 25–34. https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000500005

Rodríguez-Barona, S., Granada-Orozco, J., & Cruz-Ríos, D. (2014a). Comparación de sacarosa, inulina y fructo-oligosacáridos como agente4 osmóticos en mora de castilla (Rubus glaucus Benth.). *Acta Horticulturae*, *1016*, 47–51. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1016.4

Rodríguez-Barona, S., Granada-Orozco, J., & Cruz-Ríos, D. (2014b). COMPARACIÓN DE SACAROSA, INULINA Y FRUCTO-OLIGOSACÁRIDOS COMO AGENTES OSMÓTICOS EN MORA DE CASTILLA (RUBUS GLAUCUS BENTH.) -COMPARISON OF SUCROSE, INULIN AND FRUCTO-OLIGOSACCHARIDES AS OSMOTIC AGENTS IN THE ANDEAN BLACKBERRY (RUBUS GLAUCUS BENTH.). *Acta Horticulturae*, *1016*, 47–51. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1016.4

Rodríguez-Barona, S., Montes, L. M., & Ramírez, D. de J. (2012). Microencapsulación De Probióticos Mediante Secado Por Aspersión En Presencia De Prebióticos. *Vitae*, *19*(1), S186–S188.

Rodríguez-Restrepo, Y. A., Giraldo, G. I., & Rodríguez-Barona, S. (2017a). Solubility as a fundamental variable in the characterization of wall material by spray drying of food components: Application to microencapsulation of Bifidobacterium animalis subsp. lactis. *Journal of Food Process Engineering*, *40*(6), 1–8. https://doi.org/10.1111/jfpe.12557

Rodríguez-Restrepo, Y. A., Giraldo, G. I., & Rodríguez-Barona, S. (2017b). Solubility as a fundamental variable in the characterization of wall material by spray drying of food components: Application to microencapsulation of Bifidobacterium animalis subsp. lactis. *Journal of Food Process Engineering*, *40*(6), e12557. https://doi.org/10.1111/jfpe.12557

Romeo, J., Nova, E., Wärnberg, J., Gómez-Martínez, S., Díaz Ligia, L. E., & Marcos, A. (2010). Immunomodulatory effect of fibres, probiotics and synbiotics in different life-stages. *Nutricion Hospitalaria*, *25*(3), 341–349.

Rostami, H., Dehnad, D., Jafari, S. M., & Tavakoli, H. R. (2018). Evaluation of physical, rheological, microbial, and organoleptic properties of meat powder produced by Refractance Window drying. *Drying Technology*, *36*(9), 1076–1085. https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1377224

Rowland, I., Gibson, G., Heinken, A., Scott, K., Swann, J., Thiele, I., & Tuohy, K. (2018). Gut microbiota functions: metabolism of nutrients and other food components. *European Journal of Nutrition*, *57*(1), 1–24. https://doi.org/10.1007/s00394-017-1445-8

Rubio, R., Aymerich, T., Bover-Cid, S., Guàrdia, M. D., Arnau, J., & Garriga, M. (2013). Probiotic strains Lactobacillus plantarum 299V and Lactobacillus rhamnosus GG as starter cultures for fermented sausages. *LWT - Food Science and Technology*, *54*(1), 51–56. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.014

Rwubuzizi, R., Kim, H., Holzapfel, W. H., & Todorov, S. D. (2023). Beneficial, safety, and antioxidant properties of lactic acid bacteria: A next step in their evaluation as potential probiotics. *Heliyon*, *9*(4), e15610. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15610

Salari, M., Razavi, S. H., & Gharibzahedi, S. M. T. (2015). Characterising the synbiotic beverages based on barley and malt flours fermented by Lactobacillus *delbrueckii* and *paracasei* strains.

Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, *7*(3), 355–361. https://doi.org/10.3920/QAS2013.0390

Salazar, B. C., Cortés, M., & Montoya, O. I. (2015). The impact of storage conditions on the stability of sugarcane powder biofortified with kefir grains. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *68*(2), 7703–7712. https://doi.org/10.15446/rfnam.v68n2.50987

Sampson, T. R., Debelius, J. W., Thron, T., Janssen, S., Shastri, G. G., Ilhan, Z. E., Challis, C., Schretter, C. E., Rocha, S., Gradinaru, V., Chesselet, M.-F., Keshavarzian, A., Shannon, K. M., Krajmalnik-Brown, R., Wittung-Stafshede, P., Knight, R., & Mazmanian, S. K. (2016). Gut Microbiota Regulate Motor Deficits and Neuroinflammation in a Model of Parkinson's Disease. *Cell*, *167*(6), 1469-1480.e12. https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.11.018

Santos, S. de J. L., Canto, H. K. F., da Silva, L. H. M., & Rodrigues, A. M. da C. (2022). Characterization and properties of purple yam (Dioscorea trifida) powder obtained by refractance window drying. *Drying Technology*, *40*(6), 1103–1113. https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1847140

Sarkar, A., Lehto, S. M., Harty, S., Dinan, T. G., Cryan, J. F., & Burnet, P. W. J. (2016). Psychobiotics and the Manipulation of Bacteria–Gut–Brain Signals. *Trends in Neurosciences*, *39*(11), 763–781. https://doi.org/10.1016/j.tins.2016.09.002

Savassi, B., Cordeiro, B. F., Silva, S. H., Oliveira, E. R., Belo, G., Figueiroa, A. G., Alves Queiroz, M. I., Faria, A. M. C., Alves, J., Silva, T. F. da, Campos, G. M., Esmerino, E. A., Rocha, R. S., Freitas, M. Q., Silva, M. C., Cruz, A. G., Vital, K. D., Fernandes, S. O. A., Cardoso, V. N., … Azevedo, V. (2021). Lyophilized Symbiotic Mitigates Mucositis Induced by 5-Fluorouracil. *Frontiers in Pharmacology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fphar.2021.755871

Savlak, N., Türker, B., & Yeşilkanat, N. (2016). Effects of particle size distribution on some physical, chemical and functional properties of unripe banana flour. *Food Chemistry*, *213*, 180–186. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.064

Sawicki, C., McKay, D., McKeown, N., Dallal, G., Chen, C., & Blumberg, J. (2016). Phytochemical Pharmacokinetics and Bioactivity of Oat and Barley Flour: A Randomized Crossover Trial. *Nutrients*, *8*(12), 813. https://doi.org/10.3390/nu8120813

Schepper, J. D., Irwin, R., Kang, J., Dagenais, K., Lemon, T., Shinouskis, A., Parameswaran, N., & McCabe, L. R. (2017). *Probiotics in Gut-Bone Signaling* (pp. 225–247). https://doi.org/10.1007/978-3-319-66653-2_11

Seth, D., Mishra, H. N., & Deka, S. C. (2017). Functional and reconstitution properties of spray-dried sweetened yogurt powder as influenced by processing conditions. *International Journal of Food Properties*, *20*(7), 1603–1611. https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1214965

Sgritta, M., Dooling, S. W., Buffington, S. A., Momin, E. N., Francis, M. B., Britton, R. A., & Costa-Mattioli, M. (2019). Mechanisms Underlying Microbial-Mediated Changes in Social Behavior

in Mouse Models of Autism Spectrum Disorder. *Neuron*, *101*(2), 246-259.e6. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.11.018

Shaikh, S. S., Joshi, C., Malek, F., Malik, A., & Gandhi, M. (2024). Food Storage, Processing and Genetic Stability Studies of Bacillus (Heyndrickxia) coagulans BCP92 (MTCC 25460). *Applied Food Biotechnology*, *11*(1). https://doi.org/10.22037/afb.v11i1.44919

Sharma, V., & Mishra, H. N. (2013). Fermentation of vegetable juice mixture by probiotic lactic acid bacteria. *Nutrafoods*, *12*(1), 17–22. https://doi.org/10.1007/s13749-012-0050-y

Shende, D., & Datta, A. K. (2020). Optimization study for refractance window drying process of Langra variety mango. *Journal of Food Science and Technology*, *57*(2), 683–692. https://doi.org/10.1007/s13197-019-04101-0

Shori, A. B. (2016). Influence of food matrix on the viability of probiotic bacteria: A review based on dairy and non-dairy beverages. *Food Bioscience*, *13*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.11.001

Sidira, M., Kandylis, P., Kanellaki, M., & Kourkoutas, Y. (2016). Effect of curing salts and probiotic cultures on the evolution of flavor compounds in dry-fermented sausages during ripening. *Food Chemistry*, *201*, 334–338. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.084

Sihra, N., Goodman, A., Zakri, R., Sahai, A., & Malde, S. (2018). Nonantibiotic prevention and management of recurrent urinary tract infection. *Nature Reviews Urology*, *15*(12), 750–776. https://doi.org/10.1038/s41585-018-0106-x

Silanikove, N., Leitner, G., & Merin, U. (2015). The Interrelationships between Lactose Intolerance and the Modern Dairy Industry: Global Perspectives in Evolutional and Historical Backgrounds. *Nutrients*, *7*(9), 7312–7331. https://doi.org/10.3390/nu7095340

Silva-Espinoza, M. A., Salvador, A., Camacho, M. del M., & Martínez-Navarrete, N. (2021). Impact of freeze-drying conditions on the sensory perception of a freeze-dried orange snack. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *101*(11), 4585–4590. https://doi.org/10.1002/jsfa.11101

Simova, E. D., Beshkova, D. B., & Dimitrov, Zh. P. (2009). Characterization and antimicrobial spectrum of bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from traditional Bulgarian dairy products. *Journal of Applied Microbiology*, *106*(2), 692–701. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.04052.x

Singh, R., Ranvir, S., & Madan, S. (2017). Comparative Study of the Properties of Ripe Banana Flour, Unripe Banana Flour and Cooked Banana Flour Aiming Towards Effective Utilization of These Flours. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *6*(8), 2003–2015. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.239

Slykerman, R. F., Hood, F., Wickens, K., Thompson, J. M. D., Barthow, C., Murphy, R., Kang, J., Rowden, J., Stone, P., Crane, J., Stanley, T., Abels, P., Purdie, G., Maude, R., & Mitchell, E.

A. (2017). Effect of Lactobacillus rhamnosus HN001 in Pregnancy on Postpartum Symptoms of Depression and Anxiety: A Randomised Double-blind Placebo-controlled Trial. *EBioMedicine*, *24*, 159–165. https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2017.09.013

Stadnik, J., & Dolatowski, Z. J. (2014). Effect of Inoculation with Probiotics and Ageing Time on Selected Functional Properties and Oxidation of Proteins in Dry-Cured Pork Loins. *International Journal of Food Properties*, *17*(4), 866–876. https://doi.org/10.1080/10942912.2012.685679

Stelmasiewicz, M., Świątek, Ł., & Ludwiczuk, A. (2021). Phytochemical Profile and Anticancer Potential of Endophytic Microorganisms from Liverwort Species, Marchantia polymorpha L. *Molecules*, *27*(1), 153. https://doi.org/10.3390/molecules27010153

Suwanangul, S., Jaichakan, P., Narkprasom, N., Kraithong, S., Narkprasom, K., & Sangsawad, P. (2023). Innovative Insights for Establishing a Synbiotic Relationship with Bacillus coagulans: Viability, Bioactivity, and In Vitro-Simulated Gastrointestinal Digestion. *Foods*, *12*(19), 3692. https://doi.org/10.3390/foods12193692

Swieca, M., Kordowska-Wiater, M., Pytka, M., Gawlik-Dziki, U., Seczyk, L., Złotek, U., & Kapusta, I. (2019). Nutritional and pro-health quality of lentil and adzuki bean sprouts enriched with probiotic yeast Saccharomyces cerevisiae var. boulardii. *LWT*, *100*, 220–226. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.081

Tamnak, S., Mirhosseini, H., Tan, C. P., Ghazali, H. M., & Muhammad, K. (2016). Physicochemical properties, rheological behavior and morphology of pectin-pea protein isolate mixtures and conjugates in aqueous system and oil in water emulsion. *Food Hydrocolloids*, *56*, 405–416. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.12.033

Tan, Y. X., Mok, W. K., & Chen, W. N. (2021). In Vitro Evaluation of Enriched Brewers' Spent Grains Using Bacillus subtilis WX-17 as Potential Functional Food Ingredients. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *193*(2), 349–362. https://doi.org/10.1007/s12010-020-03424-5

Tarnaud, F., Gaucher, F., do Carmo, F. L. R., Illikoud, N., Jardin, J., Briard-Bion, V., Guyomarc'h, F., Gagnaire, V., & Jan, G. (2020). Differential Adaptation of Propionibacterium freudenreichii CIRM-BIA129 to Cow's Milk Versus Soymilk Environments Modulates Its Stress Tolerance and Proteome. *Frontiers in Microbiology*, *11*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.549027

Tejero-Sariñena, S., Barlow, J., Costabile, A., Gibson, G. R., & Rowland, I. (2013). Antipathogenic activity of probiotics against Salmonella Typhimurium and Clostridium difficile in anaerobic batch culture systems: Is it due to synergies in probiotic mixtures or the specificity of single strains? *Anaerobe*, *24*, 60–65. https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2013.09.011

Tissier, H. (1900). *Recherches sur la flore intestinale normale et pathologique du nourrisson*. Université de Paris.

Tontul, İ., Ergin, F., Eroğlu, E., Küçükçetin, A., & Topuz, A. (2018a). Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying. *International Dairy Journal*, *85*, 169–176. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.06.002

Tontul, İ., Ergin, F., Eroğlu, E., Küçükçetin, A., & Topuz, A. (2018b). Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying. *International Dairy Journal*, *85*, 169–176. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.06.002

Tontul, I., Ergin, F., Eroğlu, E., Küçükçetin, A., & Topuz, A. (2021). The impact of refractance window drying conditions on the physical and microbiological properties of kefir powder. *Food Bioscience*, *43*, 101317. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101317

Tontul, I., & Topuz, A. (2017). Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). *LWT*, *80*, 294–303. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.035

Tontul, I., & Topuz, A. (2019). Storage stability of bioactive compounds of pomegranate leather (pestil) produced by refractance window drying. *Journal of Food Process Engineering*, *42*(2). https://doi.org/10.1111/jfpe.12973

Torres Rodelo, M. del R. (2018). *Evaluación tecnológica del proceso de obtención de biomasa de microorganismos probióticos en medio de cultivo formulado con suero lácteo suplementado*. 1–129.

Tribess, T. B., Hernández-Uribe, J. P., Méndez-Montealvo, M. G. C., Menezes, E. W., Bello-Perez, L. A., & Tadini, C. C. (2009). Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (Musa cavendishii) produced at different drying conditions. *LWT - Food Science and Technology*, *42*(5), 1022–1025. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.12.017

Tripathi, M. K., & Giri, S. K. (2014). Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. *Journal of Functional Foods*, *9*, 225–241. https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.04.030

Turroni, F., Milani, C., Duranti, S., Ferrario, C., Lugli, G. A., Mancabelli, L., van Sinderen, D., & Ventura, M. (2018). Bifidobacteria and the infant gut: an example of co-evolution and natural selection. *Cellular and Molecular Life Sciences*, *75*(1), 103–118. https://doi.org/10.1007/s00018-017-2672-0

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. (2023). *Resultados Evaluaciones Agropecuarias 2023*. https://upra.gov.co/es-co/Evas_Documentos/Resultados%20Evaluaciones%20Agropecuarias%202023.pdf

Urgesi, R., Casale, C., Pistelli, R., Rapaccini, G. L., & de Vitis, I. (2014). A randomized double-blind placebo-controlled clinical trial on efficacy and safety of association of simethicone and Bacillus coagulans (Colinox®) in patients with irritable bowel syndrome. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, *18*(9), 1344–1353. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24867512

Vieira, K. C. de O., Ferreira, C. D. S., Bueno, E. B. T., De Moraes, Y. A., Toledo, A. C. C. G., Nakagaki, W. R., Pereira, V. C., & Winkelstroter, L. K. (2020). Development and viability of probiotic orange juice supplemented by Pediococcus acidilactici CE51. *LWT*, *130*, 109637. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109637

Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutrición*, *45*(3), 271–278. https://doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271

Villegas, B. M., Villa, G. C., Torres, J. M., Ospina, S., Rocha, L. A., & Laverde, J. F. (2012). BANANUT PLUS: HARINA DE BANANO VERDE ENRIQUECIDA CON MICRONUTRIENTES. *Vitae*. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169823914062

Vitaglione, P., Napolitano, A., & Fogliano, V. (2008). Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. *Trends in Food Science & Technology*, *19*(9), 451–463. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.02.005

Vrese, M. De. (2001). *Probiotics, prebiotics, and synbiotics—approaching a definition 1–3*. *73*(14).

Wang, S., Chelikani, V., & Serventi, L. (2018). Evaluation of chickpea as alternative to soy in plant-based beverages, fresh and fermented. *LWT*, *97*, 570–572. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.067

Wang, Z., Feng, Y., Yang, N., Jiang, T., Xu, H., & Lei, H. (2022). Fermentation of kiwifruit juice from two cultivars by probiotic bacteria: Bioactive phenolics, antioxidant activities and flavor volatiles. *Food Chemistry*, *373*, 131455. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131455

Wardy, W., Pujols Martínez, K. D., Xu, Z., No, H. K., & Prinyawiwatkul, W. (2014). Viscosity changes of chitosan solution affect physico-functional properties and consumer perception of coated eggs during storage. *LWT - Food Science and Technology*, *55*(1), 67–73. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.07.013

Watanabe, F. F. F., Marques, C., Farias, F. O., Ellenderser, L. N., & Masson, M. L. (2020). Yacon-based Beverage as Non-dairy Vehicle for Bifidobacterium animalis ssp. lactis: Stability and In vitro Probiotic Viability. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, *11*(4), 11458–11472. https://doi.org/10.33263/BRIAC114.1145811472

Wei, H., Loimaranta, V., Tenovuo, J., Rokka, S., Syväoja, E.-L., Korhonen, H., Joutsjoki, V., & Marnila, P. (2002). Stability and activity of specific antibodies against Streptococcus mutans and Streptococcus sobrinus in bovine milk fermented with Lactobacillus rhamnosus strain GG or treated at ultra-high temperature. *Oral Microbiology and Immunology*, *17*(1), 9–15. https://doi.org/10.1046/j.0902-0055.2001.00084.x

Wellala, C. K. D., Bi, J., Liu, X., Liu, J., Lyu, J., Zhou, M., Marszałek, K., & Trych, U. (2020). Effect of high pressure homogenization combined with juice ratio on water-soluble pectin characteristics, functional properties and bioactive compounds in mixed juices. *Innovative*

Food Science and Emerging Technologies, *60*, 102279. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102279

Wollowski, I., Rechkemmer, G., & Pool-Zobel, B. L. (2001). Protective role of probiotics and prebiotics in colon cancer. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *73*(2), 451s–455s. https://doi.org/10.1093/ajcn/73.2.451s

Wongputtisin, P., Ramaraj, R., Unpaprom, Y., Kawaree, R., & Pongtrakul, N. (2015). Raffinose family oligosaccharides in seed of *Glycine max* cv. Chiang Mai60 and potential source of prebiotic substances. *International Journal of Food Science & Technology*, *50*(8), 1750–1756. https://doi.org/10.1111/ijfs.12842

Wu, G., Zhang, C., Wu, H., Wang, R., Shen, J., Wang, L., Zhao, Y., Pang, X., Zhang, X., Zhao, L., & Zhang, M. (2017). Genomic microdiversity of Bifidobacterium pseudocatenulatum underlying differential strain-level responses to dietary carbohydrate intervention. *MBio*, *8*(1). https://doi.org/10.1128/mBio.02348-16

Xiao, Y., Zhao, J., Zhang, H., Zhai, Q., & Chen, W. (2020). Mining Lactobacillus and Bifidobacterium for organisms with long-term gut colonization potential. In *Clinical Nutrition* (Vol. 39, Issue 5, pp. 1315–1323). Churchill Livingstone. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.05.014

Yan, X.-T., Zhang, Z., Wang, Y., Zhang, W., Zhang, L., Liu, Y., Chen, D., Wang, W., Ma, W., Qian, J.-Y., & Gu, R. (2023). Antioxidant capacity, flavor and physicochemical properties of FH06 functional beverage fermented by lactic acid bacteria: a promising method to improve antioxidant activity and flavor of plant functional beverage. *Applied Biological Chemistry*, *66*(1), 7. https://doi.org/10.1186/s13765-022-00762-2

Yang, B., McCullough, M. L., Gapstur, S. M., Jacobs, E. J., Bostick, R. M., Fedirko, V., Flanders, W. D., & Campbell, P. T. (2014). Calcium, Vitamin D, Dairy Products, and Mortality Among Colorectal Cancer Survivors: The Cancer Prevention Study-II Nutrition Cohort. *Journal of Clinical Oncology*, *32*(22), 2335–2343. https://doi.org/10.1200/JCO.2014.55.3024

Yang, J., Zhou, F., Xiong, L., Mao, S., Hu, Y., & Lu, B. (2015). Comparison of phenolic compounds, tocopherols, phytosterols and antioxidant potential in Zhejiang pecan [Carya cathayensis] at different stir-frying steps. *LWT - Food Science and Technology*, *62*(1), 541–548. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.049

Yao, M., Xie, J., Du, H., McClements, D. J., Xiao, H., & Li, L. (2020). Progress in microencapsulation of probiotics: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *19*(2), 857–874. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12532

Yarabbi, H., Roshanak, S., & Milani, E. (2023). Production of the probiotic dessert containing sprouted quinoa milk and evaluation of physicochemical and microbial properties during storage. *Food Science & Nutrition*, *11*(9), 5596–5608. https://doi.org/10.1002/fsn3.3517

Yoha, K. S., Anukiruthika, T., Anila, W., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2021). 3D printing of encapsulated probiotics: Effect of different post-processing methods on the stability of Lactiplantibacillus plantarum (NCIM 2083) under static in vitro digestion conditions and during storage. *LWT*, *146*, 111461. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111461

Yoha, K. S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020a). Conductive hydro drying through refractance window drying–An alternative technique for drying of Lactobacillus plantarum (NCIM 2083). *Drying Technology*, *38*(5–6), 610–620. https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1624972

Yoha, K. S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020b). Conductive hydro drying through refractance window drying–An alternative technique for drying of Lactobacillus plantarum (NCIM 2083). *Drying Technology*, *38*(5–6), 610–620. https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1624972

Yoha, K. S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020c). Effect of encapsulation methods on the physicochemical properties and the stability of Lactobacillus plantarum (NCIM 2083) in synbiotic powders and in-vitro digestion conditions. *Journal of Food Engineering*, *283*, 110033. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110033

Yu, Z.-Y., Jiang, S.-W., Cao, X.-M., Jiang, S.-T., & Pan, L.-J. (2016). Effect of high pressure homogenization (HPH) on the physical properties of taro (Colocasia esculenta (L). Schott) pulp. *Journal of Food Engineering*, *177*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.10.042

Zarein, M., Samadi, S. H., & Ghobadian, B. (2015). Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *14*(1), 41–47. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.06.002

Zelante, T., Iannitti, R. G., Cunha, C., DeLuca, A., Giovannini, G., Pieraccini, G., Zecchi, R., D'Angelo, C., Massi-Benedetti, C., Fallarino, F., Carvalho, A., Puccetti, P., & Romani, L. (2013). Tryptophan catabolites from microbiota engage aryl hydrocarbon receptor and balance mucosal reactivity via interleukin-22. *Immunity*, *39*(2), 372–385. https://doi.org/10.1016/j.immuni.2013.08.003

Zhang, C., Quek, S. Y., Fu, N., Su, Y., Kilmartin, P. A., & Chen, X. D. (2020). Storage stability and in vitro digestion of microencapsulated powder containing fermented noni juice and probiotics. *Food Bioscience*, *37*, 100740. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100740

Zhang, P., Whistler, R. L., BeMiller, J. N., & Hamaker, B. R. (2005). Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility—a review. *Carbohydrate Polymers*, *59*(4), 443–458. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.10.014

Zhou, R., Xu, Y., Dong, D., Hu, J., Zhang, L., & Liu, H. (2023). The effects of microcapsules with different protein matrixes on the viability of probiotics during spray drying, gastrointestinal digestion, thermal treatment, and storage. *EFood*, *4*(4). https://doi.org/10.1002/efd2.98

Zhu, D., Shen, Y., Wei, L., Xu, L., Cao, X., Liu, H., & Li, J. (2020). Effect of particle size on the stability and flavor of cloudy apple juice. *Food Chemistry*, *328*, 126967. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126967

Zhu, W., Lyu, F., Naumovski, N., Ajlouni, S., & Ranadheera, C. S. (2020). Functional Efficacy of Probiotic Lactobacillus sanfranciscensis in Apple, Orange and Tomato Juices with Special Reference to Storage Stability and In Vitro Gastrointestinal Survival. *Beverages*, *6*(1), 13. https://doi.org/10.3390/beverages6010013

Zhu, Y. Y., Thakur, K., Feng, J. Y., Cai, J. S., Zhang, J. G., Hu, F., & Wei, Z. J. (2020). B-vitamin enriched fermented soymilk: A novel strategy for soy-based functional foods development. *Trends in Food Science and Technology*, *105*(June), 43–55. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.019

Zielińska, D., Rzepkowska, A., Radawska, A., & Zieliński, K. (2015). In Vitro Screening of Selected Probiotic Properties of Lactobacillus Strains Isolated from Traditional Fermented Cabbage and Cucumber. *Current Microbiology*, *70*(2), 183–194. https://doi.org/10.1007/s00284-014-0699-0

Zorzela, L., Ardestani, S. K., McFarland, L. V., & Vohra, S. (2017). Is there a role for modified probiotics as beneficial microbes: a systematic review of the literature. *Beneficial Microbes*, *8*(5), 739–754. https://doi.org/10.3920/BM2017.0032

Zotarelli, M. F., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2015). Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. *Food Research International*, *69*, 410–417. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.013

Zotarelli, M. F., da Silva, V. M., Durigon, A., Hubinger, M. D., & Laurindo, J. B. (2017). Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. *Powder Technology*, *305*, 447–454. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.10.027

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un proceso tecnológico para la obtención de una harina de plátano adicionada con probióticos y prebióticos utilizando el secado por ventana de refractancia.

Objetivos específicos

- Desarrollar una suspensión coloidal estable a base de plátano verde y prebióticos.
- Evaluar la influencia del secado por ventana de refractancia sobre una harina de plátano adicionada con probióticos y prebióticos.
- Evaluar la estabilidad durante el almacenamiento de una harina de plátano adicionada con probióticos y prebióticos.

Capítulo 1
Matrices no lácteas para la producción de alimentos funcionales probióticos: una revisión

Resumen

Los alimentos funcionales probióticos (AFP) han ganado popularidad en los últimos años debido a sus beneficios sobre la salud, sobre todo en las esferas digestiva, cardiovascular, inmunitaria y mental de los consumidores. Sin embargo, la intolerancia a la lactosa limita su consumo pues las matrices vehículo para probióticos suelen ser lácteas. Esto ha impulsado la exploración de matrices no lácteas para la producción de AFP. Esta revisión ofrece una visión general de los estudios recientes sobre la producción de AFP utilizando matrices no lácteas. La revisión examina el estado del arte en términos de matrices no lácteas y su impacto sobre la viabilidad celular, y parámetros de selección y uso de probióticos en alimentos. También se mencionan aspectos generales acerca de los beneficios que otorgan los AFP sobre la salud y plantea perspectivas futuras que justifican la necesidad de seguir investigando en este campo del conocimiento.

Palabras clave: Frutas y vegetales, cereales, legumbres, fermentación, alimentos deshidratados.

Introducción

En las últimas décadas, la falta de tiempo para cocinar, el ritmo de vida actual y la enorme oferta de alimentos procesados ha generado cambios en las prácticas alimenticias, incidiendo en el incremento de enfermedades crónicas asociadas a una mala alimentación. Diferentes estudios han directamente correlacionado la dieta como un factor de riesgo modificable para prevenir y/o tratar diferentes enfermedades crónicas no transmisibles, como la diabetes tipo 2 (Bell et al., 2022), el reflujo gastroesofágico asociado a malestar gastrointestinal (Malfa et al., 2021) y sobrepeso (Gómez et al., 2022; Hijová, 2022), por mencionar algunas. Los alimentos funcionales (AF) tienen el potencial de compensar estos desequilibrios alimentarios, garantizando la ingesta de nutrientes recomendada y aportando beneficios específicos a la salud del consumidor, con enfoque preventivo respecto a la reducción de los factores de riesgo que provocan la aparición de enfermedades. Estos productos son aquellos que, con independencia de aportar nutrientes, han demostrado científicamente sus beneficios sobre las funciones fisiológicas del organismo, proporcionando un mejor estado de salud y bienestar (FAO & OMS, 2006; Rodríguez-Barona et al., 2016), gracias a sus componentes bioactivos (CBA), entre los que se encuentran los probióticos (FAO & OMS, 2006; Yao et al., 2020).

El término probiótico, que significa “a favor de la vida”, fue introducido por primera vez por el microbiólogo ruso Elie Metchnikoff (Metchnikoff, 1910). Mientras tanto, el pediatra francés Henry Tissier sugirió administrar bacterias en forma de “Y” a niños con diarrea, luego de descubrir que estos microorganismos “bífidos” abundaban en las heces de niños sanos y eran escasas en los

enfermos. Este tratamiento logró reestablecer su microbiota intestinal sana y mejorar la salud del paciente. A estos microorganismos los llamó "*Bacillus bifidus*" (Tissier, 1900), y fueron reclasificadas como *Bifidobacterium bifidum* en 1924 (Turroni et al., 2018). Las principales cepas probióticas pertenecen a los géneros *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Propionibacterium*, *Saccharomyces* y *Streptococcus* (Panghal et al., 2018a). Con su estudio y mayor conocimiento, el número de productos probióticos disponibles en el mercado es cada vez mayor.

Las características probióticas de un microorganismo se manifiestan, generalmente, en el intestino grueso. El uso de terapias probióticas ha mostrado evidencias exitosas en la normalización de la permeabilidad intestinal y la mejora de su respuesta antiinflamatoria, así como el metabolismo de carbohidratos (George Kerry et al., 2018b; Ishwarya & Anandharamakrishnan, 2015; Rowland et al., 2018), la síntesis de micronutrientes esenciales como vitaminas, aminoácidos y enzimas, la mejora de la biodisponibilidad de nutrientes y compuestos bioactivos en la dieta (Pandey et al., 2015), la modulación de la microbiota intestinal (Azad et al., 2018; Lopetuso et al., 2019; Schepper et al., 2017) y la estimulación del sistema inmune (Kober & Bowe, 2015).

El alcance de los probióticos en la mejora de la salud humana y animal se encuentra bien documentado (Dunne et al., 1999; George Kerry et al., 2018a; Khalesi et al., 2014; Min et al., 2019a; Olveira & González-Molero, 2016), identificándose cuatro grandes enfoques: digestivo-urinario, cardiovascular, inmunitario y mental; además, varios estudios reportan la actividad anti patogénica de los probióticos (Ammor et al., 2006; Kareem et al., 2014; Simova et al., 2009; Tejero-Sariñena et al., 2013), previniendo diversidad de enfermedades sistémicas. En lo digestivo-urinario, se ha demostrado incidencia en el tratamiento del reflujo gastroesofágico por malestar gastrointestinal (Malfa et al., 2021b), síndrome del colon irritable (Urgesi et al., 2014), estreñimiento crónico idiopático (Ford et al., 2014), diarrea (Guandalini, 2011), diarrea pediátrica asociada a antibióticos (Goldenberg et al., 2015), colitis ulcerosa (Cordeiro et al., 2021), constipación (Chmielewska & Szajewska, 2010), enfermedad diverticular y diverticulitis (Lamiki et al., 2010), e infecciones urinarias (Sihra et al., 2018). En lo cardiovascular, la diabetes mellitus tipo 2 (Bell et al., 2022), sobrepeso (Gómez et al., 2022; Hijová, 2022), hipertensión (Khalesi et al., 2014), altos niveles de colesterol en sangre (Nguyen et al., 2007) y angiogénesis desregulada (Chen et al., 2013) son algunas enfermedades tratadas con probióticos. La regulación del sistema inmunitario, tratando y/o previniendo el cáncer colorrectal (Hou et al., 2022; Louis et al., 2014; B. Yang et al., 2014) y cáncer de colon (Wollowski et al., 2001) es otra gran promesa de los probióticos. Por otro lado, el descubrimiento del eje intestino-cerebro ha revolucionado la terapia psiquiátrica de depresión (Aizawa et al., 2016; J. R. Kelly et al., 2016; Naseribafrouei et al., 2014; Slykerman et al., 2017), ansiedad (Colica et al., 2017; Slykerman et al., 2017), enfermedad de Parkinson (Sampson et al., 2016), estrés psicosocial crónico (Bharwani et al., 2016), esquizofrenia y psicosis de primer episodio (Fernández-Abascal et al., 2021) y desorden del espectro autista (Sgritta et al., 2019), entre otros.

Varios de los estudios anteriores usan estrategias nutricionales que combina el consumo de probióticos en conjunto con prebióticos. Estos últimos son CBA que estimulan selectivamente el crecimiento y/o actividad de la microbiota intestinal (fundamentalmente bifidobacterias y lactobacilos), pues resisten el ataque ácido y enzimático del estómago e intestino delgado para

alcanzar el intestino grueso, regulando el tránsito digestivo, favoreciendo tanto el equilibrio microbiológico del sistema digestivo como la absorción de minerales a nivel intestinal (Olveira & González-Molero, 2016). Los prebióticos son comúnmente usados para prevenir enfermedades como la diarrea por antibióticos, enfermedad inflamatoria intestinal, infección por *Helicobacter pylori*, encefalopatía hepática, entre otras (Pandey et al., 2015). Por ello, resulta importante incluir en la dieta diaria alimentos ricos en prebióticos y probióticos, potenciando un efecto simbiótico de sus funcionalidades (Reis et al., 2016): el prebiótico protege al probiótico del ambiente hostil del estómago e intestino delgado, favoreciendo su supervivencia en el tracto gastrointestinal (TGI) y asegurando que mayores poblaciones alcancen el intestino grueso. Su combinación en productos alimenticios como ingredientes funcionales se hace cada vez más común en la industria (Cadena et al., 2014).

A pesar de los beneficios documentados de los probióticos en la salud, sus ventajas potenciales se han visto limitadas debido a que los productos lácteos han predominado como su principal vehículo de suministro, restringiendo su accesibilidad para consumidores con intolerancia a la lactosa (cerca 75% de la población mundial), alergias o preferencias alimentarias específicas (Silanikove et al., 2015) que excluyen este tipo de productos. Ahora bien, los productos no lácteos tienen ventajas como ofrecer alimentos libres de alergenos lácteos y con bajos niveles de colesterol, satisfacer las necesidades de la población con dieta vegetariana y vegana, adaptar los hábitos alimentarios de distintos grupos étnicos, aportar en la funcionalidad de productos no lácteos, prevenir el deterioro de diversos productos por acción de patógenos lácteos (S. Kumar et al., 2022; Min et al., 2019a), y tratar a la población intolerante a la lactosa y/o sensibles a alergenos de origen lácteo (Deng et al., 2015).

Bajo este contexto, el objetivo de esta revisión es examinar el estado del arte de la implementación de matrices alimentarias no lácteas y su impacto sobre la viabilidad de los probióticos. Además, se explora de manera general las tecnologías empleadas para el procesamiento de alimentos funcionales probióticos (AFP) y sus parámetros operativos, se mencionan aspectos generales para la selección de cultivos probióticos, y finalmente se muestran perspectivas futuras que justifican la necesidad de seguir investigando en este campo.

Materiales y métodos

Se realizó una revisión sistemática de información usando las bases de datos Scopus y Web of Science, usando las palabras clave non dairy foods (y sus sinónimos fruit, vegetable, cereal, grain, legume, meat), probiotics, functional foods y fermentation, relacionados por lógica booleana (Ninkov et al., 2021). Se emplearon como criterios de inclusión los artículos originales en inglés y publicados en los últimos 10 años (2013 – 2023), enfocados en las siguientes temáticas: bacterias ácido-lácticas *(Bacillus, Lactobacillus, Bifidobacterium*) y levaduras como probióticos, probióticos agregados a matrices vegetales y cárnicas, efecto de tratamientos tecnológicos sobre la viabilidad celular de los probióticos añadidos, características sensoriales de productos no lácteos fermentados por probióticos y alimentos funcionales simbióticos. Los criterios de exclusión empleados fueron: artículos de revisión, libros, capítulos de libro, editoriales y otros distintos a artículos de investigación originales, y artículos que incluyeran las siguiente temáticas: estudios clínicos e

inmunológicos de probióticos, fermentación de leche como única matriz, estudios biológicos de probióticos en animales, microencapsulación de probióticos sin incluirlos en matrices alimentarias, y modelamiento de procesos fermentativos. Las repeticiones exactas se eliminaron de los resultados.

La búsqueda sistemática de información en Scopus y Web of Science contó con 4 fases. La primera implicó únicamente el uso de las palabras clave relacionadas por lógica booleana, tal como se muestra en la parte superior de la Figura 1.1, obteniendo 370 artículos. Después de la segunda y tercera fase, que corresponden a la aplicación de criterios de inclusión y exclusión, respectivamente, se obtuvo 168 resultados. Finalmente, en la cuarta fase se eliminaron las coincidencias exactas, para obtener una cantidad total de 120 documentos.

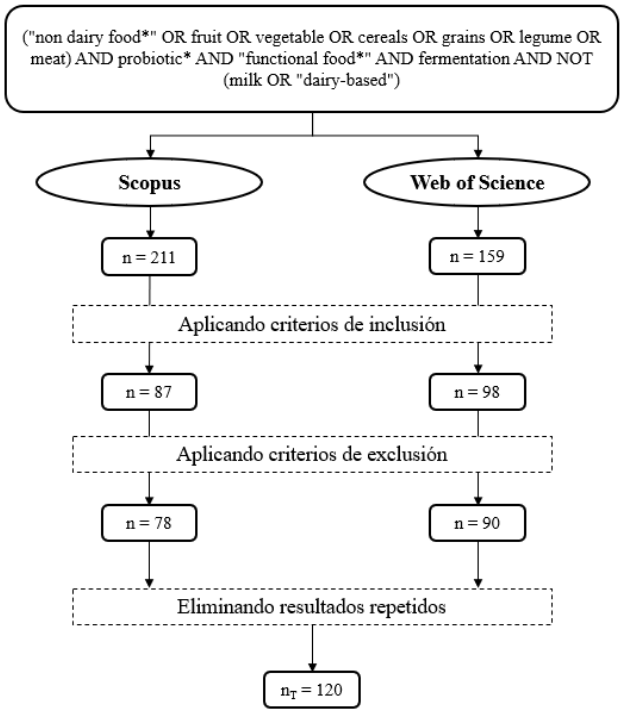


Figura 1.1. Esquema metodológico para la búsqueda sistemática de información.

Matrices no lácteas para producir alimentos funcionales probióticos

Los productos lácteos han sido el principal vehículo de suministro de probióticos a lo largo del tiempo. Esto ha ido cambiando por los riesgos que supone su consumo a la población intolerante a la lactosa y las tendencias hacia dietas veganas. Los probióticos tienen la capacidad de descomponer la lactosa a β-galactosidasa en el intestino delgado, mejorando los síntomas derivados de la incapacidad de metabolizar la lactosa de una amplia población, pero su eficacia depende de la cantidad de lactosa presente y del número de células viables del probiótico en el producto final (Panghal et al., 2018). Esta desventaja pone de manifiesto la necesidad de explorar matrices

alimentarias no lácteas que permitan la supervivencia de los probióticos en cantidades lo suficiente altas como para ejercer beneficios a la salud del consumidor. Frutas, vegetales, legumbres, cereales y productos cárnicos han sido empleados en el desarrollo de nuevos AFP no lácteos con características tecno-funcionales, sensoriales y funcionales que los hacen atractivos para el mercado agroalimentario.

Frutas y vegetales

Las frutas y vegetales tienen características físicas únicas, como orificios e imperfecciones en su exterior y poros en su interior, con capacidad de proteger a los probióticos contra el estrés ambiental y tecnológico (Min et al., 2019a). De hecho, un número importante de probióticos reportados en la literatura ha sido aislado de frutas y vegetales (Z. Cao et al., 2016; Pedersen et al., 2012; Perricone et al., 2014; Zielińska et al., 2015). Esto se debe al ambiente ácido natural, anaerobio y abundante en azúcares que favorece el crecimiento selectivo de este tipo de microorganismos (A. Lee et al., 2017)**.** Los AFP a base de frutas y vegetales se clasifican en tres grandes categorías: zumos de frutas fermentados o no fermentados, vegetales fermentados y frutas mínimamente procesadas (Min et al., 2019b).

Las frutas son abundantes en fibra soluble y azúcares, tienen propiedades hidratantes, son refrescantes y tienen un perfil de sabor atractivo (B. Kumar et al., 2015). La mayoría de los productos frutales probióticos disponibles en el mercado se encuentran en forma de zumos. Estos pasan muy poco tiempo en el entorno ácido del estómago, lo que garantiza una alta viabilidad probiótica en el colon (Kandylis et al., 2016). Como las frutas son deficitarias en proteínas y aminoácidos, los zumos empleados como sustrato de fermentación deben suplementarse de fuentes de nitrógeno que son requeridas para el metabolismo del probiótico (Kumar et al., 2022). Los vegetales también son abundantes en fibra soluble e insoluble, minerales y vitaminas, pero su contenido de fitoquímicos y fitonutrientes (Min et al., 2019b), tienen alta actividad antioxidante, lo que contrarresta el estrés oxidativo de las células del organismo (J. Yang et al., 2015).

La estabilidad de los probióticos en sustratos de frutas y verduras depende de distintos factores (Perricone et al., 2015), donde el pH es el parámetro con mayor impacto. Los zumos de fruta tienen un pH de 3,7 a 4,3, a causa de sus altas concentraciones de ácidos orgánicos, en el que las cepas del género *Lactobacillus* y *Saccharomyces*, con algunas restricciones, pueden resistir y sobrevivir mejor que las B*ifidobacterium* (Kandylis et al., 2016; Pandey et al., 2015) dada su actividad antibacteriana intrínseca (Pereira et al., 2011; Shori, 2016).

Muchos estudios han informado una disminución de la viabilidad probiótica durante el almacenamiento a 4°C de productos probióticos de origen vegetal: el jugo fermentado de noni fue simultáneamente liofilizado con *Lb. plantarum* P8 y *Lb. rhamnosus* GG, y ambas bacterias presentaron una reducción significativa de su viabilidad en el almacenamiento por 7 semanas (de 9 a 8,1 Log UFC/g para *Lb. plantarum* y 9 a 8,2 Log UFC/g para *Lb. rhamnosus*) (C. Zhang et al., 2020). La viabilidad de *Lb. sanfranciscensis* en jugos de manzana, naranja y tomate pasó de 8,1, 8 y 8 Log UFC/g, respectivamente, a 7,58, 7,82 y 7,47 Log UFC/g, respectivamente, al final del almacenamiento por 4 semanas (W. Zhu et al., 2020). Otro estudio reportó que, a pesar de obtener

una alta concentración de células viables de *Lb. acidophilus* NCDC 11 (7,6 Log UFC/g), *Lb. plantarum* NCDC 414 (8 Log UFC/g) y *Pediococcus pantosaceus* MTCC 2819 (7,3 Log UFC/g) después de la fermentación de un jugo de calabaza y zanahoria, se dio una disminución de su viabilidad durante su almacenamiento por 4 semanas (7,2, 5,1 y 4,3 Log UFC/g, respectivamente) (Sharma & Mishra, 2013). Kumar et al. (2022) explican que la disminución en la viabilidad de los probióticos puede verse afectada por el agotamiento de nutrientes, reducción del pH por aumento del ácido láctico producido durante la fermentación, y un incremento considerable de otros ácidos orgánicos. Estos resultados contrastan con el estudio de Vieira et al. (2020), en el que la viabilidad de *Pediococcus acidilactici* CE51 en un jugo de naranja fermentado aumentó en el almacenamiento (4°C por 35 días). Resultados similares fueron obtenidos por Pereira et al. (2011) para *L. casei* NRRL B-442 en un jugo fermentado de marañón y manzana en almacenamiento (4°C por 42 días).

Por otro lado, Mäkeläinen et al. (2010) descubrieron que las bacterias fermentan diferentes prebióticos de distintas maneras, influyendo directamente sobre su viabilidad. Por ejemplo, los *Lactobacillus* y la cepa *B. lactis* sólo fermentaron el lactitol y el xilo-oligosacárido, respectivamente, de una mezcla de xilo, galacto y fructooligosacárido, xilano, polidextrosa, lactilol, gentiobiosa y pullulan adicionada a cultivos puros in vitro de distintos probióticos (Mäkeläinen et al., 2010). Diaz-Vela et al. (2013) investigaron el efecto de polvos suplementados y reconstituidos de pera y piña sobre el crecimiento de *Pediococcus pentosaceus* UAM22, *Aerococcus viridans* UAM21 y *L. rhamnosus* GG, y los probióticos consumieron más carbohidratos de pera que de piña debido a las diferencias en su composición. Estos hallazgos ponen de manifiesto la importancia de estudiar combinaciones de cepas probióticas y matrices no lácteas adecuadas para desarrollar AFP no lácteos con alta carga probiótica.

En la Tabla 1.1 se presenta un compendio de estudios que emplean frutas y vegetales como matrices para desarrollar AFP con alta viabilidad probiótica.

Cereales

Los cereales como cebada, mijo, maíz, avena, arroz, sorgo, soya y trigo son abundantes en fibra dietaria prebiótica (almidón resistente, arabinoxilano, β-glucano y fructo- y galacto-oligosacáridos), que puede ser usada como material encapsulante de CBA (Min et al., 2019a). También contiene vitaminas, minerales, ácidos grasos, aminoácidos esenciales y proteínas (Mitharwal et al., 2021a). Distintos cereales se han empleado para elaborar productos probióticos a base de cereales y legumbres (Tabla 1.2).

Entre los fitoquímicos presentes en los cereales integrales se encuentran los compuestos fenólicos, esteroles, ácido fítico y fitoestrógenos (Katina et al., 2007). El β-glucano es una fibra con capacidad anti glicémica que es abundante en la cebada y la avena, la cual desempeña una función prebiótica para las bacterias del género *Bifidobacterium*. Además, estos cereales contienen minerales como magnesio, manganeso, molibdeno, fósforo y selenio en grandes cantidades, así como vitamina B1, lo que convierte a la cebada y la avena en matrices cereales promisorias para el desarrollo de AFP

no lácteos. Por otra parte, se ha reportado que la quinua, descrita específicamente como un pseudo-cereal, ejerce efectos antioxidantes y antiinflamatorios (Sawicki et al., 2016).

Tabla 1.1. *Selección de estudios que evalúan la supervivencia de microorganismos probióticos incorporados en matrices a base de frutas y vegetales.*

Matriz	Tipo de producto	Cepa	Concentración de células viables (Log UFC/g o mL)	Referencia
Kiwi	Zumo	*Lb. acidophilus* 85, *Lb. helveticus y Lb. plantarum* 90	> 9	(Z. Wang et al., 2022)
Mango y zanahoria	Zumo	*Lb. acidophilus*	7.49 ± 0.65	(de Oliveira et al., 2021)
		Lb. plantarum	8.56 ± 0.19	
		Lb. rhamnosus	8.35 ± 0.35	
Manzana, naranja y tomate	Zumo	*Lb. sanfranciscensis*	> 6–7	(W. Zhu et al., 2020)
Naranja	Zumo	*Pediococcus acidilactici* CE51	7.2 - 8.5	(Vieira et al., 2020)
Piña	Zumo	*Lb. casei*	7	(Olivares et al., 2019)
Frambuesa			0 (después del almacenamiento)	
Naranja			6	
Granada	Zumo	*Lb. plantarum* ATCC 14917	8.8	(Mantzourani et al., 2018)
Yacón	Bebida fermentada	*Bifidobacterium animalis ssp. lactis*, BB-12	5.09	(Watanabe et al., 2020)
	Bebida no fermentada		6.85	
Jicama, melón de invierno y zanahoria	Zumo	*Lb. acidophilus* CICC20710	4.57	(Do & Fan, 2019)
		Lb. plantarum CICC22696	8	
Noni	Zumo fementado	*Lb. plantarum* P8	8,1	(Zhang et al., 2020)
		Lb. rhamnosus GG	8,2	
Calabaza y zanahoria	Zumo fementado	*Lb. acidophilus* NCDC 11	7.2	(Sharma & Mishra, 2013)
		Lb. plantarum NCDC 414	5.1	
		Pediococcus pantosaceus MTCC 2819	4.3	

La mayor parte de la fibra prebiótica presente en las matrices cereales no se encuentran bioaccesibles en estado nativo, por lo que se hace necesario inducirlas a transformaciones físicas, químicas y/o enzimáticas que permitan su aprovechamiento. Bajo este contexto, la fermentación surge como una alternativa de bajo costo que permite obtener sustratos promotores de crecimiento de probióticos, al generar una condición ideal de pH para la descomposición enzimática de fitato y la consecuente liberación de minerales como calcio, cobre, zinc y manganeso (Enujiugha & Badejo, 2017), este último ampliamente reconocido como un factor de crecimiento clave para bacterias ácido-lácticas (Sharma & Mishra, 2013). Además, los compuestos fenólicos están covalentemente unidos a polisacáridos por enlaces éster, los cuales pueden ser hidrolizados por fermentación para liberar ácidos fenólicos, como el ácido ferúlico (Vitaglione et al., 2008). De hecho, bebidas fermentadas no lácteas tradicionales son producidas en todo el mundo, y muchas de ellas son no alcohólicas, y preparadas usando cereales como ingrediente primario (Prado et al., 2008).

Tabla 1.2. *Cereales y legumbres empleadas para producir alimentos funcionales probióticos.*

Matriz	Tipo de producto	Cepa	Concentración de células viables (Log UFC/g o mL)	Condiciones de incubación / almacenamiento	Referencia
Arroz	Microcápsulas a base de almidón resistente de arroz	*L. brevis* MTCC0	2.89 ± 1.36	Almacenamiento a 4°C por 60 días (células libres)	*(Ashwar et al., 2018)*
			8.46 ± 0.71a	Almacenamiento a 4°C por 60 días (células microencapsuladas)	
		L. casei MTCC297	3.75 ± 1.35	Almacenamiento a 4°C por 60 días (células libres)	
			8.27 ± 1.30	Almacenamiento a 4°C por 60 días (células microencapsuladas)	
		L. plantarum MTCC021	3.59 ± 1.30	Almacenamiento a 4°C por 60 días (células libres)	
			7.65 ± 0.78	Almacenamiento a 4°C por 60 días (células microencapsuladas)	
Avena	Leche de avena fermentada	*Lactobacillus reuteri* ATCC 55730	7.43	Almacenamiento a 4°C por 28 días	*(Bernat et al., 2015)*
		Streptococcus CECT 986	7,629		
	Avena fermentada	*Lb. plantarum M-13*	16,9	Incubación a 25°C por 48 h	(Gupta & Bajaj, 2017)
			13.89 ± 0.02	Almacenamiento a 4°C por 28 días	
			0	Almacenamiento a 25°C por 28 días	
	Harina de avena fermentada fortificada con 0,32 mg/mL de extracto de isoflavona	*Lb. acidophilus* LA-5	4,903	Almacenamiento a 4°C por 28 días	*(Duru et al., 2019a)*
		Streptococcus thermophilus TH-4	4,778		
	Harina de avena fermentada fortificada con 0,16 mg/mL de extracto de isoflavona	*Lb. acidophilus* LA-5	4,602		
		Streptococcus thermophilus TH-4	4,477		
	Harina de avena fermentada	*Lb. acidophilus* LA-5	4,778		
		Streptococcus thermophilus TH-4	4,602		
Malta y cebada	Bebida fermentada de malta	*Lactobacillus paracasei* DSMZ 15996	9,35	Incubación a 37°C por 50 h	*(Salari et al., 2015)*
		Lactobacillus delbrueckii DSMZ 20006	9,4		
	Bebida fermentada de cebada	*Lactobacillus paracasei* DSMZ 15996	8,5		
		Lactobacillus delbrueckii DSMZ 20006	8,44		

	Bebida fermentada de malta y cebada	*Lactobacillus paracasei* DSMZ 15996	9,5		
		Lactobacillus delbrueckii DSMZ 20006	9,4		
Mijo	Mijo fermentado a base de agua	*Lactobacillus rhamnosus* GR-1	8,4	Almacenamiento a 4°C por 56 días	*(Di Stefano et al., 2017)*
		Streptococcus thermophilus C106	4		
	Mijo fermentado a base de leche	*Lactobacillus rhamnosus* GR-1	8		
		Streptococcus thermophilus C106	8,6		
Soya	Bebida fermentada y suplementada con zumo de manzana	*Lactobacillus acidophilus* LA-5	8,73 - 9,08	Almacenamiento a 4°C por 1 día	*(İçier et al., 2015a)*
			8,98 – 9,10	Almacenamiento a 4°C por 21 días	
	Pasta fermentada de soya	*Bifidobacterium longum* CRL 849	8,8 - 9,2	Incubación a 37°C por 24 h (65% humedad)	*(Rodríguez de Olmos et al., 2022)*
			8,3	Almacenamiento a 4°C por 7 días	
	Leche de soya ultrafiltrada	*Propionibacterium freudenreichii* CIRMBIA129	7,602	Incubación a 37°C por 56 h	(Tarnaud et al., 2020)
		Propionibacterium freudenreichii CIRMBIA129 con *Lactobacillus plantarum CIRM-BIA465*	8,602		
		Lactobacillus plantarum CIRM-BIA465	8,857		
Frijol de arroz	Bebida mixta fermentada (Frijol de arroz, ginseng, hoja de loto, poria cocos, cáscara de mandarina y canela)	*Lactobacillus fermentum* grx08	8,84	Incubación anaerobia a 37°C por 72 h	(Yan et al., 2023)
		Lactobacillus rhamnosus hsryfm1301	8,42		
		Lactobacillus rhamnosus grx10	8,5		
		Lactobacillus plantarum 67	8,7		
		Lactobacillus plantarum S7	8,33		
Quinoa	Postre a base de leche de quinoa germinada (100%)	*Lactobacillus plantarum* NIMBB003	7.45 ± 0.46	Incubación aerobia a 37°C por 1 día	(Yarabbi et al., 2023)
			5.33 ± 1.21	Almacenamiento a 4°C por 14 días	
	Postre a base de leche de quinoa germinada (50%) y leche desnatada en polvo (50%)		7.46 ± 1.04	Incubación aerobia a 37°C por 1 día	
			6.43 ± 0.16	Almacenamiento a 4°C por 14 días	

Mezcla de harinas de cereales (arroz, trigo integral, avena), legumbres (lenteja verde, judía mungo) y frutas (castaña, sésamo, arándano seco)	Polvo probiótico fermentado	*Lactobacillus plantarum* (Lp)	7.70±0.42	Incubación a 37°C por 32 h	(Karagül & EL, 2024)
	Polvo simbiótico fermentado		8.56±0.33		

Distintos estudios reportan el aumento de la biodisponibilidad de ácidos fenólicos libres cuando probióticos fermentan cebada, de la mano con el incremento de la capacidad antioxidante de los productos fermentados (Pallares Pallares et al., 2017). (Duru et al., 2019b) utilizó *Lb. Acidophilus* y *Streptococcus termophilus* para fermentar avena y productir un AF simbiótico, y observó un incremento de los antioxidantes. Adicionalmente, el mismo estudio encontró que la adición de extractos de isoflavonas tuvo una influencia positiva sobre las propiedades antioxidantes y sensoriales, mientras que mostró un efecto negativo sobre la viabilidad de las cepas probióticas durante 4 semanas de almacenamiento a 4°C. Por otro lado, se debe tener en cuenta que los AFP sufren modificaciones en sus propiedades al transitar por tracto gastrointestinal. Varios autores han reportado un aumento de la tolerancia de varias cepas probióticas a las condiciones gastrointestinales simuladas, a través de modelos *in vitro*, empleando cereales como matrices vehículo de los microorganismos: *Lb. plantarum, Lb. reuteri* y *Lb. acidophilus* en extractos de cebada, malta y cebada ricos en nitrógeno libre y azúcares solubles (Charalampopoulos et al., 2003).

Legumbres

Las legumbres, como la lenteja, garbanzo, soya y judías de variedad adzuki, mung y kidney, son abundante en vitaminas, minerales, ácidos grasos, aminoácidos, proteínas y fibra prebiótica hidrosoluble (Mitharwal et al., 2021b; Panghal et al., 2018b; Wongputtisin et al., 2015), que le confiere propiedades protectoras contra el cáncer y enfermedades del corazón (Swieca et al., 2019), y efectos reguladores de la microbiota intestinal (S. Wang et al., 2018) producidos principalmente por algunos factores anti nutricionales, como la estaquiosa, rafinosa y verbacosa, que actúan como prebióticos. Particularmente, la rafinosa es un oligosacárido abundante en la soya (Wongputtisin et al., 2015). Esta legumbre es rica en proteína y posee fibra indigerible, aminoácidos libres, polisacáridos, minerales, grasas poliinsaturadas, vitaminas y polifenoles, como taninos, isoflavonas y ácidos fenólicos. La ingestión de oligosacáridos de la soya, es decir, rafinosa y estaquiosa, es asociada con flatulencias, hinchazón y cólicos. Estos carbohidratos pueden ser metabolizados empleando la fermentación (Aboulfazli et al., 2015; Champagne et al., 2010). Existen varios productos probióticos a base de legumbres solas o en combinación con cereales disponibles en el mercado, presentadas en la Tabla 2).

Algunos estudios han reportado altas tasas de viabilidad probiótica en matrices a base de legumbres: bebida de soya fermentada con *Lb. acidophilus* LA-5 (8,73 - 9,11 Log UFC/g) tras un almacenamiento de 21 días a 4°C (İçier et al., 2015b), bebida de leche de soya y zumo de manzana

fermentada con *Lb. acidophilus* (8,73 - 9,11 Log UFC/g con o sin zumo de manzana) en el almacenamiento durante 21 días a 4°C (İçier et al., 2015b), leche de soya fermentada con *Lb. acidophilus*, *Bifidobacterium*, *Lb. casei*, *Lb. delbrueckii ssp. bulgaricus* Lb1466, y *S. thermophilus* St1342 (>10^8 UFC/ ml para todas las cepas) a 42°C (Donkor et al., 2007).

Productos cárnicos

La composición grasa y la fisiología única de la carne tiene la capacidad de proteger las bacterias probióticas de las condiciones adversas de procesado (Martins et al., 2013), al alojarse dentro de la matriz de grasa y proteica de la matriz (Rubio et al., 2013). Por otro lado, la fermentación produce diversas biomoléculas como ácido láctico, cetonas, aldehídos, ácido acético, alcoholes y bacteriocinas, que influyen directamente en la seguridad, la calidad y el sabor del producto (Sidira et al., 2016). La proteólisis del producto final se ha asociado con un aumento del color, sabor y aroma a medida que se produce la descomposición de la proteína muscular y genera aminoácidos libres y pequeños péptidos (Stadnik & Dolatowski, 2014).

Las bacterias probióticas se han utilizado para elaborar salchichas fermentadas secas sin tratamiento térmico, manteniéndose vivas en el producto final (Arihara & Ohata, 2011). Los productos cárnicos fermentados suelen usando probióticos como Lb. rhamnosus, Lb. sakei, Lb. casei, *Lb. paracasei*, *Lb. plantarum*, *P. pentosaceus*, y *P. acidilactici* (Ammor et al., 2006). Además, Coelho et al. (2019) llegaron a la conclusión de que la incorporación de lactulosa como prebiótico y *Lb. paracasei* como probiótico en productos cárnicos tradicionales dio como resultado un salami simbiótico potencial, que proporciona beneficios nutricionales adicionales a la vez que mantiene la calidad sensorial del producto.

Selección y uso de cultivos probióticos en alimentos

Para que un microorganismo se considere probiótico, es necesario que cumpla con el conjunto de características de seguridad, funcionales y tecnológicas presentadas en la Tabla 1.4 (Dunne et al., 1999; Organización Mundial de Gastroenterología, 2023; Quigley, 2010; Rwubuzizi et al., 2023).

Existen importantes excepciones a los requerimientos mencionados en la Tabla 1.4 que obedecen a la evolución del estado del arte de los probióticos y sus aplicaciones. Por un lado, se ha comprobado que varias especies de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* tienen la capacidad de colonizar el epitelio intestinal por largos periodos de tiempo (Xiao et al., 2020), aunque hace un par de décadas se creyera que la mayoría de probióticos ejercen sus efectos de modo local y temporal (Ouwehand et al., 2002). Por otro lado, ciertos probióticos, como *Enterococci faecium* y *E. faecalis*, actúan como patógenos oportunistas y pueden originar infecciones, a pesar de la designación GRAS (Generally Recognized As Safe) de estos microorganismos (Aradón & Castellano, 2014; Panghal et al., 2018b).

Tabla 1.3. Requerimientos para la selección y uso de microorganismos como probióticos.

Tipo de requerimiento		
De seguridad	**Funcional**	**Tecnológico**
• Las cepas para uso humano deben de ser preferentemente de origen humano, de individuos sanos. • Demostrar un comportamiento no patógeno y no citotóxico. • No portar genes transmisibles de resistencia a antibióticos.	• Sobrevivir a las condiciones gastrointestinales, de la piel, pulmones u otras partes del cuerpo huésped. • Adherirse al epitelio y persistir en el tracto gastrointestinal. • Inmunoestimulación, pero sin efecto proinflamatorio. • Actividad antagonista contra patógenos. • Propiedades anti mutagénicas y anti carcinogénicas. • Capacidad para influir sobre la actividad metabólica del huésped.	• Contener un número adecuado de cepas viables que conduzcan al efecto beneficioso demostrado, según normativas alimentarias. • Resistencia a fagos. • Viabilidad y estabilidad durante el procesado y almacenamiento, sin verse afectadas por la matriz o los agentes encapsulantes empleados. • Evidencia científica de estudios controlados de eficacia en seres humanos. • Nomenclatura específica: cepa identificada por su género, especie y designación alfanumérica. • Etiquetado claro y veraz, que especifique sus características.

Fuente: Adaptado de (Organización Mundial de Gastroenterología, 2023).

Adicionalmente, investigaciones recientes cuestionan el requerimiento tecnológico de la viabilidad celular en probióticos al introducir el concepto de paraprobióticos (PP) o “probióticos fantasma”. Estos se definen como células probióticas no viables o extractos de células fragmentadas que, cuando se administran en cantidades adecuadas, confieren un beneficio fisiológico en el consumidor (Lee et al., 2023). Los PP se obtienen por inactivación química o física (térmica, sonicación o por radiación gamma o ultravioleta) de probióticos viables, afectando en sus componentes celulares estructurales de manera diferente e influir en su actividad funcional. Los mecanismos de acción de los PP son poco conocidos, pero sus efectos son similares a los probióticos viables a pesar de tener una capacidad reducida de adhesión a la mucosa intestinal que varía en función de la cepa empleada y el método de inactivación: capacidad mantenida de inhibición de patógenos a la mucosa por exclusión competitiva, mejorando la barrera intestinal; menor capacidad antiinflamatoria; efectos comparables a los probióticos vivos en inmunidad innata, con efectos más limitados sobre la inmunidad adaptativa (Kumar et al., 2023). Hay varios estudios que demuestran el efecto de los PP en la reducción de grasa corporal total (IMC), la regulación del metabolismo lipídico y de la glucosa y del síndrome metabólico (Nakamura et al., 2016). Además, mejoran la seguridad de los productos que los contienen y su vida útil es más larga (Adams, 2010). Todo esto rompe con el paradigma de la viabilidad probiótica y la premisa de asegurarla para garantizar un efecto fisiológico específico, y abre un campo de investigación en el uso de probióticos no viables o fragmentados o sustancias producidas por probióticos vivos (postbióticos), ofreciendo alternativas que eviten riegos de translocación o fungemia en pacientes comprometidos (Zorzela et al., 2017).

Perspectivas futuras y conclusiones

Es importante resaltar que, aunque varios estudios demuestran la eficacia de la incorporación de probióticos en matrices no lácteas, su capacidad de sobrevivir es específica de cada cepa. Así pues, escoger la matriz correcta para el probiótico correcto es esencial, en el sentido de que el cultivo iniciador adecuado inhibirá el crecimiento de patógenos y organismos responsables del deterioro de la matriz (Rivera-Espinoza & Gallardo-Navarro, 2010). La fermentación de frutas y vegetales por probióticos potenciales ayuda a identificar ideales fuentes vegetales de prebióticos, para desarrollar productos funcionales simbióticos no lácteos (Min et al., 2019b).

La selección de potenciales matrices no lácteos requiere de su caracterización, de manera que se constituya un sustrato adecuado para la cepa probiótica de interés. En algunos casos, podrá ser necesaria la suplementación de fuentes de nitrógeno, vitaminas, minerales, prebióticos, entre otros (Kumar et al., 2022), y/o la consideración de formular mezclas con otros grupos de alimentos para optimizar el sustrato. Como consecuencia, se vería beneficiada la supervivencia y estabilidad de los microorganismos probióticos, evidenciado en un incremento de la biomasa y/o la producción de metabolitos bioactivos. Por otro lado, mejorar la digestibilidad y biodisponibilidad de nutrientes, inhibir factores anti nutricionales, preservar los alimentos en el tiempo y mejorar el perfil sensorial de los AFP no lácteos son aspectos que deberán ser considerados en estudios que involucren la fermentación de matrices no lácteas para la producción de AFP no lácteos. La microencapsulación, por su parte, tiene la capacidad de aumentar la viabilidad probiótica ante condiciones ambientales, tecnológicas y gastrointestinales adversas, por lo que se espera un aumento significativo del número de estudios que exploren distintos materiales pared que promuevan la supervivencia de los probióticos en la matriz vehículo escogida, migrando hacia el uso de biocompuestos con efectos sinérgicos o simbióticos.

Finalmente, el descubrimiento de los paraprobióticos constituye la ruptura del paradigma de que se requiere de celular probióticas viables para la manifestación de beneficios fisiológicos en los consumidores. Estos hallazgos plantean nuevas perspectivas en el desarrollo de AFP en general, abriendo un campo de investigación poco explorado hasta el momento, que se centrará en la estimación del efecto que los post y paraprobióticos tienen sobre las principales respuestas fisiológicas producidas por sus contrapartes viables en AFP no lácteos.

Referencias

Aboulfazli, F., Baba, A. S., & Misran, M. (2015). The Rheology and Physical Properties of Fermented Probiotic Ice Creams Made with Dairy Alternatives. *International Journal of Food Engineering*, *11*(4), 493–504. https://doi.org/10.1515/ijfe-2014-0343

Adams, C. A. (2010). The probiotic paradox: live and dead cells are biological response modifiers. *Nutrition Research Reviews*, *23*(1), 37–46. https://doi.org/10.1017/S0954422410000090

Aizawa, E., Tsuji, H., Asahara, T., Takahashi, T., Teraishi, T., Yoshida, S., Ota, M., Koga, N., Hattori, K., & Kunugi, H. (2016). Possible association of Bifidobacterium and Lactobacillus in the gut

microbiota of patients with major depressive disorder. *Journal of Affective Disorders*, *202*, 254–257. https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.05.038

Ammor, S., Tauveron, G., Dufour, E., & Chevallier, I. (2006). Antibacterial activity of lactic acid bacteria against spoilage and pathogenic bacteria isolated from the same meat small-scale facility. *Food Control*, *17*(6), 454–461. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.02.006

Aradón, A., & Castellano, V. (2014). Regulation and guidelines of probiotics and prebiotics. In *Probiotics and prebiotics in food, nutrition and health* (pp. 91–113). CRC Press.

Arihara, K., & Ohata, M. (2011). Functional meat products. In *Functional Foods* (pp. 512–533). Elsevier. https://doi.org/10.1533/9780857092557.3.512

Ashwar, B. A., Gani, A., Gani, A., Shah, A., & Masoodi, F. A. (2018). Production of RS4 from rice starch and its utilization as an encapsulating agent for targeted delivery of probiotics. *Food Chemistry*, *239*, 287–294. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.110

Azad, Md. A. K., Sarker, M., Li, T., & Yin, J. (2018). Probiotic Species in the Modulation of Gut Microbiota: An Overview. *BioMed Research International*, *2018*, 1–8. https://doi.org/10.1155/2018/9478630

Bell, K. J., Saad, S., Tillett, B. J., McGuire, H. M., Bordbar, S., Yap, Y. A., Nguyen, L. T., Wilkins, M. R., Corley, S., Brodie, S., Duong, S., Wright, C. J., Twigg, S., de St Groth, B. F., Harrison, L. C., Mackay, C. R., Gurzov, E. N., Hamilton-Williams, E. E., & Mariño, E. (2022). Metabolite-based dietary supplementation in human type 1 diabetes is associated with microbiota and immune modulation. *Microbiome*, *10*(1), 9. https://doi.org/10.1186/s40168-021-01193-9

Bernat, N., Cháfer, M., González-Martínez, C., Rodríguez-García, J., & Chiralt, A. (2015). Optimisation of oat *milk* formulation to obtain fermented derivatives by using probiotic *Lactobacillus reuteri* microorganisms. *Food Science and Technology International*, *21*(2), 145–157. https://doi.org/10.1177/1082013213518936

Bharwani, A., Mian, M. F., Foster, J. A., Surette, M. G., Bienenstock, J., & Forsythe, P. (2016). Structural & functional consequences of chronic psychosocial stress on the microbiome & host. *Psychoneuroendocrinology*, *63*, 217–227. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2015.10.001

Cadena, R. S., Caimi, D., Jaunarena, I., Lorenzo, I., Vidal, L., Ares, G., Deliza, R., & Giménez, A. (2014). Comparison of rapid sensory characterization methodologies for the development of functional yogurts. *Food Research International*, *64*, 446–455. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.027

Cao, Z., Pan, H., Tong, H., Gu, D., Li, S., Xu, Y., Ge, C., & Lin, Q. (2016). In vitro evaluation of probiotic potential of Pediococcus pentosaceus L1 isolated from paocai—a Chinese fermented vegetable. *Annals of Microbiology*, *66*(3), 963–971. https://doi.org/10.1007/s13213-015-1182-2

Champagne, C. P., Tompkins, T. A., Buckley, N. D., & Green-Johnson, J. M. (2010). Effect of fermentation by pure and mixed cultures of Streptococcus thermophilus and Lactobacillus helveticus

on isoflavone and B-vitamin content of a fermented soy beverage. *Food Microbiology*, *27*(7), 968–972. https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.06.003

Charalampopoulos, D., Pandiella, S. S., & Webb, C. (2003). Evaluation of the effect of malt, wheat and barley extracts on the viability of potentially probiotic lactic acid bacteria under acidic conditions. *International Journal of Food Microbiology*, *82*(2), 133–141. https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00248-9

Chen, X., Yang, G., Song, J.-H., Xu, H., Li, D., Goldsmith, J., Zeng, H., Parsons-Wingerter, P. A., Reinecker, H.-C., & Kelly, C. P. (2013). Probiotic Yeast Inhibits VEGFR Signaling and Angiogenesis in Intestinal Inflammation. *PLoS ONE*, *8*(5), e64227. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064227

Chmielewska, A., & Szajewska, H. (2010). Systematic review of randomised controlled trials: probiotics for functional constipation. *World Journal of Gastroenterology*, *16*(1), 69–75. https://doi.org/10.3748/wjg.v16.i1.69

Coelho, S. R., Lima, Í. A., Martins, M. L., Benevenuto Júnior, A. A., Torres Filho, R. de A., Ramos, A. de L. S., & Ramos, E. M. (2019). Application of Lactobacillus paracasei LPC02 and lactulose as a potential symbiotic system in the manufacture of dry-fermented sausage. *LWT*, *102*, 254–259. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.045

Colica, C., Avolio, E., Bollero, P., Costa de Miranda, R., Ferraro, S., Sinibaldi Salimei, P., De Lorenzo, A., & Di Renzo, L. (2017). Evidences of a New Psychobiotic Formulation on Body Composition and Anxiety. *Mediators of Inflammation*, *2017*, 1–10. https://doi.org/10.1155/2017/5650627

Cordeiro, B. F., Alves, J. L., Belo, G. A., Oliveira, E. R., Braga, M. P., da Silva, S. H., Lemos, L., Guimarães, J. T., Silva, R., Rocha, R. S., Jan, G., Le Loir, Y., Silva, M. C., Freitas, M. Q., Esmerino, E. A., Gala-García, A., Ferreira, E., Faria, A. M. C., Cruz, A. G., … do Carmo, F. L. R. (2021). Therapeutic Effects of Probiotic Minas Frescal Cheese on the Attenuation of Ulcerative Colitis in a Murine Model. *Frontiers in Microbiology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.623920

de Oliveira, P. M., Leite Júnior, B. R. de C., Martins, E. M. F., Martins, M. L., Vieira, É. N. R., de Barros, F. A. R., Cristianini, M., de Almeida Costa, N., & Ramos, A. M. (2021). Mango and carrot mixed juice: a new matrix for the vehicle of probiotic lactobacilli. *Journal of Food Science and Technology*, *58*(1), 98–109. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04518-y

Di Stefano, E., White, J., Seney, S., Hekmat, S., McDowell, T., Sumarah, M., & Reid, G. (2017). A Novel Millet-Based Probiotic Fermented Food for the Developing World. *Nutrients*, *9*(5), 529. https://doi.org/10.3390/nu9050529

Diaz-Vela, J., Totosaus, A., Cruz-Guerrero, A. E., & de Lourdes Pérez-Chabela, M. (2013). *In vitro* evaluation of the fermentation of added-value agroindustrial by-products: cactus pear (*<scp>O</scp> puntia ficus-indica* <scp>L</scp> .) peel and pineapple (*<scp>A</scp> nanas comosus*) peel as functional ingredients. *International Journal of Food Science & Technology*, *48*(7), 1460–1467. https://doi.org/10.1111/ijfs.12113

Do, T. V. T., & Fan, L. (2019). Probiotic Viability, Qualitative Characteristics, and Sensory Acceptability of Vegetable Juice Mixture Fermented with <i>Lactobacillus</i> Strains. *Food and Nutrition Sciences*, *10*(04), 412–427. https://doi.org/10.4236/fns.2019.104031

Donkor, O. N., Henriksson, A., Vasiljevic, T., & Shah, N. P. (2007). α-Galactosidase and proteolytic activities of selected probiotic and dairy cultures in fermented soymilk. *Food Chemistry*, *104*(1), 10–20. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.065

Dunne, C., Murphy, L., Flynn, S., O'Mahony, L., O'Halloran, S., Feeney, M., Morrissey, D., Thornton, G., Fitzgerald, G., Daly, C., Kiely, B., Quigley, E. M., O'Sullivan, G. C., Shanahan, F., & Collins, J. K. (1999). Probiotics: from myth to reality. Demonstration of functionality in animal models of disease and in human clinical trials. *Antonie van Leeuwenhoek*, *76*(1–4), 279–292. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10532384

Duru, K. C., Kovaleva, ElenaG., Danilova, IrinaG., & Belousova, AnnaV. (2019a). Production and assessment of novel probiotic fermented oat flour enriched with isoflavones. *LWT*, *111*, 9–15. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.102

Duru, K. C., Kovaleva, ElenaG., Danilova, IrinaG., & Belousova, AnnaV. (2019b). Production and assessment of novel probiotic fermented oat flour enriched with isoflavones. *LWT*, *111*, 9–15. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.102

Enujiugha, Victor. N., & Badejo, A. A. (2017). Probiotic potentials of cereal-based beverages. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(4), 790–804. https://doi.org/10.1080/10408398.2014.930018

FAO, E., & OMS, E. (2006). Probióticos en los alimentos Propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación. *Estudios FAO Alimentación y Nutrición*, *85*, 52. file:///C:/Users/Acer/Documents/paty/homework1/PROBIOTICOS OPS 2006.pdf

Fernández-Abascal, B., Suárez-Pinilla, P., Cobo-Corrales, C., Crespo-Facorro, B., & Suárez-Pinilla, M. (2021). In- and outpatient lifestyle interventions on diet and exercise and their effect on physical and psychological health: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials in patients with schizophrenia spectrum disorders and first episod. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *125*, 535–568. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.01.005

Ford, A. C., Quigley, E. M. M., Lacy, B. E., Lembo, A. J., Saito, Y. A., Schiller, L. R., Soffer, E. E., Spiegel, B. M. R., & Moayyedi, P. (2014). Efficacy of prebiotics, probiotics, and synbiotics in irritable bowel syndrome and chronic idiopathic constipation: systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Gastroenterology*, *109*(10), 1547–1562. https://doi.org/10.1038/ajg.2014.202

George Kerry, R., Patra, J. K., Gouda, S., Park, Y., Shin, H. S., & Das, G. (2018a). Benefaction of probiotics for human health: A review. *Journal of Food and Drug Analysis*, *26*(3), 927–939. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.01.002

George Kerry, R., Patra, J. K., Gouda, S., Park, Y., Shin, H.-S., & Das, G. (2018b). Benefaction of probiotics for human health: A review. *Journal of Food and Drug Analysis*, *26*(3), 927–939. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.01.002

Goldenberg, J. Z., Lytvyn, L., Steurich, J., Parkin, P., Mahant, S., & Johnston, B. C. (2015). Probiotics for the prevention of pediatric antibiotic-associated diarrhea. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. https://doi.org/10.1002/14651858.CD004827.pub4

Gómez, A., Anaya, J., Rodríguez, G., Lechón, A., Perugachi, I., Velásquez, C., Carlos, S., Miniet, A., & Lascano, R. (2022). Glycemic effect of a functional pancake made from an instant oat mix. *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica*, *26*(3), 189–196. https://doi.org/10.14306/renhyd.26.3.1668

Guandalini, S. (2011). Probiotics for Prevention and Treatment of Diarrhea. *Journal of Clinical Gastroenterology*, *45*, S149–S153. https://doi.org/10.1097/MCG.0b013e3182257e98

Gupta, M., & Bajaj, B. K. (2017). Development of fermented oat flour beverage as a potential probiotic vehicle. *Food Bioscience*, *20*, 104–109. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.08.007

Hijová, E. (2022). Synbiotic Supplements in the Prevention of Obesity and Obesity-Related Diseases. In *Metabolites* (Vol. 12, Issue 4). MDPI. https://doi.org/10.3390/metabo12040313

Hou, H., Chen, D., Zhang, K., Zhang, W., Liu, T., Wang, S., Dai, X., Wang, B., Zhong, W., & Cao, H. (2022). Gut microbiota-derived short-chain fatty acids and colorectal cancer: Ready for clinical translation? *Cancer Letters*, *526*, 225–235. https://doi.org/10.1016/j.canlet.2021.11.027

İçier, F., Gündüz, G. T., Yılmaz, B., & Memeli, Z. (2015a). Changes on some quality characteristics of fermented soy milk beverage with added apple juice. *LWT - Food Science and Technology*, *63*(1), 57–64. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.102

İçier, F., Gündüz, G. T., Yılmaz, B., & Memeli, Z. (2015b). Changes on some quality characteristics of fermented soy milk beverage with added apple juice. *LWT - Food Science and Technology*, *63*(1), 57–64. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.102

Ishwarya, S. P., & Anandharamakrishnan, C. (2015). Spray-Freeze-Drying approach for soluble coffee processing and its effect on quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, *149*, 171–180. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.10.011

Kandylis, P., Pissaridi, K., Bekatorou, A., Kanellaki, M., & Koutinas, A. A. (2016). Dairy and non-dairy probiotic beverages. *Current Opinion in Food Science*, *7*, 58–63. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.11.012

Karagül, Ö., & EL, S. N. (2024). Cereal-based fermented synbiotic instant powders: a dessert practice. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *60*(4), 571–579. https://doi.org/10.20289/zfdergi.1336843

Kareem, S. O., Adio, O. Q., & Osho, M. B. (2014). Immobilization of Aspergillus niger F7-02 Lipase in Polysaccharide Hydrogel Beads of Irvingia gabonensis Matrix. *Enzyme Research*, *2014*, 1–7. https://doi.org/10.1155/2014/967056

Katina, K., Liukkonen, K.-H., Kaukovirta-Norja, A., Adlercreutz, H., Heinonen, S.-M., Lampi, A.-M., Pihlava, J.-M., & Poutanen, K. (2007). Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye. *Journal of Cereal Science*, *46*(3), 348–355. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.07.006

Kelly, J. R., Borre, Y., O' Brien, C., Patterson, E., El Aidy, S., Deane, J., Kennedy, P. J., Beers, S., Scott, K., Moloney, G., Hoban, A. E., Scott, L., Fitzgerald, P., Ross, P., Stanton, C., Clarke, G., Cryan, J. F., & Dinan, T. G. (2016). Transferring the blues: Depression-associated gut microbiota induces neurobehavioural changes in the rat. *Journal of Psychiatric Research*, *82*, 109–118. https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2016.07.019

Khalesi, S., Sun, J., Buys, N., & Jayasinghe, R. (2014). Effect of probiotics on blood pressure: A systematic review and meta-analysis of randomized, controlled trials. *Hypertension*, *64*(4), 897–903. https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.114.03469

Kober, M.-M., & Bowe, W. P. (2015). The effect of probiotics on immune regulation, acne, and photoaging. *International Journal of Women's Dermatology*, *1*(2), 85–89. https://doi.org/10.1016/j.ijwd.2015.02.001

Kumar, B., Vijayendra, S. V. N., & Reddy, O. V. S. (2015). Trends in dairy and non-dairy probiotic products - a review. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(10), 6112–6124. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1795-2

Kumar, H., Dhalaria, R., Guleria, S., Cimler, R., Choudhary, R., Dhanjal, D. S., Singh, R., Kimta, N., Dulta, K., Pathera, A. K., Khan, A., Nausad, M., Alomar, S. Y., Manickam, S., & Kuča, K. (2023). To exploring the role of probiotics, plant-based fermented products, and paraprobiotics as anti-inflammatory agents in promoting human health. *Journal of Agriculture and Food Research*, *14*, 100896. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100896

Kumar, S., Rattu, G., Mitharwal, S., Chandra, A., Kumar, S., Kaushik, A., Mishra, V., & Nema, P. K. (2022). Trends in non-dairy-based probiotic food products: Advances and challenges. *Journal of Food Processing and Preservation*, *46*(9). https://doi.org/10.1111/jfpp.16578

Lamiki, P., Tsuchiya, J., Pathak, S., Okura, R., Solimene, U., Jain, S., Kawakita, S., & Marotta, F. (2010). Probiotics in diverticular disease of the colon: an open label study. *Journal of Gastrointestinal and Liver Diseases : JGLD*, *19*(1), 31–36. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20361072

Lee, A., Cheng, K.-C., & Liu, J.-R. (2017). Isolation and characterization of a Bacillus amyloliquefaciens strain with zearalenone removal ability and its probiotic potential. *PLOS ONE*, *12*(8), e0182220. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182220

Lee, N., Park, Y.-S., Kang, D.-K., & Paik, H.-D. (2023). Paraprobiotics: definition, manufacturing methods, and functionality. *Food Science and Biotechnology*, *32*(14), 1981–1991. https://doi.org/10.1007/s10068-023-01378-y

Lopetuso, L. R., Giorgio, M. E., Saviano, A., Scaldaferri, F., Gasbarrini, A., & Cammarota, G. (2019). Bacteriocins and Bacteriophages: Therapeutic Weapons for Gastrointestinal Diseases? *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(1), 183. https://doi.org/10.3390/ijms20010183

Louis, P., Hold, G. L., & Flint, H. J. (2014). The gut microbiota, bacterial metabolites and colorectal cancer. *Nature Reviews Microbiology*, *12*(10), 661–672. https://doi.org/10.1038/nrmicro3344

Mäkeläinen, H., Saarinen, M., Stowell, J., Rautonen, N., & Ouwehand, A. (2010). Xylo-oligosaccharides and lactitol promote the growth of *Bifidobacterium lactis* and *Lactobacillus* species in pure cultures. *Beneficial Microbes*, *1*(2), 139–148. https://doi.org/10.3920/BM2009.0029

Malfa, G. A., Di Giacomo, C., Cardia, L., Sorbara, E. E., Mannucci, C., & Calapai, G. (2021). A standardized extract of <scp> *Opuntia ficus-indica* </scp> (L.) Mill and <scp> *Olea europaea* </scp> L. improves gastrointestinal discomfort: A <scp>double-blinded randomized-controlled</scp> study. *Phytotherapy Research*, ptr.7074. https://doi.org/10.1002/ptr.7074

Mantzourani, I., Kazakos, S., Terpou, A., Alexopoulos, A., Bezirtzoglou, E., Bekatorou, A., & Plessas, S. (2018). Potential of the Probiotic Lactobacillus Plantarum ATCC 14917 Strain to Produce Functional Fermented Pomegranate Juice. *Foods*, *8*(1), 4. https://doi.org/10.3390/foods8010004

Martins, E. M. F., Ramos, A. M., Vanzela, E. S. L., Stringheta, P. C., de Oliveira Pinto, C. L., & Martins, J. M. (2013). Products of vegetable origin: A new alternative for the consumption of probiotic bacteria. *Food Research International*, *51*(2), 764–770. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.047

Metchnikoff, E. (1910). *The Prolongation of Life: Optimistic Studies* (P. C. Mitchell, Ed.). G P Putnam's Sons.

Min, M., Bunt, C. R., Mason, S. L., & Hussain, M. A. (2019a). Non-dairy probiotic food products: An emerging group of functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *59*(16), 2626–2641. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1462760

Min, M., Bunt, C. R., Mason, S. L., & Hussain, M. A. (2019b). Non-dairy probiotic food products: An emerging group of functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *59*(16), 2626–2641. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1462760

Mitharwal, S., Kumar, S., & Chauhan, K. (2021a). Nutritional, polyphenolic composition and in vitro digestibility of finger millet (Eleusine coracana L.) with its potential food applications: A review. *Food Bioscience*, *44*, 101382. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101382

Mitharwal, S., Kumar, S., & Chauhan, K. (2021b). Nutritional, polyphenolic composition and in vitro digestibility of finger millet (Eleusine coracana L.) with its potential food applications: A review. *Food Bioscience*, *44*, 101382. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101382

Nakamura, F., Ishida, Y., Aihara, K., Sawada, D., Ashida, N., Sugawara, T., Aoki, Y., Takehara, I., Takano, K., & Fujiwara, S. (2016). Effect of fragmented *Lactobacillus amylovorus* CP1563 on lipid metabolism in overweight and mildly obese individuals: a randomized controlled trial. *Microbial Ecology in Health & Disease*, *27*(0). https://doi.org/10.3402/mehd.v27.30312

Naseribafrouei, A., Hestad, K., Avershina, E., Sekelja, M., Linløkken, A., Wilson, R., & Rudi, K. (2014). Correlation between the human fecal microbiota and depression. *Neurogastroenterology & Motility*, *26*(8), 1155–1162. https://doi.org/10.1111/nmo.12378

Nguyen, T. D. T., Kang, J. H., & Lee, M. S. (2007). Characterization of Lactobacillus plantarum PH04, a potential probiotic bacterium with cholesterol-lowering effects. *International Journal of Food Microbiology*, *113*(3), 358–361. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.08.015

Ninkov, A., Frank, J. R., & Maggio, L. A. (2021). Bibliometrics: Methods for studying academic publishing. *Perspectives on Medical Education*, *11*(3), 173–176. https://doi.org/10.1007/S40037-021-00695-4

Olivares, A., Soto, C., Caballero, E., & Altamirano, C. (2019). Survival of microencapsulated Lactobacillus casei (prepared by vibration technology) in fruit juice during cold storage. *Electronic Journal of Biotechnology*, *42*, 42–48. https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.10.002

Olveira, G., & González-Molero, I. (2016). Actualización de probióticos, prebióticos y simbióticos en nutrición clínica. *Endocrinología y Nutrición*, *63*(9), 482–494. https://doi.org/10.1016/j.endonu.2016.07.006

Organización Mundial de Gastroenterología. (2023). *Directrices mundiales de la Organización Mundial de Gastroenterología*. https://www.worldgastroenterology.org/UserFiles/file/guidelines/probiotics-and-prebiotics-spanish-2023.pdf

Ouwehand, A. C., Salminen, S., & Isolauri, E. (2002). Probiotics: an overview of beneficial effects. *Antonie van Leeuwenhoek*, *82*(1–4), 279–289.

Pallares Pallares, A., Estupiñán A, M. R., Perea Villamil, J. A., & López Giraldo, L. J. (2017). Impacto de la fermentación y secado sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante del clon de cacao CCN-51. *Revista ION*, *29*(2), 7–21. https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016001

Pandey, Kavita. R., Naik, Suresh. R., & Vakil, Babu. V. (2015). Probiotics, prebiotics and synbiotics- a review. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(12), 7577–7587. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1921-1

Panghal, A., Janghu, S., Virkar, K., Gat, Y., Kumar, V., & Chhikara, N. (2018a). Potential non-dairy probiotic products – A healthy approach. *Food Bioscience*, *21*, 80–89. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.12.003

Panghal, A., Janghu, S., Virkar, K., Gat, Y., Kumar, V., & Chhikara, N. (2018b). Potential non-dairy probiotic products – A healthy approach. *Food Bioscience*, *21*, 80–89. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.12.003

Pedersen, L. L., Owusu-Kwarteng, J., Thorsen, L., & Jespersen, L. (2012). Biodiversity and probiotic potential of yeasts isolated from Fura, a West African spontaneously fermented cereal. *International Journal of Food Microbiology*, *159*(2), 144–151. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.08.016

Pereira, A. L. F., Maciel, T. C., & Rodrigues, S. (2011). Probiotic beverage from cashew apple juice fermented with Lactobacillus casei. *Food Research International*, *44*(5), 1276–1283. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.035

Perricone, M., Bevilacqua, A., Corbo, M. R., & Sinigaglia, M. (2014). Technological characterization and probiotic traits of yeasts isolated from Altamura sourdough to select promising microorganisms as functional starter cultures for cereal-based products. *Food Microbiology*, *38*, 26–35. https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.08.006

Prado, F. C., Parada, J. L., Pandey, A., & Soccol, C. R. (2008). Trends in non-dairy probiotic beverages. *Food Research International*, *41*(2), 111–123. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.10.010

Quigley, E. M. M. (2010). Prebiotics and probiotics; modifying and mining the microbiota. *Pharmacological Research*, *61*(3), 213–218. https://doi.org/10.1016/j.phrs.2010.01.004

Reis, J. M. C. dos, Pinheiro, M. F., Oti, A. T., Feitosa-Junior, D. J. S., Pantoja, M. de S., & Barros, R. S. M. (2016). TECHNOLOGICAL INFORMATION REGARDING PREBIOTICS AND PROBIOTICS NUTRITION VERSUS THE PATENT REGISTERS: WHAT IS NEW? *ABCD. Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva (São Paulo)*, *29*(4), 279–281. https://doi.org/10.1590/0102-6720201600040016

Rivera-Espinoza, Y., & Gallardo-Navarro, Y. (2010). Non-dairy probiotic products. *Food Microbiology*, *27*(1), 1–11. https://doi.org/10.1016/j.fm.2008.06.008

Rodríguez de Olmos, A., Garro, O. A., & Garro, M. S. (2022). Behavior study of Bifidobacterium longum using solid state fermentation from commercial soybean meal. *LWT*, *157*, 113101. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113101

Rodríguez-Barona, S., Giraldo, G. I., & Montes, L. M. (2016). Encapsulación De Alimentos Probióticos Mediante Liofilización En Presencia De Prebióticos. *Informacion Tecnologica*, *27*(6), 135–144. https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000600014

Rowland, I., Gibson, G., Heinken, A., Scott, K., Swann, J., Thiele, I., & Tuohy, K. (2018). Gut microbiota functions: metabolism of nutrients and other food components. *European Journal of Nutrition*, *57*(1), 1–24. https://doi.org/10.1007/s00394-017-1445-8

Rubio, R., Aymerich, T., Bover-Cid, S., Guàrdia, M. D., Arnau, J., & Garriga, M. (2013). Probiotic strains Lactobacillus plantarum 299V and Lactobacillus rhamnosus GG as starter cultures for fermented sausages. *LWT - Food Science and Technology*, *54*(1), 51–56. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.014

Rwubuzizi, R., Kim, H., Holzapfel, W. H., & Todorov, S. D. (2023). Beneficial, safety, and antioxidant properties of lactic acid bacteria: A next step in their evaluation as potential probiotics. *Heliyon*, *9*(4), e15610. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15610

Salari, M., Razavi, S. H., & Gharibzahedi, S. M. T. (2015). Characterising the synbiotic beverages based on barley and malt flours fermented by Lactobacillus *delbrueckii* and *paracasei* strains. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, *7*(3), 355–361. https://doi.org/10.3920/QAS2013.0390

Sampson, T. R., Debelius, J. W., Thron, T., Janssen, S., Shastri, G. G., Ilhan, Z. E., Challis, C., Schretter, C. E., Rocha, S., Gradinaru, V., Chesselet, M.-F., Keshavarzian, A., Shannon, K. M., Krajmalnik-Brown, R., Wittung-Stafshede, P., Knight, R., & Mazmanian, S. K. (2016). Gut Microbiota Regulate Motor Deficits and Neuroinflammation in a Model of Parkinson's Disease. *Cell*, *167*(6), 1469-1480.e12. https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.11.018

Sawicki, C., McKay, D., McKeown, N., Dallal, G., Chen, C., & Blumberg, J. (2016). Phytochemical Pharmacokinetics and Bioactivity of Oat and Barley Flour: A Randomized Crossover Trial. *Nutrients*, *8*(12), 813. https://doi.org/10.3390/nu8120813

Schepper, J. D., Irwin, R., Kang, J., Dagenais, K., Lemon, T., Shinouskis, A., Parameswaran, N., & McCabe, L. R. (2017). *Probiotics in Gut-Bone Signaling* (pp. 225–247). https://doi.org/10.1007/978-3-319-66653-2_11

Sgritta, M., Dooling, S. W., Buffington, S. A., Momin, E. N., Francis, M. B., Britton, R. A., & Costa-Mattioli, M. (2019). Mechanisms Underlying Microbial-Mediated Changes in Social Behavior in Mouse Models of Autism Spectrum Disorder. *Neuron*, *101*(2), 246-259.e6. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.11.018

Sharma, V., & Mishra, H. N. (2013). Fermentation of vegetable juice mixture by probiotic lactic acid bacteria. *Nutrafoods*, *12*(1), 17–22. https://doi.org/10.1007/s13749-012-0050-y

Shori, A. B. (2016). Influence of food matrix on the viability of probiotic bacteria: A review based on dairy and non-dairy beverages. *Food Bioscience*, *13*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.11.001

Sidira, M., Kandylis, P., Kanellaki, M., & Kourkoutas, Y. (2016). Effect of curing salts and probiotic cultures on the evolution of flavor compounds in dry-fermented sausages during ripening. *Food Chemistry*, *201*, 334–338. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.084

Sihra, N., Goodman, A., Zakri, R., Sahai, A., & Malde, S. (2018). Nonantibiotic prevention and management of recurrent urinary tract infection. *Nature Reviews Urology*, *15*(12), 750–776. https://doi.org/10.1038/s41585-018-0106-x

Silanikove, N., Leitner, G., & Merin, U. (2015). The Interrelationships between Lactose Intolerance and the Modern Dairy Industry: Global Perspectives in Evolutional and Historical Backgrounds. *Nutrients*, *7*(9), 7312–7331. https://doi.org/10.3390/nu7095340

Simova, E. D., Beshkova, D. B., & Dimitrov, Zh. P. (2009). Characterization and antimicrobial spectrum of bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from traditional Bulgarian dairy products. *Journal of Applied Microbiology*, *106*(2), 692–701. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.04052.x

Slykerman, R. F., Hood, F., Wickens, K., Thompson, J. M. D., Barthow, C., Murphy, R., Kang, J., Rowden, J., Stone, P., Crane, J., Stanley, T., Abels, P., Purdie, G., Maude, R., & Mitchell, E. A. (2017). Effect of Lactobacillus rhamnosus HN001 in Pregnancy on Postpartum Symptoms of Depression and Anxiety: A Randomised Double-blind Placebo-controlled Trial. *EBioMedicine*, *24*, 159–165. https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2017.09.013

Stadnik, J., & Dolatowski, Z. J. (2014). Effect of Inoculation with Probiotics and Ageing Time on Selected Functional Properties and Oxidation of Proteins in Dry-Cured Pork Loins. *International Journal of Food Properties*, *17*(4), 866–876. https://doi.org/10.1080/10942912.2012.685679

Swieca, M., Kordowska-Wiater, M., Pytka, M., Gawlik-Dziki, U., Seczyk, L., Złotek, U., & Kapusta, I. (2019). Nutritional and pro-health quality of lentil and adzuki bean sprouts enriched with probiotic yeast Saccharomyces cerevisiae var. boulardii. *LWT*, *100*, 220–226. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.081

Tarnaud, F., Gaucher, F., do Carmo, F. L. R., Illikoud, N., Jardin, J., Briard-Bion, V., Guyomarc'h, F., Gagnaire, V., & Jan, G. (2020). Differential Adaptation of Propionibacterium freudenreichii CIRM-BIA129 to Cow's Milk Versus Soymilk Environments Modulates Its Stress Tolerance and Proteome. *Frontiers in Microbiology*, *11*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.549027

Tejero-Sariñena, S., Barlow, J., Costabile, A., Gibson, G. R., & Rowland, I. (2013). Antipathogenic activity of probiotics against Salmonella Typhimurium and Clostridium difficile in anaerobic batch culture systems: Is it due to synergies in probiotic mixtures or the specificity of single strains? *Anaerobe*, *24*, 60–65. https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2013.09.011

Tissier, H. (1900). *Recherches sur la flore intestinale normale et pathologique du nourrisson*. Université de Paris.

Turroni, F., Milani, C., Duranti, S., Ferrario, C., Lugli, G. A., Mancabelli, L., van Sinderen, D., & Ventura, M. (2018). Bifidobacteria and the infant gut: an example of co-evolution and natural selection. *Cellular and Molecular Life Sciences*, *75*(1), 103–118. https://doi.org/10.1007/s00018-017-2672-0

Urgesi, R., Casale, C., Pistelli, R., Rapaccini, G. L., & de Vitis, I. (2014). A randomized double-blind placebo-controlled clinical trial on efficacy and safety of association of simethicone and Bacillus coagulans (Colinox®) in patients with irritable bowel syndrome. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, *18*(9), 1344–1353. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24867512

Vieira, K. C. de O., Ferreira, C. D. S., Bueno, E. B. T., De Moraes, Y. A., Toledo, A. C. C. G., Nakagaki, W. R., Pereira, V. C., & Winkelstroter, L. K. (2020). Development and viability of probiotic orange juice supplemented by Pediococcus acidilactici CE51. *LWT*, *130*, 109637. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109637

Vitaglione, P., Napolitano, A., & Fogliano, V. (2008). Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. *Trends in Food Science & Technology*, *19*(9), 451–463. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.02.005

Wang, S., Chelikani, V., & Serventi, L. (2018). Evaluation of chickpea as alternative to soy in plant-based beverages, fresh and fermented. *LWT*, *97*, 570–572. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.067

Wang, Z., Feng, Y., Yang, N., Jiang, T., Xu, H., & Lei, H. (2022). Fermentation of kiwifruit juice from two cultivars by probiotic bacteria: Bioactive phenolics, antioxidant activities and flavor volatiles. *Food Chemistry*, *373*, 131455. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131455

Watanabe, F. F. F., Marques, C., Farias, F. O., Ellenderser, L. N., & Masson, M. L. (2020). Yacon-based Beverage as Non-dairy Vehicle for Bifidobacterium animalis ssp. lactis: Stability and In vitro Probiotic Viability. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, *11*(4), 11458–11472. https://doi.org/10.33263/BRIAC114.1145811472

Wollowski, I., Rechkemmer, G., & Pool-Zobel, B. L. (2001). Protective role of probiotics and prebiotics in colon cancer. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *73*(2), 451s–455s. https://doi.org/10.1093/ajcn/73.2.451s

Wongputtisin, P., Ramaraj, R., Unpaprom, Y., Kawaree, R., & Pongtrakul, N. (2015). Raffinose family oligosaccharides in seed of *Glycine max* cv. Chiang Mai60 and potential source of prebiotic substances. *International Journal of Food Science & Technology*, *50*(8), 1750–1756. https://doi.org/10.1111/ijfs.12842

Xiao, Y., Zhao, J., Zhang, H., Zhai, Q., & Chen, W. (2020). Mining Lactobacillus and Bifidobacterium for organisms with long-term gut colonization potential. In *Clinical Nutrition* (Vol. 39, Issue 5, pp. 1315–1323). Churchill Livingstone. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.05.014

Yan, X.-T., Zhang, Z., Wang, Y., Zhang, W., Zhang, L., Liu, Y., Chen, D., Wang, W., Ma, W., Qian, J.-Y., & Gu, R. (2023). Antioxidant capacity, flavor and physicochemical properties of FH06 functional beverage fermented by lactic acid bacteria: a promising method to improve antioxidant activity and flavor of plant functional beverage. *Applied Biological Chemistry*, *66*(1), 7. https://doi.org/10.1186/s13765-022-00762-2

Yang, B., McCullough, M. L., Gapstur, S. M., Jacobs, E. J., Bostick, R. M., Fedirko, V., Flanders, W. D., & Campbell, P. T. (2014). Calcium, Vitamin D, Dairy Products, and Mortality Among Colorectal Cancer Survivors: The Cancer Prevention Study-II Nutrition Cohort. *Journal of Clinical Oncology*, *32*(22), 2335–2343. https://doi.org/10.1200/JCO.2014.55.3024

Yang, J., Zhou, F., Xiong, L., Mao, S., Hu, Y., & Lu, B. (2015). Comparison of phenolic compounds, tocopherols, phytosterols and antioxidant potential in Zhejiang pecan [Carya cathayensis] at different stir-frying steps. *LWT - Food Science and Technology*, *62*(1), 541–548. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.049

Yao, M., Xie, J., Du, H., McClements, D. J., Xiao, H., & Li, L. (2020). Progress in microencapsulation of probiotics: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *19*(2), 857–874. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12532

Yarabbi, H., Roshanak, S., & Milani, E. (2023). Production of the probiotic dessert containing sprouted quinoa milk and evaluation of physicochemical and microbial properties during storage. *Food Science & Nutrition*, *11*(9), 5596–5608. https://doi.org/10.1002/fsn3.3517

Zhang, C., Quek, S. Y., Fu, N., Su, Y., Kilmartin, P. A., & Chen, X. D. (2020). Storage stability and in vitro digestion of microencapsulated powder containing fermented noni juice and probiotics. *Food Bioscience*, *37*, 100740. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100740

Zhu, W., Lyu, F., Naumovski, N., Ajlouni, S., & Ranadheera, C. S. (2020). Functional Efficacy of Probiotic Lactobacillus sanfranciscensis in Apple, Orange and Tomato Juices with Special Reference to Storage Stability and In Vitro Gastrointestinal Survival. *Beverages*, *6*(1), 13. https://doi.org/10.3390/beverages6010013

Zielińska, D., Rzepkowska, A., Radawska, A., & Zieliński, K. (2015). In Vitro Screening of Selected Probiotic Properties of Lactobacillus Strains Isolated from Traditional Fermented Cabbage and Cucumber. *Current Microbiology*, *70*(2), 183–194. https://doi.org/10.1007/s00284-014-0699-0

Zorzela, L., Ardestani, S. K., McFarland, L. V., & Vohra, S. (2017). Is there a role for modified probiotics as beneficial microbes: a systematic review of the literature. *Beneficial Microbes*, *8*(5), 739–754. https://doi.org/10.3920/BM2017.0032

Capítulo 2
Desarrollo de una harina de plátano fortificada con prebióticos y probióticos utilizando secado por ventana de refractancia

Resumen

Introducción: El plátano es un alimento clave en los países tropicales, desempeñando un papel esencial en la seguridad alimentaria. La incorporación de nuevas tecnologías y el perfeccionamiento de las existentes a lo largo de la agrocadena contribuyen significativamente a aumentar su competitividad, generando valor añadido y potenciando su aporte nutricional y funcional . **Objetivo**: El objetivo de la investigación fue desarrollar una harina de plátano fortificada con prebióticos y probióticos, utilizando la tecnología de secado por ventana de refractancia (RWD). **Materiales y métodos**: Se evaluó el proceso de RWD de una suspensión de plátano, encapsulantes (maltodextrina) (MD) (1,58 %p/p), prebiótico (inulina) (IN) (1,58 %p/p) y acidulante (ácido cítrico) (AC) (0,32 %p/p), utilizando la metodología de superficie de respuesta con un diseño experimental central compuesto cara centrada (α=1) (20 experimentos), considerando las variables independientes: fracción másica de sólidos totales aportados por el plátano (X_{TS}) (0.18 – 0.24), temperatura del agua (T) (50 – 70°C) y tiempo (t) (2 – 3 h), y las variables dependientes: humedad (X_w), actividad de agua (a_w), solubilidad (S), higroscopicidad (Hy), humectabilidad (*We*), tamaño de partícula ($D_{[3,2]}$) y ángulo de reposo (α). Posteriormente, se incorporó la biomasa probiótica (*Bacillus coagulans* ATCC 7050) (2, 4, 6 y 8%p/p) a la condición óptima de proceso, y se evaluó el almacenamiento de la harina obtenida con la mayor viabilidad (8%p/p), utilizando un diseño factorial completamente aleatorizado en función de las variables independientes: t (0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses) y temperatura de almacenamiento (T) (15, 25 y 35 °C), y de las variables dependientes: Xw, aw, S, *We*, α y concentración celular probiótica (N). **Resultados**: El ANOVA demostró diferencias significativas ($p<0.05$) de la Xw, aw y Hy con respecto a X_{TS}, T y t y a sus interacciones lineales, ya que altas T favorece la difusión del agua en el producto y, al mismo tiempo, bajos t produce una menor fuerza motriz a la transferencia de calor que deriva en la evaporación efectiva del agua, mientras la monocapa del producto queda saturada por falta de afinidad del almidón y otros carbohidratos de plátano hacia el agua, evitando beneficiar su capacidad de adsorción. Las condiciones óptimas de proceso de RWD fueron X_{TS}=0.24, T=68°C, t=2 h, obteniendo un producto con los siguientes atributos de calidad: Xw = 5,1%, a_w = 0,163, S = 17,4%, Hy = 14,5%, *We* = 38,0 s, $D_{[3,2]}$ = 79,3 µm, α = 14,9°. Posteriormente, la adición del *Bacillus coagulans* ATCC 7050 en la suspensión y la aplicación RWD a la condición óptima, produjo una harina con una concentración celular probiótica de 10,4 ± 0,6 Log UFC/g, y viabilidad celular del 91,12%; el mayor RE (16.97%) fue obtenido al agregar un 2% p/p de biomasa a la HPSP; además, se garantizó la conservación del resto de atributos de calidad evaluados durante el almacenamiento hasta el sexto mes a 15°C, obteniéndose las siguientes características: Xw = 7,2 ± 0,08%, a_w = 0,331 ± 0,002, S = 16,2 ± 0,91%, Hy = 5,91 ± 0,03, *We* = 100,35 ± 6,64 s y α = 16,02 ± 1,67°. N solo pudo ser evaluada hasta el quinto mes de

almacenamiento, obteniéndose un valor de 8.02 ± 0,73 Log UFC/g a 15°C. Este estudio representa una herramienta científica para el desarrollo de una harina de plátano fortificada con prebióticos y probióticos, en el que se incursionó en una metodología no convencional de procesamiento, se describió el efecto de las interacciones de los componentes del sistema y su relación con las características del polvo y se estimó la vida útil de la harina.

Palabras clave: Musa paradisiaca L., alimentos funcionales, *Bacillus coagulans*, inulina, alimentos deshidratados.

Introducción

El plátano (*Musa paradisiaca L.*) es un fruto tropical nativo del sudeste asiático, perteneciente a la familia de las musáceas (Montoya, 2020), el cual es fuente de gran cantidad de compuestos bioactivos (CBA) tales como fibra dietaria, minerales (calcio, magnesio, hierro, fósforo y potasio), vitaminas (A, B_1, B_2, B_3, B_6, C, D), y antioxidantes (Falcomer et al., 2019; Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, 2018). Esta composición le confiere características funcionales como su actividad antinflamatoria y antiulcerogénica, protección contra lesiones agudas y crónicas de la mucosa gástrica, reducción del índice glucémico, mejora de la absorción de nutrientes, del metabolismo de esteroles y de la fermentación intestinal, control del peso corporal y de la sensibilidad a la insulina en diabéticos obesos de tipo 2 (Abiodun-Solanke & Falade, 2011; Falcomer et al., 2019). Además, el alto contenido de almidón resistente (mayor al 40% en peso seco) en el plátano verde lo convierte en el insumo ideal para la preparación de productos ricos en fibra prebiótica, libres de gluten y de bajo índice glucémico (P. S. Kumar et al., 2023).

En general, la producción de harinas de plátano (HP) involucra el secado del fruto, una de las operaciones unitarias más usadas para la preservación de los alimentos al reducir la actividad de agua (a_w) y, consecuentemente, la actividad microbiológica; además, confiere cambios físicos y químicos durante el proceso y almacenamiento. Diversidad de investigaciones han utilizado el secado convectivo (CD) para la obtención de HP (Asif-Ul-Alam et al., 2014; Astudillo-Heras & Sánchez-Salamea, 2019; Bello-Pérez et al., 2024a; Kumar et al., 2019; Montoya et al., 2016; Ovando-Martínez et al., 2009; Padhi & Dwivedi, 2022; Singh et al., 2017) y HP fortificadas con componentes bioactivos (CBA): Bamigbola et al., 2016 sustituyeron la harina de trigo por HP y de chufa (> 30%), mejorando su calidad nutricional; Olugbuyi et al., 2023, obtuvieron una harina a base de plátano verde, soya y salvado de arroz, con elevada actividad antioxidante, índice y carga glucémicos del 38% y 28%, respectivamente, y capacidad para reducir la glucemia de las ratas diabéticas. Oluwajuyitan & Ijarotimi, 2019 desarrollaron una harina de plátano verde, chufa y soya desgrasada (51,0, 11,5 y 37,4%, respectivamente). Otras tecnologías también se han utilizado para procesar harina de plátano: extrusión (Giraldo-Gómez et al., 2019; Iguarán et al., 2020), secado al vacío (Anyasi et al., 2015), liofilización (Asif-Ul-Alam et al., 2014) y secado solar (Bonik et al., 2024) son algunos desarrollos recientes.

El impacto de las tecnologías de secado sobre las matrices alimentarias depende principalmente de su principio de deshidratación y condiciones de operación (Ermis, 2021), y son objeto de estudio por

la comunidad científica. Varios métodos de secado de alimentos han sido desarrollados (Mahanti et al., 2021; Mujumdar & Xiao, 2019; Seth et al., 2017; Silva-Espinoza et al., 2021) pero ninguno ofrece productos económicos y de alta calidad (Ocoró-Zamora & Ayala-Aponte, 2013). El secado por ventana de refractancia (RWD) (MCD Technologies, Inc y Maggon, 1996) ha cobrado gran relevancia en los últimos años pues permite obtener alimentos estables empleando temperaturas moderadas (50 – 90°C) y bajos tiempos (< 3h), provocando bajo impacto sobre los CBA y sustancias termolábiles en los productos, otorgándoles funcionalidad y características sensoriales deseadas (Ochoa-Martínez et al., 2012). Se destaca que la eficiencia energética del RWD se mejora al acoplar la energía solar en el proceso, reduciendo el consumo energético y haciéndola más accesible y disminuyendo la dependencia de fuentes de energía convencionales (Ahmad et al., 2022).

Aunque el RWD es un método reciente, se ha utilizado ampliamente para el secado de un diverso rango de productos: granada (Tontul & Topuz, 2017), papaya (Ocoró-Zamora & Ayala-Aponte, 2013), mango (Ochoa-Martínez et al., 2012), banana malbhog (Dadhaneeya et al., 2023), kiwi (Azizi et al., 2017), zapote (Jalgaonkar et al., 2020), manzana (Rajoriya et al., 2019), ñame blanco (Santos et al., 2022), zanahoria (Hernández-Santos et al., 2016) y tomate (Castoldi et al., 2015). Padhi et al., 2022 y Padhi & Dwivedi, 2022 han comparado las harinas de plátano producidas por RWD (85°C) y por CD (60°C), concluyendo que RWD reduce el tiempo de secado y garantiza una buena calidad: humedad (Xw) = 7,3±0,1%, a_w = 0,280±0,050, solubilidad (S) = 7,2±0,4%, higroscopicidad (Hy) = 5,4±0,5%, índice de absorción de agua = 2,25±0,30 g/g y gránulos de almidón sin estructura alterada; mientras que, el CD: Xw = 11,3±0,6%, aw = 0,390±0,070, S = 6,3±0,2%, Hy = 6,94±0,45%, WAI = 3,01±0,21g/g.

Por otro lado, los probióticos y prebióticos son CBA cada vez más utilizados en los procesos de secado (Yao et al., 2020), debido al beneficio fisiológico al organismo huésped (FAO & OMS, 2006), resaltando que los prebióticos son alimentos que actúan como sustrato para los probióticos (Rodríguez-Barona et al., 2016). En los últimos años, el RWD se ha aplicado para la microencapsulación de probióticos como estrategia para protegerlos, incrementando su viabilidad durante el procesamiento, almacenamiento y consumo (Nunes et al., 2018), y consecuentemente, otorga funcionalidad a los productos alimenticios deshidratados (Rodríguez-Restrepo et al., 2017a). Diversas investigaciones han estudiado la influencia que tienen los prebióticos en la conformación de las microcápsulas protectoras y, consecuentemente, sobre la supervivencia de los probióticos (Olivera & González-Molero, 2016; Ormaza-Zapata et al., 2019; Ramani & Ramani, 2018; Rashidinejad et al., 2020; Rodríguez-Barona et al., 2012, 2016; Rodríguez-Restrepo et al., 2017).

Bajo este contexto anterior, el objetivo de la investigación fue desarrollar una HP fortificada con prebióticos y probióticos, utilizando la tecnología de RWD.

Materiales y métodos

Materias primas

Se utilizó plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) variedad Dominico Hartón (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 1976) (Armenia, Colombia); además, maltodextrina (MD) con dextrosa equivalente 19-20 (Ingredión, Colombia S.A., Colombia) como agente encapsulante, inulina (Fibruline S20, COSUCRA, Bélgica) como fibra prebiótica, y ácido cítrico grado USP (Weifang, China) como antipardeante. Se empleó la bacteria *Bacillus coagulans* ATCC 7050 (Annar Diagnóstica Import, Colombia) como microorganismo probiótico; además, se utilizó MRS caldo, MRS agar (Man, Rogosa y Sharpe, Scharlau) y agua peptonada tamponada (ISO, Scharlau) para la evaluación de su viabilidad.

Obtención de biomasa probiótica

B. coagulans fue reactivado en MRS caldo a 37°C por 48 h a condiciones aerobias, y la biomasa fue recuperada por centrifugación a 5500 rpm por 10 min y lavada dos veces con solución salina estéril isotónica respecto al medio de cultivo líquido (Zhou et al., 2023).

Preparación de suspensiones de plátano verde

Se prepararon lotes de 500 g de una suspensión preliminar sin probiótico (SPSP), cuya composición consistió en MD (1.58%p/p), INU (1.58%p/p), ácido cítrico (0.32%p/p) y el porcentaje restante de una mezcla de plátano y agua, ajustada a una fracción másica de sólidos totales aportados por el plátano (X_{TS}) de 0.18, 0.21 y 0.24. El proceso de preparación de las suspensiones se realizó en tres etapas: 1) homogenización en una licuadora Oster (referencia BLST4655) a 2000 rpm durante 5 minutos, donde inicialmente se disolvió la MD, INU y ácido cítrico en el contenido de agua y luego se incorporó el plátano troceado, 2) homogenización en Ultraturrax T50 (IKA® Works, Inc., USA) a 7600 rpm por 5 minutos. Estas suspensiones fueron utilizadas para la optimización del proceso de secado por ventana de refractancia sin incorporación de probióticos (HPSP).

Caracterización fisicoquímica de suspensiones

La Xw fue determinada según protocolo AOAC 20.013 modificado (Association of Official Analytical Chemist [AOAC], 1990), usando secado convectivo a 105°C durante 5 horas; los sólidos totales (TS) representan la diferencia de (1-Xw)*100. La viscosidad (μ) se determinó en un reómetro (Brookfield DV-III Ultra, Brookfield Engineering Laboratories, Inc, USA) con husillo RV3 (suspensiones con X_{TS} de 0.18 y 0.21) y husillo RV4 (suspensión con X_{TS} de 0.24), y con velocidades de deformación desde 0.01 hasta 100 rpm, reportándose a 100 rpm (Wardy et al., 2014). El potencial zeta (ζ) se determinó según las metodologías descritas por (Wellala et al., 2020) y (Tamnak et al., 2016), con un Zetasizer Nano ZS90 (Malvern Instruments Ltd., Worcester, UK), diluyendo la

suspensión en agua desionizada (1:100) y midiendo 1 mL en una celda de electroforesis capilar DTS 1060.

Proceso de ventana de refractancia y molienda

Para la evaluación del proceso del RWD a la SPSP, se utilizó un secador por ventana de refractancia serie 1531 (Industrias Centricol S.A.S., Colombia) de configuración estática y con extractor de aire incorporado en la parte superior. Las suspensiones fueron depositadas sobre Mylar™ con dimensiones de 0.35 m (largo) x 0.29 m (ancho) x 2.6 x 10^{-4} m (espesor), y el conjunto reposaba sobre agua caliente. La masa de carga de la suspensión de plátano se fijó en función de un molde de acero inoxidable de 2 mm de altura e igual área de la superficie del Mylar™. La evaluación del proceso RWD utilizó la metodología de superficie de respuesta con un diseño experimental central compuesto cara centrada (α=1), con 6 puntos centrales y 20 experimentos. Se consideraron las variables independientes: X_{TS} (0.180 – 0.240), temperatura del agua (T) (50 – 70°C) y tiempo (t) (2 – 3 h); y las variables dependientes (triplicados): humedad (X_w), actividad de agua (a_w), solubilidad (S), higroscopicidad (Hy), humectabilidad (*We*), diámetro de partícula de superficie equivalente ($D_{[3,2]}$) y ángulo de reposo (α).

El material seco obtenido fue desintegrado usando un molino IKA® modelo MF10 utilizando cabezal de corte MF10.1 (Werke GmbH & Co.KG, Germany) durante 1 min a 3000 rpm y malla MF 2.0 de 2 mm de diámetro de apertura. Las muestras fueron empacadas en bolsa Flex Up PET metalizado/flexible (PA-PE) con permeabilidad al vapor de agua (<1cm^3/(m^2*24h*atm)) y O_2 (<1g/(m^2*24h*atm)), y barrera a la radiación UV (ALICO S.A.S, Colombia) hasta su medición.

Análisis estadístico, optimización y modelamiento matemático del RWD

La significancia estadística de las variables dependientes de la caracterización de las suspensiones y de las harinas fue determinada por análisis de varianza **(**ANOVA**)** ($p<0.05$), utilizando el método LSD (diferencias mínimas significativas) como método de comparación múltiple únicamente para las suspensiones, empleando el software Statgraphics Centurion XVII®. Las variables dependientes fueron modelizadas utilizando un modelo polinómico de segundo orden (Ec. 3), donde Y es la variable dependiente, B_0, B_i, B_{ii}, B_{ij} son los coeficientes de regresión, x_i y x_j indican el efecto lineal, x_i^2 el efecto cuadrático, y x_{ij} **e**l efecto interactivo entre dos variables independientes. El ajuste de los modelos matemáticos se evaluó mediante el coeficiente de determinación (R^2). Adicionalmente, se realizó una optimización experimental de múltiples respuestas, teniendo en cuenta los resultados del ANOVA y fijando criterios, pesos e impactos en las variables dependientes que favorezcan la calidad de la harina diseñada. La validación de los modelos se realizó a partir del error medio relativo (EMR) (Ec. 4), comparando los valores de la variable dependiente predicha y la experimental a la condición óptima.

$$\boldsymbol{Y = B_0 + \sum_{i=1}^{n} B_i x_i + \sum_{i=1}^{n} B_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} B_{ij} x_{ij}} \qquad \textit{(Ec. 1)}$$

$$\boldsymbol{EMR}\ (\%) = \left|\frac{\boldsymbol{Valor\ predicho - Valor\ experimental}}{\boldsymbol{Valor\ predicho}}\right| \boldsymbol{x100} \qquad \textit{(Ec. 2)}$$

Caracterización de las harinas

Las propiedades Xw, TS, se determinaron como se describió anteriormente. La a_w se determinó en un higrómetro de punto de rocío (AquaLab Series 3 TE) siguiendo la norma AOAC 978.18 (AOAC, 2012). La S se determinó siguiendo la metodología de Cano-Chauca et al. (2005) con algunas modificaciones (Marín-Arango et al., 2023). La Hy se determinó por el método estático para isotermas de sorción (tiempo 4 semanas), utilizando una solución saturada de ioduro de potasio (KI) con a_w de 0.689 a 25°C, y una cámara Memmert ICH-256-L a 25°C controlada a humedad relativa del 65% (Eraso-Grisales et al., 2023a). La *We* se determinó como el tiempo que toma la inmersión completa de 1 g de harina en 150 mL de agua a 25°C (H. Castaño-Peláez et al., 2022). El $D_{[3,2]}$ se determinó mediante difracción de luz láser en un Mastersizer 3000 (Malvern Instrument Ltd,, Worcestershire, UK), sistema Aero S, según la metodología descrita por Dahdouh et al., 2018a, y fijando el índice de refracción del plátano en 1,368, del agua en 1,33, y de la partícula en 0,45, con un nivel de obscuración del láser en 8. El α se determinó según la metodología de Ortega-Rivas et al. (2005)

Almacenamiento

Para el estudio de almacenamiento, a la SPSP utilizada en la optimización del proceso de RWD, se le incorporó la biomasa probiótica del 2 al 8%p/p al final de la segunda etapa de homogenización y se evaluó su viabilidad por efecto del proceso. La suspensión de plátano con probióticos (SPCP) para el estudio de almacenamiento, se seleccionó con base en los resultados de la concentración celular viable (N), la viabilidad del microorganismo y el rendimiento de encapsulación (RE) después de RWD.

El estudio de almacenamiento de la harina de plátano con probióticos (HPCP) se realizó en tres cámaras de estabilidad Memmert ICH-256-L (humedad relativa = 65%), se utilizó un diseño factorial completamente aleatorizado, considerando las variables independientes: tiempo (0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses) y temperatura (15, 25 y 35°C) y las variables dependientes: Xw, a_w, S, Hy, We, α y N. Las muestras se almacenaron en bolsas Flex Up PET metalizado/flexible (PA-PE) con baja permeabilidad al vapor de agua ((<1cm^3/(m^2*24h*atm)) y al O_2 ((<1g/(m^2*24h*atm)) (Alico S.A.S, Colombia). La significancia estadística de las variables dependientes fue determinada mediante análisis de varianza **(**ANOVA**)** ($p<0.05$), utilizando el software Statgraphics Centurion XVII®.

La viabilidad celular (Suwanangul et al., 2023) y el RE (Suwanangul et al., 2023; Zhou et al., 2023) fueron estimados a partir de la concentración de células viables (UFC/g) (método estándar de conteo en placa) en la SPCP (No) y en la HPCP (N), empleando las Ec. 1 y 2, respectivamente.

$$\boldsymbol{Viabilidad}\ (\%) = \frac{\log\ (N)}{\log\ (No)}\boldsymbol{x}\ \mathbf{100} \qquad \textit{(Ec. 3)}$$

$$\boldsymbol{RE}\ (\%) = \frac{\boldsymbol{N}}{\boldsymbol{No}}\boldsymbol{x}\ \mathbf{100} \qquad \textit{(Ec. 4)}$$

Todas las propiedades durante el almacenamiento fueron evaluadas por triplicado.

Resultados y análisis

Caracterización fisicoquímica de suspensiones

Los resultados de la caracterización fisicoquímica de las suspensiones de plátano verde con X_{TS} de 0.18, 0.21 y 0.24 se presentan en la Tabla 2.1. Los valores medios de Xw fluctuaron entre 75.3 y 78.9 % y los TS entre 21.1 y 24.7%, lo que hace que las suspensiones sean sustratos adecuadas para el crecimiento de microorganismos benéficos, alterantes y patógenos (Salazar et al., 2015). Los valores de SS no fueron significativos ($p<0.05$) con respecto a X_{TS}; sin embargo, estos contribuyen a la supervivencia del microrganismo probiótico (Shori, 2016). Los valores medios de μ de las suspensiones fluctuaron entre 395 y 844,7 cP, observándose una relación directamente proporcional con el contenido de TS, lo cual era esperado dado el mayor contenido de carbohidratos presentes (almidones, azúcares, protopectina insoluble, pectina soluble) (Ozuna, 1992), que potencia las fuerzas intermoleculares y las interacciones agua-soluto (López-Esparza et al., 2015). Por otro lado, es bien conocido el efecto que tienen los carbohidratos de bajo peso molecular que son solubles en fase acuosa sobre la μ, pues tienen la capacidad de formar puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo (OH) de la glucosa y otros mono y disacáridos, y las moléculas de agua, limitando su movilidad molecular y presentando mayor resistencia a fluir (Genovese & Lozano, 2006).

Tabla 2.1. *Caracterización de suspensiones de plátano verde.*

Propiedad	X_{TS}		
	0,18	**0,21**	**0,24**
Xw (%)	78,9 ± 0,3 [a]	77,5 ± 0,3 [ab]	75,3 ± 0,8 [b]
TS (%)	21,1 ± 0,3 [a]	22,5 ± 0,3 [ab]	24,7± 0,82 [b]
SS (°Bx)	4.5 ± 0.1 [a]	4.6 ± 0.1 [a]	4.6 ± 0.0 [a]
μ (cP)	395 ± 11,5 [a]	453 ± 31,2 [a]	844,7 ± 25,3 [a]
ζ (mV)	-5,4 ± 1,8 [a]	-23,2 ± 2,7 [a]	-25,2 ± 0,8 [a]

Los valores con una letra común dentro de la misma fila no difieren significativamente ($p<0,05$) acorde con la prueba LSD

Los valores medios de Xw fluctuaron entre 75.3 y 78.9 % y los TS entre 21.1 y 24.7%, lo que hace que las suspensiones sean sustratos adecuadas para el crecimiento de microorganismos benéficos, alterantes y patógenos (Salazar et al., 2015). Los valores de SS no fueron significativos ($p<0.05$) con respecto a X_{TS}; sin embargo, estos contribuyen a la supervivencia del microrganismo probiótico (Shori, 2016). Los valores medios de μ de las suspensiones fluctuaron entre 395 y 844,7 cP, observándose una relación directamente proporcional con el contenido de TS, lo cual era esperado dado el mayor contenido de carbohidratos presentes (almidones, azúcares, protopectina insoluble, pectina soluble) (Ozuna, 1992), que potencia las fuerzas intermoleculares y las interacciones agua-soluto (López-Esparza et al., 2015). Por otro lado, es bien conocido el efecto que tienen los carbohidratos de bajo peso molecular que son solubles en fase acuosa sobre la μ, pues tienen la capacidad de formar puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo (OH) de la glucosa y otros mono y disacáridos, y las moléculas de agua, limitando su movilidad molecular y presentando mayor resistencia a fluir (Genovese & Lozano, 2006).

Los valores de ζ mostraron una alta fluctuación: desde -5,4 ± 1,8 hasta -25,2 ± 0,8, lo que denota alrededor de las partículas un potencial eléctrico negativo en la proximidad de la capa de coiones, y una relación directa con el mayor contenido de TS presentes en la suspensión. Esto es coherente con el mayor contenido de aniones provenientes de las sales (especialmente P y I) y ácidos (principalmente ácido galacturónico) presentes en el plátano (Bello-Pérez et al., 2024b; Ozuna, 1992). Este mayor potencial eléctrico negativo en el entorno de las partículas de la suspensión confiere una segunda capa eléctrica positiva (cationes como K, Na, Ca, Fe, Zn y Mg) (Ozuna, 1992) o capa difusa, que favorece las fuerzas repulsivas entre partícula-partícula y una mayor estabilidad fisicoquímica del sistema coloidal (Genovese & Lozano, 2001, Fustier et al., 2010). La estabilidad fisicoquímica de la suspensión está gobernada principalmente por el balance de las fuerzas repulsivas y las fuerzas atractivas (fuerzas de Van der Waals), donde estas últimas están relacionadas directamente con las interacciones dipolo permanentes o inducidos y las interacciones de moléculas no polares, que se potencian con el mayor tamaño de las partículas (Genovese & Lozano, 2006). Otros tipos de fuerzas podrían estar participando, pero en menor proporción: estéricas, de hidratación, hidrofóbicas y de separación de fases (Yu et al., 2016; D. Zhu et al., 2020). Algunos autores recomiendan que el límite de ζ en sistemas coloidales debería ser del orden de |30| mV (Cano-Sarmiento et al., 2018).

Secado por ventana de refractancia

La Tabla 2.2 presenta los valores medios y la desviación estándar de las variables dependientes de la HPSP según el diseño experimental; además, la Tabla 2.3 presenta los valores p correspondientes al ANOVA. En general, el ANOVA mostró diferencias significativas ($p<0.05$) para todas las variables analizadas, excepto en S y α, lo que demuestra el efecto prominente que tienen las variables independientes sobre los atributos de calidad de la HPSP.

- **Humedad (Xw) y actividad de agua (a_w)**

La Xw y a_w presentaron fluctuaciones entre 4,5 ± 1,2 - 12,1 ± 0,2% y 0,135 ± 0,007 - 0,629 ± 0,002 respectivamente (Tabla 2), siendo resultados similares obtenidos por Padhi et al. (2022) y Padhi & Dwivedi (2022) en HP verde usando RWD a 85°C por 80 min (Xw = 7,26 ± 0,11% y a_w = 0,28 ± 0,05). La Xw presentó diferencias estadísticas ($p<0.05$) con respecto a T y t y a las interacciones lineales X_{TS} – t y T – t; mientras que la a_w presentó diferencias con respecto a X_{TS}, T y t, y a las interacciones X_{TS} – T, T – t y t-t. La Figura 2.1 presenta las gráficas de volumen y superficie de respuesta de la Xw y a_w de la HPSP.

Tabla 2.2. *Resultados de las variables dependientes de la HPSP según diseño experimental.*

Corrida	Variables independientes			Variables dependientes						
	X_{TS}	T (°C)	T (min)	Xw (%)	aw	S (%)	Hy (%)	*We* (s)	$D_{[3;2]}$ (µm)	α (°)
1	0,24	70	2,0	5,2 ± 0,1	0,240 ± 0,010	16,0 ± 1,8	7,2 ± 0,3	7,0 ± 0,3	78,4 ± 6,5	9,5 ± 0,3
2	0,21	60	2,5	7,5 ± 0,2	0,243 ± 0,006	16,2 ± 1,8	7,5 ± 0,3	36,7 ± 4,5	49,7 ± 8,5	11,5 ± 2,1
3	0,21	60	3,0	5,9 ± 0,0	0,171 ± 0,004	15,9 ± 0,9	8,6 ± 0,1	19,0 ± 7,6	73,6 ± 2,1	11,6 ± 0,4
4	0,24	60	2,5	6,7 ± 0,1	0,204 ± 0,006	19,6 ± 6,7	8,6 ± 0,1	25,4 ± 6,3	80,0 ± 7,8	8,9 ± 0,3
5	0,18	60	2,5	6,2 ± 0,4	0,234 ± 0,001	15,4 ± 0,3	7,1 ± 0,0	31,7 ± 7,5	73,9 ± 6,1	10,6 ± 0,4
6	0,24	70	3,0	5,2 ± 0,2	0,147 ± 0,004	14,5 ± 2,3	9,2 ± 0,1	31,2 ± 2,4	97,9 ± 16,1	9,1 ± 1,3
7	0,21	60	2,5	6,9 ± 0,2	0,229 ± 0,013	18,4 ± 0,8	7,5 ± 0,2	34,7 ± 15,8	81,6 ± 1,1	19,7 ± 3,0
8	0,21	60	2,5	6,6 ± 0,2	0,191 ± 0,004	15,8 ± 0,8	8,1 ± 0,3	42,9 ± 4,0	98,9 ± 13,7	21,3 ± 3,1
9	0,21	60	2,5	6,7 ± 0,1	0,260 ± 0,002	13,6 ± 0,9	7,2 ± 0,2	42,7 ± 10,2	102,9 ± 10,1	14,9 ± 4,7
10	0,18	70	2,0	6,6 ± 0,1	0,243 ± 0,003	20,3 ± 2,7	7,0 ± 0,3	40,2 ± 3,8	117,7 ± 9,9	7,6 ± 0,4
11	0,21	60	2,5	6,8 ± 0,0	0,226 ± 0,001	16,0 ± 0,5	7,1 ± 0,1	40,7 ± 2,3	102,0 ± 7,1	7,5 ± 0,3
12	0,18	50	2,0	12,1 ± 0,2	0,629 ± 0,002	17,5 ± 0,4	0,3 ± 0,0	88,7 ± 2,1	151,0 ± 39,4	9,4 ± 1,6
13	0,24	50	3,0	7,9 ± 0,1	0,264 ± 0,004	15,2 ± 1,4	6,8 ± 0,3	38,7 ± 3,6	107,0 ± 2,0	7,3 ± 1,3
14	0,21	50	2,5	8,7 ± 0,2	0,281 ± 0,008	16,1 ± 0,9	6,1 ± 0,4	32,9 ± 3,8	78,6 ± 30,4	24,3 ± 4,3
15	0,18	50	3,0	7,7 ± 0,4	0,323 ± 0,005	13,3 ± 0,7	5,4 ± 0,0	88,9 ± 20,2	159,7 ± 16,4	10,0 ± 0,1
16	0,21	60	2,0	6,5 ± 0,1	0,315 ± 0,002	14,7 ± 0,3	6,7 ± 0,1	39,6 ± 3,3	197,3 ± 36,9	11,7 ± 2,6
17	0,21	60	2,5	6,5 ± 0,1	0,196 ± 0,009	16,1 ± 0,2	8,1 ± 0,0	50,7 ± 4,2	62,0 ± 8,1	9,6 ± 0,7
18	0,21	70	2,5	5.0 ± 0,3	0,135 ± 0,007	11,4 ± 0,1	9,2 ± 1,1	43,1 ± 3,2	226,3 ± 51,7	10,5 ± 3,3
19	0,18	70	3,0	4,5 ± 1,2	0,154 ± 0,013	18,5 ± 0,5	9.0 ± 0,1	62,6 ± 3,4	318,0±160,6	12,0 ± 1,0
20	0,24	50	2,0	10,4 ± 0,1	0,426 ± 0,003	13,8 ± 0,2	3,7 ± 0,1	37,0 ± 2,5	63,3 ± 30,4	14,8 ± 4,5

Tabla 2.3. *Valores p del ANOVA para las variables dependientes de la HPSP.*

Variable dependiente	Efectos principales			Efectos cuadráticos			Interacciones lineales		
	X_{TS}	T	t	X_{TS} - X_{TS}	T - T	t - t	X_{TS} - T	X_{TS} - t	T - t
Xw	0,3805	0,0000*	0,0004*	0,5269	0,1319	0,8529	0,6177	0,0348*	0,0144*
aw	0,0194*	0,0000*	0,0000*	0,2641	0,5292	0,0412*	0,0267*	0,1800	0,0147*
S	0,4382	0,5329	0,5169	0,1808	0,2679	0,9415	0,3619	0,4009	0,9336
Hy	0,0066*	0,0000*	0,0000*	0,2825	0,1152	0,1442	0,0297*	0,2913	0,0400*
We	0,0045*	0,0566	0,5691	0,9729	0,3042	0,9056	0,3984	0,9428	0,3162

$D_{[3;2]}$	0,0603	0,1648	0,4431	0,4381	0,2157	0,4194	0,4907	0,4013	0,3379
α	1,0000	0,2835	0,8461	0,1400	0,3051	0,3674	0,7883	0,3616	0,4305

* Diferencias significativas ($p<0.05$)

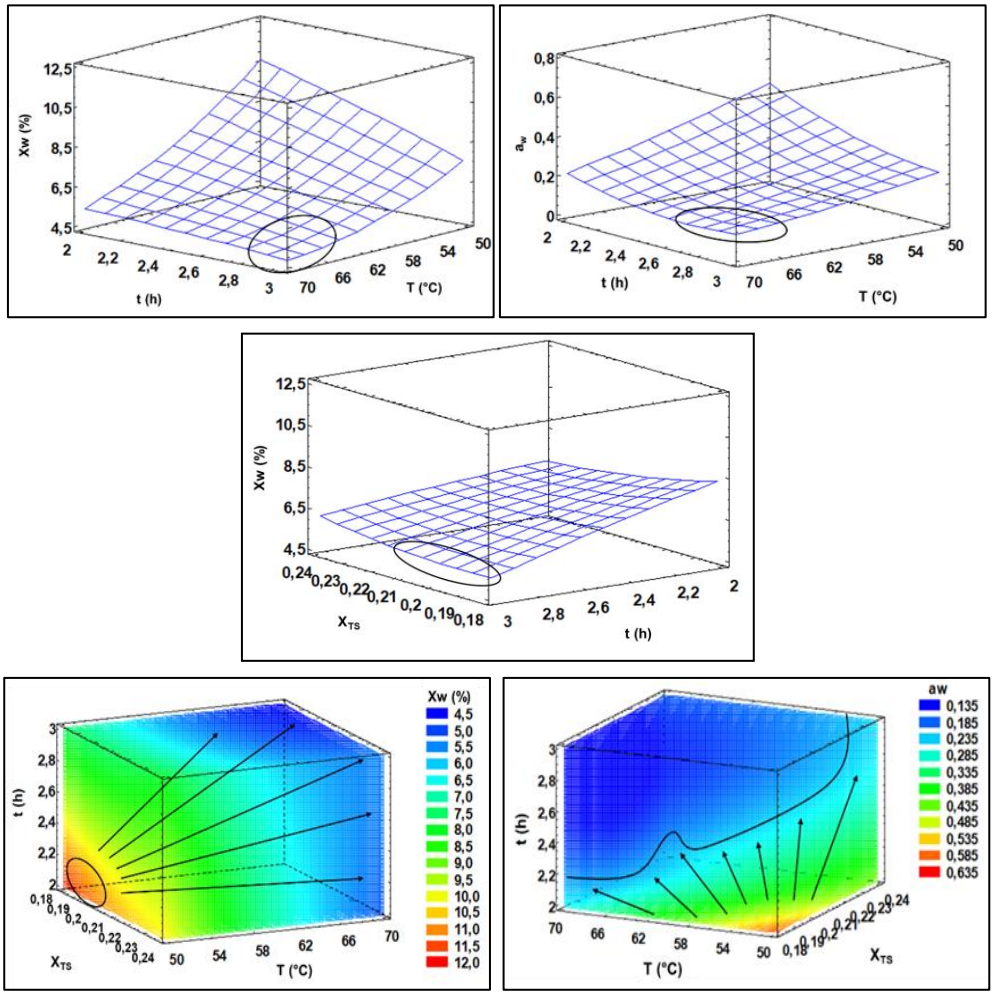


Figura 2.1. *Gráficos de superficie y volumen de respuesta de Xw y aw de la HPSP.*

Los gráficos de superficie de respuesta muestran que el comportamiento de la Xw y a_w de la HPSP presentaron comportamientos similares, incrementando con la disminución del t y la T, potenciándose con la interacción lineal T-t. Este comportamiento resulta coherente debido al menor t de deshidratación del producto y a la menor fuerza motriz a la transferencia de calor que experimenta el Mylar en sus dos superficies (lado agua – lado producto), lo cual favorece una menor presión de vapor en la superficie del producto que contribuye a leves reducciones de Xw y a_w (Ortiz-Jerez & Ochoa-Martínez, 2015). El aumento de la T favorece la difusión del agua en el producto, disminuyendo la Xw y aw (Ochoa-Martínez et al., 2012). Por otro lado, la interacción negativa X_{TS}-t mostró que existe una tendencia lógica de incrementar la Xw a bajos valores de X_{TS} (> contenido de agua en la formulación) y bajos t de proceso. Las gráficas de volumen de respuesta ilustran amplios rangos de las variables independientes para obtener conjuntamente los menores valores de

Xw y a_w, que favorezca su estabilidad microbiológica durante el almacenamiento (Ocoró-Zamora & Ayala-Aponte, 2013): t = 2,4 – 3,0 h, T = 60 – 70 °C, y en todo el rango evaluado de X_{TS}.

- **Solubilidad (S)**

La S presentó fluctuaciones entre 11,4 ± 0,1 y 20,3 ± 2,7%, valores que no son típicos de polvos instantáneos (Giraldo-Gómez et al., 2019). Estos resultados indican la poca capacidad de reconstitución de la HPSP, la cual depende esencialmente de su composición. La presencia de almidones, hemicelulosa, celulosa, lignina, protopectina insoluble, pectina soluble (Ozuna, 1992), o algún complejo formado entre estos carbohidratos con la MD e INU durante el proceso, forman una resistencia a la difusión de agua al interior de la estructura. Algunos autores han reportado una afectación de la S (7,2 ± 0,4 %) por la limitada modificación estructural del almidón de plátano durante el RWD (Padhi & Dwivedi, 2022), mientras que otras investigaciones han alcanzado mejores valores de S (80,6 ± 1,2%) en HP pregelatinizada logrando modificar la estructura y morfología del almidón de plátano al someterlo a procesos de extrusión (Giraldo-Gómez et al. (2019).

El ANOVA no mostró diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$) de S respecto a ninguna de las variables independientes evaluadas ni con sus interacciones lineales o cuadráticas. La Figura 2.2 presenta la gráfica de volumen de respuesta de S de la HPSP, donde se evidencia un predominio de los valores intermedios de S en la zona verdosa (14 – 17%); mientras que, los valores mayores y menores de S se presentaron cuando las X_{TS} en la formulación fueron de 0,18 y 0,24, respectivamente. Esto podría ser atribuible al mayor carácter hidrofílico que experimenta la HPSP al contener una mayor Xw y a_w, facilitando su disolución en un entorno acuoso (Padhi & Dwivedi, 2022). En general, las condiciones de las variables independientes que favorecen una mayor S en la HPSP fueron las siguientes: X_{TS} = 0,18 – 0,19, t = 2,0 – 2,4 h, y T = 60 - 70°C.

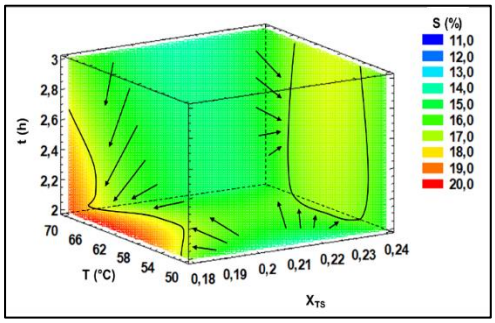


Figura 2.2. *Volumen de respuesta de S de la HPSP.*

- **Higroscopicidad (Hy)**

Los valores medios de la Hy de la HPSP fluctuaron entre 0,3 ± 0,01 y 9,2 ± 0,1 %, lo cual denota que la HPSP presenta un bajo nivel de absorción de agua a niveles medios, como consecuencia de la poca o ligera afinidad de los puntos activos o grupos funcionales de la superficie de las partículas

con la molécula de agua en condiciones de humedad relativa controlada del 68,9% y temperatura de 25°C. Esta fenomenología podría favorecer al HPSP, debido a que contribuye a reducir la cohesividad, apelmazamiento, pegajosidad y en general mejora la fluidez del producto durante el almacenamiento (Daza et al., 2016; Marín-Arango et al., 2023).

El ANOVA mostró diferencias significativas de la Hy ($p<0.05$) con respecto a los efectos principales de X_{TS}, T y t, y a las interacciones lineales X_{TS} – T y T – t. La Figura 2.3 presenta los gráficos de superficie y volumen de respuesta de la Hy de la HPSP, observándose mayores valores de Hy con el incremento de X_{TS}, T y t. Esta situación se asocia a que el mayor aporte de sólidos por parte del plátano contribuye a un mayor contenido de puntos activos en la superficie que favorece una mayor afinidad a la adsorción del agua del entorno; adicionalmente, el incremento del t y la T produce una estructura seca con menor Xw y aw, lo que genera una mayor fuerza motriz a la transferencia de masa desde el entorno a la HPSP (Marín-Arango et al., 2023). Ahora bien, el efecto de las interacciones X_{TS} – T y T – t fue positivo, lo que se refleja principalmente con el incremento de Hy a altos valores de X_{TS} y t y altos valores de T y t, y viceversa (ver elipse en cada gráfico de superficie de respuesta). En general, el gráfico de volumen de respuesta permite apreciar que las condiciones más favorables para minimizar Hy fueron: X_{TS} = 0,18 – 0,20, T = 50 - 54°C y t = 2 – 2,4 h.

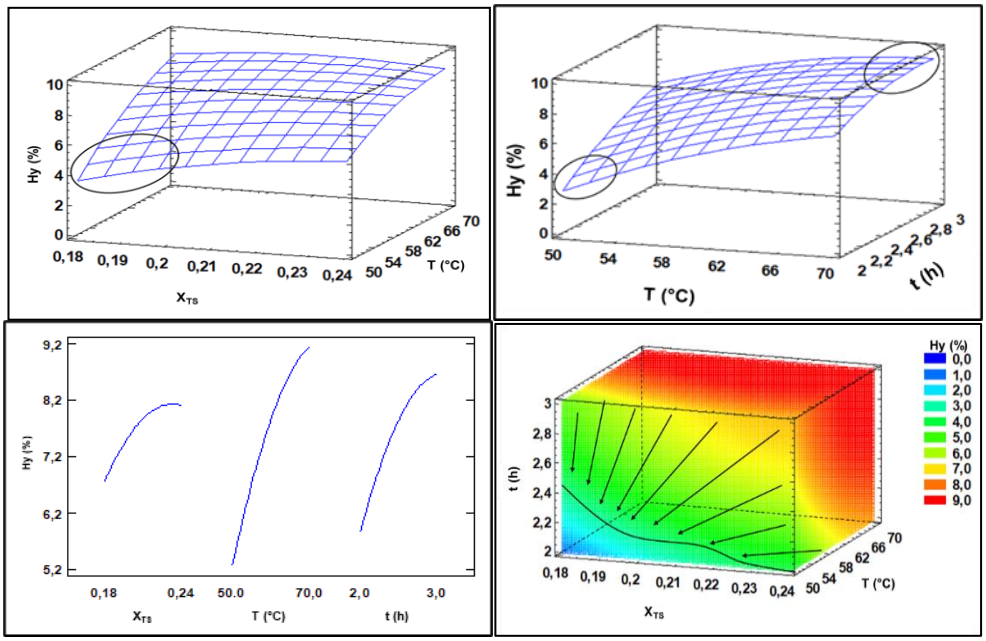


Figura 2.3. *Gráficos de superficie y volumen de respuesta de Hy de la HPSP.*

Valores similares han sido reportados en HP verde procesada por RWD (5,4%) y por secado convectivo (6,9%) (Padhi & Dwivedi., 2022), en yogurt en polvo producido por RWD (9,8 -10.1%) (Tontul et al., 2018a), y en polvos de frutas obtenidos por secado por aspersión: cagaita (13,8 - 19,4%) (Daza et al., 2016), jujube (16,3 - 20,6 %) (Q. Chen et al., 2014), mango (18,8-26,9%) (Zotarelli et al., 2017) y uchuva (12,8 - 18,2%) (Cortés-Rodríguez et al., 2017).

- **Humectabilidad (*We*)**

Los valores medios de la *We* presentaron un rango de variación entre 7,0 ± 0,3 s y 88,0 ± 20,2 s, lo cual indica una variabilidad del nivel de adsorción de agua debido a las fuerzas capilares en la superficie, lo que le confiere una variación en la difusión del agua hacía el interior de la estructura seca (Eraso-Grisales et al., 2023b), muy relacionado con la reconstitución de la HPSP en un entorno acuoso y de otras propiedades como Hy, tamaño de partícula, densidad, porosidad y composición superficial de la HPSP (Ermiş, 2021). Bajo este contexto, el ANOVA mostró diferencias significativas de la *We* ($p<0,05$) con respecto al efecto principal X_{TS}.

La Figura 2.4 presenta las gráficas de superficie y volumen de respuesta de la *We* de HPSP. Se observa que la *We* mostró la tendencia de disminuir con el incremento de X_{TS}, lo cual resulta coherente debido a que, un mayor contenido de sólidos aportados por el plátano representa una mayor interacción de los grupos polares de la superficie de la HPSP durante la reconstitución con el entorno acuoso. Ahora bien, en un contexto global el gráfico de volumen de respuesta identificó los valores más favorables de la *We* (<<<) cuando las variables independientes fueron: X_{TS} altas (0,22 – 0,24), T altas (60 -70°C) y t en todo el rango evaluado (2,0 – 3,0 h).

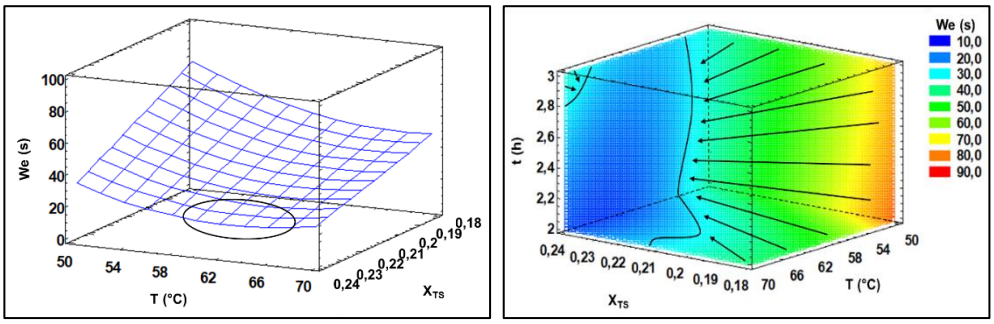


Figura 2.4. *Gráficos de volumen y superficie de respuesta de We de la HPSP.*

Algunos autores han reportado t similares en HP verde producida por extrusión (8,5 – 56,5 s) (Giraldo-Gómez et al., 2019), y en yogurt en polvo obtenido por diferentes tecnologías: liofilización (71,0 s) y RWD (21,5 – 57,5 s) (İ. Tontul et al., 2018b), secado por aspersión (132-378 s) (Seth et al., 2017) y (316 – 765 s) (Koç et al., 2014).

- **Tamaño de partícula ($D_{[3;2]}$)**

Los valores medios del $D_{[3,2]}$, presentaron fluctuaciones entre 49.7 ± 8.5 – 318,0 ± 160.6 µm. Sin embargo, el ANOVA no mostró diferencias estadísticas significativas ($p>0,05$) con respecto a todos los efectos principales ni con sus interacciones lineales y cuadráticas. Este comportamiento se asume que es debido a que el proceso de molienda no resulta incluyente con el proceso de RWD, dado que la desintegración de las láminas obtenidas depende principalmente de la energía proporcionado por el cabezal de corte del equipo y la malla de apertura utilizada. La Figura 2.5 presenta el gráfico de volumen de respuesta de la $D_{[3,2]}$ de HPSP, la cual permite identificar la zona que más favorece la

obtención de valores de $D_{[3,2]}$ menores; debido a que se presenta una mayor área superficial y un mayor número de sitios activos por los que la HPSP tiene la capacidad de formar puentes de hidrógeno entre sus grupos hidroxilo (OH) expuestos y el agua (Ortega-Rivas et al., 2005): X_{TS} (0,23 – 0,24), T (54 -66°C) y t en todo el rango (2,0 – 3,0 h). Adicionalmente, este mismo comportamiento también explica por qué a estas condiciones se obtienen polvos con baja *We* (Ortiz-Jerez & Ochoa-Martínez, 2015).

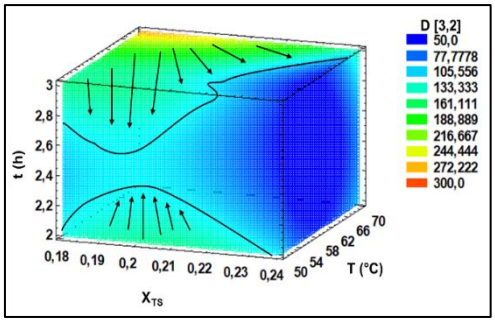


Figura 2.5. *Volumen de respuesta de $D_{[3,2]}$ de la HPSP.*

- **Ángulo de reposo (α)**

Los valores medios de α fluctuaron entre 7.3 ± 1.3 y 24.3 ± 4.3°, lo cual denota una excelente fluidez y baja cohesividad de la HPSP, de acuerdo con lo establecido por la normativa USP 30–NF 25, (2007): α < 30° (excelente fluidez), 31° < α < 35° (buena fluidez) y α > 36° (entre regular y mala fluidez). Esta situación podría ser atribuible a la presencia de la MD en la formulación, la cual contribuye a la reducción de las fuerzas de Van der Waals y a la reducción de la cohesividad de las partículas (< fuerzas de interacción partícula-partícula) de los polvos (Araújo et al., 2020). Otros autores, reportan que las características de fluidez de un polvo están relacionadas con el tamaño de partícula y la composición (Padhi & Dwivedi, 2022).

El ANOVA no mostró diferencias estadísticas significativas (p>0,05) con respecto a todos los efectos principales ni con sus interacciones lineales y cuadráticas. La Figura 2.6 presenta el gráfico de volumen de respuesta de α de la HPSP, donde no se observa un comportamiento definido respecto a las variables X_{TS}, T y t, lo que indica que su respuesta depende de las condiciones puntuales que se establezcan en el proceso. Por otro lado, se identifica principalmente una zona que favorece obtener una HPSP con bajos valores de α: X_{TS} = 0,24, en todo el rango de T y t, y casualmente coincide con las mejores alcanzadas para la HPSP con menor $D_{[3,2]}$. Por otro lado, el bajo contenido de carbohidratos de cadena corta en la HPSP limita las interacciones partícula-agua y partícula-partícula, lo que supone que la fluidez podría estar asociada a la relación área superficial/almidón (Padhi & Dwivedi, 2022; Savlak et al., 2016).

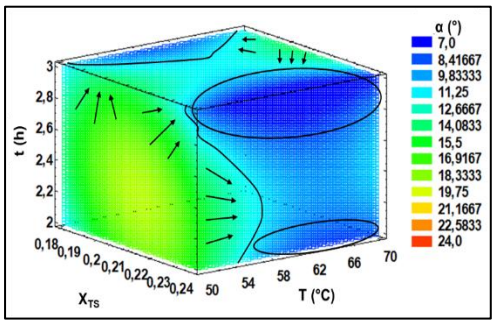


Figura 2.6. *Volumen de respuesta de α de la HP obtenida por RWD.*

Optimización del secado por ventana de refractancia

La Tabla 2.4 presenta los coeficientes de regresión de los modelos polinomiales de segundo orden de las variables dependientes del RWD para obtener la HPSP. En general, se observa que los modelos presentan valores de R^2 mayores a 0.94, indicando que fueron adecuados para describir la variabilidad de las variables, excepto para S, *We*, $D_{[3;2]}$ y α, con R^2 de 0.3654, 0,6945, 0,582 y 0,4652, respectivamente. Sin embargo, la prueba de falta de ajuste mostró que S y α fueron no significativos (p>0,05) (0,0812 y 0,7932, respectivamente), indicando que dichos modelos describen adecuadamente los datos observados; en cambio, existe una falta de ajuste estadísticamente significativa (p>0.05) para *We* y $D_{[3;2]}$ (0,0066 y 0,0075, respectivamente). Por otro lado, la distribución aleatoria de los residuales indica que los datos pueden ser parametrizados de acuerdo con la distribución normal (Eraso-Grisales et al., 2023b).

Tabla 2.4. *Coeficientes de regresión del modelo matemático de las variables dependientes de HPSP.*

Coeficiente	Xw	aw	S	Hy	*We*	D[3;2]	α
β_0	95,5394	7,3301	47,3626	-123,136	977,254	521,69	-188,648
X_{TS}	-218,664	-21,6567	-944,568	377,139	-1722,62	18063,8	2492,44
T	-1,27505	-0,066165	2,66382	1,63418	-18,8304	-53,4994	-4,23277
t	-14,9467	-1,8028	-8,31022	24,556	-88,9511	-563,523	59,147
X_{TS} - X_{TS}	256,54	27,2222	2290,58	-478,106	349,495	-31818,2	-5080,3
X_{TS} - T	0,354458	0,105	-2,67571	-1,875	15,5775	-49,5833	-1,5375
X_{TS} - t	33,6008	1,16667	49,1375	-16,4983	26	-1215	-106,583
T - T	0,00577786	0,000135	-0,0168123	-0,00653645	0,0978605	0,468636	0,0308273
T - t	0,122048	0,00715	-0,0143625	-0,104835	1,118	4,185	0,27475
t - t	-0,268055	0,194	-0,431309	-2,40118	4,39818	119,455	-10,7691
Residuales	0,3027	0,021	1,4018	0,3703	8,09735	35,685	2,5033
R^2	0,9442	0,9496	0.3654	0,9514	0,6945	0,582	0,4652

La optimización experimental de múltiples respuestas consideró todas las variables dependientes como función objetivo. La Tabla 5 presenta los criterios fijados para cada variable dependiente; además, se fijaron los pesos e impactos de acuerdo con el ANOVA. La deseabilidad que se alcanzó

en la optimización experimental fue del 68,0%, siendo las variables independientes: X_{TS} = 0,24, T = 68,4 °C y t = 2 h. Adicionalmente, se presentan los valores teóricos obtenidos de los modelos cuadráticos y los valores experimentales obtenidos a partir de 3 réplicas a la condición optima, y se determinó el EMR para cada variable para la validación de los modelos obtenidos. Los valores del EMR fueron menores al 13% para Xw, S y $D_{[3;2]}$, y los mayores correspondieron a a_w, Hy, *We* y α, coincidiendo con la calidad de los ajustes presentados por los modelos matemáticos respectivos, excepto para a_w y Hy. A pesar de esto, estas dos últimas variables exhibieron valores aptos para la estabilidad de la HPCP (Badui, 2006), y *We* y α mostraron valores típicos de polvos que denotan una reducción de la cohesividad, apelmazamiento, pegajosidad y en general mejora la fluidez del producto (Daza et al., 2016; Marín-Arango et al., 2023). La optimización experimental de múltiples respuestas para procesos de RWD en función de la deseabilidad ha sido efectivamente aplicada en remolacha (87,4%) (Mandale et al., 2023), maracuyá (17%) (Asiimwe et al., 2022), mango (96.9%) (Shende & Datta, 2020), puré (78%) y rodajas de piña (84%) (Muyonga et al., 2022), en jugo de banano extraído por enzimas (82%) (Handique et al., 2019) y en almidón de plátano esterificado y procesado por secado por aspersión (56.7%) (Chávez-Salazar et al., 2019).

Tabla 2.5. *Optimización experimental de múltiples respuestas para la HPSP.*

Variable dependiente	Criterio	Impacto	Peso	Óptimo teórico	Valor experimental	|EMR| (%)
X_w	Minimizar	1,0	4,0	5,3	4,99 ± 0,27	5,9
a_w	Minimizar	2,0	5,0	0,238	0,16 ± 0,01	31,5
S	Maximizar	0,5	3,0	15,4	13,79 ± 0,98	10,4
Hy	Minimizar	1,0	4,0	7,5	14,51 ± 0,32	93,5
We	Minimizar	1,0	4,0	14,7	24,05 ± 0,77	63,6
$D_{[3,2]}$	Minimizar	0,5	3,0	84,0	80 ± 7,8	4,8
α	Minimizar	0,5	3,0	8,0	15 ± 0,8	87,5

Harina de plátano adicionada con probióticos

La Tabla 2.6 presenta la viabilidad y RE del *B. coagulans* ATCC 7050 en HP procesada por RWD a la condición óptima (X_{TS} = 0,24, T = 68,4°C, t = 2 h), en donde se aprecian valores de viabilidad probiótica > 85%, evidenciando una alta tasa de supervivencia del probiótico después del secado (Cayra et al., 2017). Bajo estas condiciones, la mejor viabilidad fue obtenida usando una concentración de biomasa de 8 % p/p. Para 2%p/p, se obtienen conteos celulares del orden de 7 Log UFC/g, una condición que apenas cumple con la legislación colombiana para alegar funcionalidad probiótica en alimentos (6 Log UFC/g) (Ministerio de Salud y Protección Social, 2021), resultando insatisfactorio si se tiene en cuenta la pérdida de viabilidad celular en el almacenamiento (Iguarán et al., 2020; Lapsiri et al., 2012; Tripathi & Giri, 2014; C. Zhang et al., 2020). Por otro lado, se resaltan altos conteos celulares iniciales para 6 y 8%p/p de biomasa, con una disminución por efecto del RWD de 1.4 y 1 unidades logarítmicas, respectivamente, similares a las reportadas por Yoha et al. (2020a). La presencia de MD e INU en la matriz tienen un papel clave en la supervivencia del probiótico, entre otras cosas por su carácter termoprotector, además de que se ha reportado la capacidad de *B. coagulans* de metabolizar ambos prebióticos (Suwanangul et al., 2023). Por otro

lado, la termorresistencia de la cepa garantiza una mayor supervivencia cuando es sometida a procesos de secado (Glaser & Venus, 2017).

El efecto del RWD sobre la cepa probiótica puede explicarse usando estudios termográficos que evidencian un gradiente de temperatura en el alimento al secarse por esta tecnología, los cuales evoluciona con el tiempo (Zotarelli et al., 2015). Bajo este contexto, Aragón-Rojas et al. (2019b) explican que, al inicio de la operación, la temperatura aumenta de manera lenta y gradual, permitiendo la adaptación del microorganismo. Al mismo tiempo, los componentes de la matriz, específicamente los prebióticos, tienen un papel protector de las células probióticas (Rodríguez-Barona et al., 2012, 2016). A medida que la deshidratación continúa, las cadenas de MD e INU pudieron interactuar con fragmentos de amilopectina liberados de los gránulos de almidón, formando capas de polisacáridos que protegen las células, disminuyendo las pérdidas de agua intracelular (Lacerda et al., 2016). Por otro lado, cuando la temperatura aumenta, la transferencia de masa incrementa y el agua se evapora a gran velocidad (Cánovas Barbosa & G.V y Vega Mercado, 1996), y se presenta un incremento de la tasa de inactivación celular hasta provocar la muerte del probiótico. Este proceso ocurre por desestabilización de la membrana celular inducida por permeabilización y por aumento del contacto con el oxígeno del entorno, creando radicales libres en el citoplasma (Aragón-Rojas et al., 2019b). Los resultados obtenidos ponen en evidencia la conveniencia del uso de agentes prebióticos como protectores, al favorecer la viabilidad celular, pese a los efectos de la temperatura.

Tabla 2.6. *Comportamiento microbiológico de B. coagulans ATCC 7050 incorporado en HPCP.*

Concentración de biomasa (% p/p)	**Concentración celular viable (Log UFC/g)**		**Viabilidad (%)**	**RE (%)**
	Log No	**Log N**		
2	7,1 ± 0,1	6,3 ± 0,1	89,15	16,97
4	9,1 ± 0,2	8,1 ± 0,1	89,13	10,24
6	9,6 ± 0,9	8,2 ± 0,03	85,50	4,02
8	11,4 ± 0,6	10,4 ± 0,6	91,12	9,78

Estos hallazgos demuestran que RWD puede aplicarse de manera eficaz para la microencapsulación de probióticos. Viabilidades similares fueron observadas por Yoha et al. (2020c) aplicando secado por aspersión y liofilización (89.21 y 96.16%, respectivamente) para encapsular *L. plantarum* NCIM 2083 con prebióticos. Otros estudios han obtenido altas concentraciones de células viables en la microencapsulación de distintos probióticos mediante RWD: *L. plantarum* NCIM 2083 usando una mezcla prebiótica (fructo-oligosacárido, proteína de suero y MD) como material pared (9.37 ± 0.13 Log UFC/g) a 40°C por 2 h (Yoha et al., 2020a, 2020c, 2021) y *L. fermentum* K73 usando lactosuero dulce y maltodextrina como encapsulantes (8.99 ± 0.145 Log UFC/g) a 60°C por 83 min (Aragón-Rojas et al., 2019b). Aun no se reportan estudios de microencapsulación de probióticos usando el plátano verde o sus componentes como matriz encapsulante.

Almacenamiento

La Figura 2.7 presenta la evolución en el tiempo de las variables dependientes de la harina de plátano con probióticos (HPCP) procesada por RWD; además, la Tabla 2.6 presenta los valores p correspondientes al ANOVA, el cual mostró, en general, diferencias significativas ($p<0.05$) de las variables Xw, a_w, Hy, *We* y Log N con respecto a t y Log N con respecto a T. Por otro lado, S y α no presentaron diferencias significativas con T o t y ninguna variable presentó diferencias significativas con respecto a la interacción lineal T-t.

- **Humedad y actividad de agua**

Los valores medios de Xw y a_w durante el almacenamiento a 6 meses alcanzaron valores máximos de 8.31 ± 0,18% y 0,441 ± 0,018 a 35°C, respectivamente, valores que le confieren muy buena estabilidad fisicoquímica frente a reacciones de deterioro fisicoquímico y microbiológico (Ocoró-Zamora & Ayala-Aponte, 2013). La Xw incrementó levemente con el tiempo, independientemente de la T ($p>0,05$) (Tabla 2.7). Además, a_w presenta el mismo comportamiento que Xw. En general, la Xw y a_w son variables críticas que se ven afectadas únicamente por t, ya que, a pesar de la diferencia de potencial químico entre el interior de las cámaras de estabilidad (a_w: 0,650) y la superficie de la HPCP (a_w < 0,369) (interacción ambiente-empaque-HPCP) (Laksmi Suryaatmadja Jenie et al., 2013), el fenómeno de migración de Xw se encuentra limitado por la poca afinidad de los puntos activos o grupos funcionales de la superficie de las partículas con el agua a las condiciones experimentales (Daza et al., 2016; Marín-Arango et al., 2023).

El almacenamiento de las HPCP a 15 °C resultó ser la temperatura más favorable para el sexto mes de control, con valores mínimos de Xw y a_w de 7,2 ± 0,08 % y 0,331 ± 0,002, respectivamente, similares a las condiciones de la monocapa en productos secos (Martínez-Navarrete et al., 1998), y muy adecuados para la conservación de los alimentos (Ocoró-Zamora & Ayala-Aponte, 2013). Otros autores han reportado comportamientos similares de la Xw y a_w en el almacenamiento de productos obtenidos mediante RWD: açaí (Pavan et al., 2012) y granada (Tontul & Topuz, 2019).

- **Solubilidad**

La S de la HPCP alcanzó un valor máximo al final del almacenamiento de 17,84 ± 1,1923 % a 25°C, presentando una variación poco significativa (≈2,73%), independiente de T y t ($p>0,05$) (Tabla 2.7). Esto podría ser atribuible a que la HPCP experimenta un carácter hidrofílico similar durante todo el almacenamiento, ya que la MD se encuentra en baja proporción en el producto, limitando las interacciones partícula-agua (Bhandari et al., 2013; Padhi & Dwivedi, 2022). Hasta el momento, no se han reportado estudios que evalúen el comportamiento de la S de polvos obtenidos por RWD durante el almacenamiento que permitan contrastar los hallazgos de este estudio. Sin embargo, varios autores han obtenido valores más altos de S que este estudio empleando secado por aspersión: polvo de lychee (93.53 ± 2.5%) (Kingwatee et al., 2015) y polvo de mora (98.1 ± 1.0%) (Franceschinis et al., 2014).

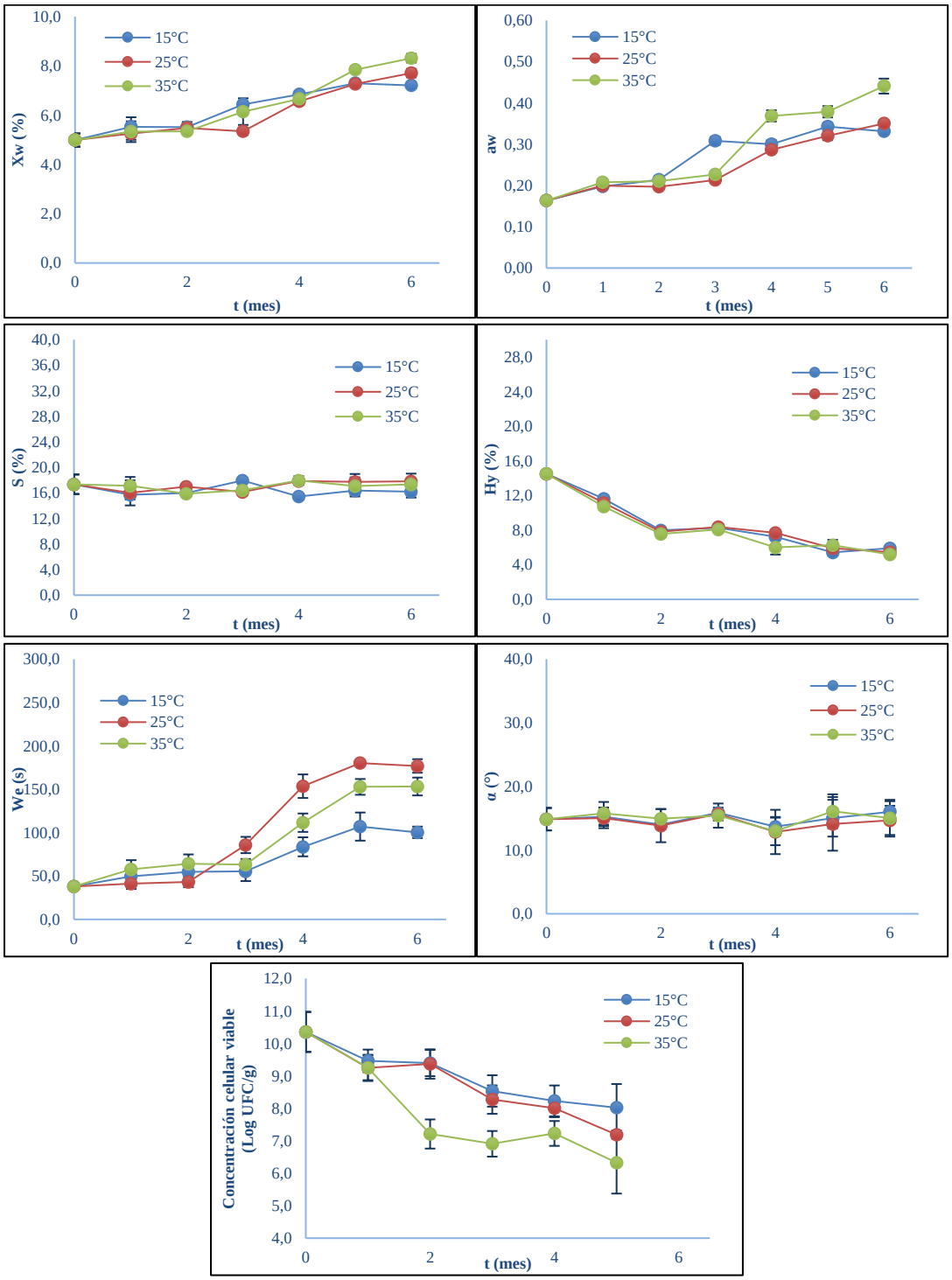


Figura 2.7. *Comportamiento de las variables de la HPCP en el almacenamiento.*

Tabla 2.7. *Valores p del ANOVA para las variables dependientes del estudio de almacenamiento de la HPCP.*

Variable dependiente	Efectos principales		Interacciones lineales
	T	t	T - t
Xw	0,5170	0*	0,0765
aw	0,2440	0*	0,0687
S	0,2008	0,5219	0,4663
Hy	0,6066	0*	0,9619
We	0,1086	0*	0,1769
α	0,9094	0,8594	0,6368
Log N	0,0005*	0*	0,0873

*Diferencias significativas (p<0,05)

- **Solubilidad**

La S de la HPCP alcanzó un valor máximo al final del almacenamiento de 17,84 ± 1,1923 % a 25°C, presentando una variación poco significativa (≈2,73%), independiente de T y t (p>0,05) (Tabla 2.7). Esto podría ser atribuible a que la HPCP experimenta un carácter hidrofílico similar durante todo el almacenamiento, ya que la MD se encuentra en baja proporción en el producto, limitando las interacciones partícula-agua (Bhandari et al., 2013; Padhi & Dwivedi, 2022). Hasta el momento, no se han reportado estudios que evalúen el comportamiento de la S de polvos obtenidos por RWD durante el almacenamiento que permitan contrastar los hallazgos de este estudio. Sin embargo, varios autores han obtenido valores más altos de S que este estudio empleando secado por aspersión: polvo de lychee (93.53 ± 2.5%) (Kingwatee et al., 2015) y polvo de mora (98.1 ± 1.0%) (Franceschinis et al., 2014).

- **Higroscopicidad**

La Hy de la HPCP alcanzó valores entre 5.18 ±0.07 y 5.98 ± 0.03% al final del almacenamiento, y en la que se observa, a través de la Figura 2.7, que Hy presenta un comportamiento significativamente decreciente (p<0,05) en el t respecto al valor inicial al almacenamiento (14,51 ± 0,32%), y se corresponde con el aumento de la Xw de la HPCP en el almacenamiento. Esto se debe a que la fuerza de adsorción de las partículas se reduce cuando la monocapa del polvo se satura con el t, lo que genera una menor fuerza motriz a la transferencia de masa desde el entorno a la HPCP (Marín-Arango et al., 2023). Por otro lado, la presencia de almidón, protopectina insoluble, pectina soluble (Ozuna, 1992), o algún complejo formado entre estos carbohidratos con la MD e INU durante el proceso, producen poca afinidad de los puntos activos superficiales con las moléculas de agua del entorno (Janiszewska-Turak et al., 2017) a las condiciones estudiadas (T de 25°C y humedad relativa del 68,9%).

El almacenamiento de las HPCP a T = 35°C resultó ser la condición más favorable para el sexto mes de control, alcanzando valores de 5,19 ± 0,07%. En general, los bajos valores obtenidos de Hy en

todas las T de almacenamiento denotan una alta estabilidad fisicoquímica y microbiológica de la HCPC (İ. Tontul et al., 2018a). Hasta el momento, no se han reportado estudios que evalúen el comportamiento de la Hy de polvos obtenidos por RWD durante el almacenamiento que permitan contrastar los hallazgos de este estudio.

- **Humectabilidad**

La *We* presentó una tendencia creciente con el t, independiente de la T ($p<0,05$) (Tabla 6). El comportamiento de *We* durante el almacenamiento no fue favorable, ya que incrementó de 37,93 ± 1,25 a 176,90 ± 7,81 s, lo que evidencia una disminución considerable de la capacidad de reconstitución del material en agua a las condiciones experimentales. Este comportamiento se relaciona con el aumento de Xw de la HPCP en el almacenamiento, pues las moléculas de agua saturan y colapsan los poros del material (Haider & Palzer, 2016), disminuyendo la capacidad de difusión del agua a través de la estructura capilar del polvo y aumentado el tiempo de humectabilidad (Tontul et al., 2021). La Figura 2.7 permite identificar 2 grupos homogéneos, uno conformado por las muestras almacenadas a 25°C donde los valores de *We* fueron superiores al otro conformado por muestras a 35 y 15°C. En términos generales, los valores obtenidos podrían considerarse como polvos con buena instantaneidad cuando al menos se realice una mínima agitación en el sistema de reconstitución, y son similares a otros polvos obtenidos por RWD: kéfir (14,13 - 26,00 s) (Tontul et al., 2021), yogurt (21,5 - 57,5 s) (Tontul et al., 2018a), y en yogurt en polvo por liofilización (71,0 s) (Tontul et al., 2018b), y por secado por aspersión (132 - 378 s) (Seth et al., 2017) y (316 – 765 s) (Koç et al., 2014).

- **Ángulo de reposo**

Los valores del α de la HPCP en el almacenamiento fueron de 16,02 ± 1,67, 14,68 ± 2,29 y 15,02 ± 2,89° a 15, 25 y 35°C, respectivamente. La Figura 2.7 permite observar que el α no presenta cambios significativos ($p<0,05$) con respecto al inicio del almacenamiento (14,87 ± 1,76°). Esta situación podría ser atribuible al contenido de almidón, fibras y MD en la HPCP, que contribuyen a la reducción de las fuerzas de Van der Waals y de la cohesividad de las partículas (< fuerzas de interacción partícula-partícula) de los polvos (Araújo et al., 2020). Por otro lado, el bajo contenido de carbohidratos de cadena corta en la HPCP limita las interacciones partícula-agua y partícula-partícula (Padhi & Dwivedi, 2022; Savlak et al., 2016).

El almacenamiento de las HPCP a T > 25 °C resultó ser la condición más favorable para el sexto mes de control, con valores de 14,68 ± 2,29 y 15,02 ± 2,89° para 25 y 35°C, respectivamente. Hasta el momento, no se han reportado estudios que evalúen el comportamiento del α de polvos obtenidos por RWD durante el almacenamiento que permitan contrastar los hallazgos de este estudio.

- **Concentración celular viable**

La HPCP alcanzó conteos viables de *B. coagulans* ATCC 7050 de 8.02 ± 0.73, 7.19 ±0.13 y 6.33 ± 0.95 Log UFC/g para 15, 25 y 35°C, respectivamente, a 5 meses de almacenamiento, presentando diferencias significativas ($p<0.05$) con respecto a T y t. La Figura 2.7 muestra una reducción de 2.34 unidades logarítmicas en el almacenamiento a 35°C, en comparación a reducciones de 3.17 y 4.03 unidades logarítmicas para 15°C y 25°C, respectivamente, equivalentes a una supervivencia del 61.1, 77.45 y 69.43%, respectivamente. Este comportamiento es explicado por el efecto termoprotector ejercido por la MD, INU y el almidón del plátano verde que ha sido reportado por otros autores (Ormaza-Zapata et al., 2019; Powthong et al., 2020; Rashidinejad et al., 2020; Rodríguez-Barona et al., 2012, 2016), promoviendo una mejor interconexión entre las cadenas de estos polisacáridos que se reorganizan durante la aplicación de calor en RWD (Dadhaneeya et al., 2023). Este nivel de interacción limita la exposición de las células probióticas con el entorno, disminuyendo el diferencial osmótico y protegiéndolas de la deshidratación (Rodríguez-Barona et al., 2015). Sin embargo, esta exposición aumenta al incrementar Xw y a_w en el tiempo (Capela et al., 2006; Huang et al., 2017), lo que explica que se presente una mayor disminución de células viables a 35°C, pues esta es la condición en la que la HPCP gana más humedad durante el almacenamiento.

El almacenamiento de las HPCP a T = 15°C resultó ser la condición más favorable para el quinto mes de control, alcanzando una concentración celular probiótica viable de 8.02 ± 0.73 Log UFC/g. Sin embargo, los conteos se encuentran por encima de 10^6 UFC/g para todas las T a 5 meses de almacenamiento, lo que permite declarar el efecto funcional probiótico de las HPCP según la normativa vigente (Aradón & Castellano, 2014; FAO & OMS, 2006; Ministerio de Salud y Protección Social, 2021). Resultados similares han sido reportados para *B. coagulans*: en harina de cereales compuesta de maíz, arroz, trigo y avena (7.13 Log UFC/g), y adicionada con β-glucano (7.45 Log UFC/g) al final de 4 meses de almacenamiento (Cardoso et al., 2024), en helado a -20°C (7.28±0.06 Log UFC/g), mantequilla de maní a 22 – 25°C (7.63±0.05 Log UFC/g) y chocolate en leche (7.58±0.03 Log UFC/g), blanco (7.52±0.04 Log UFC/g) y negro (7.48±0.07 Log UFC/g), jugo de fruta (7.26±0.01 Log UFC/g), shrikhand (7.25±0.04 Log UFC/g), café frío (6.95±0.01 Log UFC/g), lassi (6.94±0.03 Log UFC/g), y bebida energizante (6.83±0.05 Log UFC/g) a 4°C al final de 6 meses de almacenamiento (Shaikh et al., 2024). Por otro lado, Babolanimogadam et al. (2024) obtuvieron menor concentración celular viable de *B. coagulans*, en comparación con este estudio, en hamburguesas de carne vacuna recubiertas de una película de ácido políláctico incorporadas con aceite esencial de ajwain al 1% (6.19 Log UFC/g).

Conclusiones

El desarrollo de una HPCP constó de tres grandes etapas. En la primera se formularon suspensiones coloidales de plátano verde, MD e INU, buscando beneficiar la estabilidad fisicoquímica del sistema coloidal, cuya condición más estable (X_{TS} = 0,24) presentó las siguientes características: Xw = 75,3%, TS = 24,7%, SS = 4,6°Bx, μ = 844,7 cP y ζ = -25,2 mV. En la segunda etapa de desarrollo se empleó la metodología de superficie de respuesta para estimar el efecto del RWD sobre las propiedades fisicoquímicas y tecno-funcionales de la HPSP, y se encontró que Xw, a_w y Hy son las

variables que se vieron mayormente afectadas por las variables independientes (X_{TS}, T y t) y sus interacciones. La optimización experimental permitió la selección de las mejores condiciones de operación del proceso de RWD, las cuales fueron: X_{TS}=0.24, T=68,4°C, t=2 h, obteniendo un producto con los siguientes atributos de calidad: Xw = 5,1%, a_w = 0,163, S = 17,4%, Hy = 14,5%, *We* = 38,0 s, $D_{[3,2]}$ = 79,3 µm y α = 14,9°. Los modelos matemáticos cuadráticos presentaron un ajuste adecuado (R^2>0.800) para todas las variables dependientes, excepto para S, *We*, $D_{[3,2]}$ y α; sin embargo, la prueba de falta de ajuste demostró que los modelos de S y α describen adecuadamente los datos observados (p>0,05). Posteriormente, la adición de un 8% p/p de biomasa de *B. coagulans* ATCC 7050 a la HPSP produjo un polvo con una concentración celular probiótica de 10,4 ± 0,6 Log UFC/g, y viabilidad celular del 91,12%; el mayor RE (16.97%) fue obtenido al agregar un 2% p/p de biomasa a la HPSP. Finalmente, se evaluó el comportamiento de las variables dependientes de la HPCP en el tiempo a través de un estudio de almacenamiento (6 meses), en donde se encontró que Xw, aw, Hy, *We*, y Log N se vieron mayormente afectadas por t, y Log N por T. En general, la mejor condición de almacenamiento de la HPCP fue de 15°C para 6 meses, obteniendo las siguientes características: Xw = 7,2 ± 0,08%, a_w = 0,331 ± 0,002, S = 16,2 ± 0,91%, Hy = 5,91 ± 0,03, *We* = 100,35 ± 6,64 s, α = 16,02 ± 1,67°. N solo pudo ser evaluada hasta el quinto mes de almacenamiento, obteniéndose un valor de 8.02 ± 0,73 Log UFC/g a 15°C. La optimización del secado por ventana de refractancia de SPCP garantizó la conservación de los atributos fisicoquímicos, tecno-funcionales y funcionales probióticos de la HPCP durante todo el almacenamiento. Este estudio representa una herramienta científica para el desarrollo de una harina de plátano fortificada con prebióticos y probióticos, en el que se incursionó en una metodología no convencional de procesamiento, se describió el efecto de las interacciones de los componentes del sistema y su relación con las características del polvo y se estimó la vida útil de la harina. Sin embargo, se recomienda complementar estos hallazgos con la caracterización composicional, morfológica, térmica y estructural de la HPCP para establecer con mayor precisión las relaciones entre variables y sus comportamientos, y con estudios de sorción y de transiciones de fase para definir completamente la vida útil del producto.

Referencias

Abiodun-Solanke, A., & Falade, K. (2011). A review of the uses and methods of processing banana and plantain (Musa spp.) into storable food products. *Journal of Agricultural Research and Development*, *9*(2). https://doi.org/10.4314/jard.v9i2.66815

Aboulfazli, F., Baba, A. S., & Misran, M. (2015). The Rheology and Physical Properties of Fermented Probiotic Ice Creams Made with Dairy Alternatives. *International Journal of Food Engineering*, *11*(4), 493–504. https://doi.org/10.1515/ijfe-2014-0343

Adams, C. A. (2010). The probiotic paradox: live and dead cells are biological response modifiers. *Nutrition Research Reviews*, *23*(1), 37–46. https://doi.org/10.1017/S0954422410000090

Agama-Acevedo, E., Rodriguez-Ambriz, S. L., García-Suárez, F. J., Gutierrez-Méraz, F., Pacheco-Vargas, G., & Bello-Pérez, L. A. (2014). Starch isolation and partial characterization of

commercial cooking and dessert banana cultivars growing in Mexico. *Starch - Stärke*, *66*(3–4), 337–344. https://doi.org/10.1002/star.201300125

Ahmad, A., Prakash, O., Kumar, A., Chatterjee, R., Sharma, S., Kumar, V., Kulshreshtha, K., Li, C., & Eldin, E. M. T. (2022). A Comprehensive State-of-the-Art Review on the Recent Developments in Greenhouse Drying. *Energies*, *15*(24), 9493. https://doi.org/10.3390/en15249493

Aizawa, E., Tsuji, H., Asahara, T., Takahashi, T., Teraishi, T., Yoshida, S., Ota, M., Koga, N., Hattori, K., & Kunugi, H. (2016). Possible association of Bifidobacterium and Lactobacillus in the gut microbiota of patients with major depressive disorder. *Journal of Affective Disorders*, *202*, 254–257. https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.05.038

Alberti, K. G. M. M., Zimmet, P., & Shaw, J. (2007). International Diabetes Federation: A consensus on Type 2 diabetes prevention. *Diabetic Medicine*, *24*(5), 451–463. https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2007.02157.x

Almada-Érix, C. N., Almada, C. N., Pedrosa, G. T. S., Biachi, J. P., Bonatto, M. S., Schmiele, M., Nabeshima, E. H., Clerici, M., Magnani, M., & Sant'Ana, A. S. (2022). Bread as probiotic carriers: Resistance of *Bacillus coagulans* GBI-30 6086 spores through processing steps. *FOOD RESEARCH INTERNATIONAL*, *155*. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111040

Almada-Érix, C. N., Almada, C. N., Souza Pedrosa, G. T., dos Santos, P., Schmiele, M., Clerici, M. T. P. S., Martinez, J., Lollo, P. C., Magnani, M., & Sant'Ana, A. S. (2021). Quantifying the impact of eight unit operations on the survival of eight Bacillus strains with claimed probiotic properties. *Food Research International*, *142*(February). https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110191

Almanza-Benitez, S., Osorio-Díaz, P., Méndez-Montealvo, G., Islas-Hernández, J. J., & Bello-Perez, L. A. (2015). Addition of acid-treated unripe plantain flour modified the starch digestibility, indigestible carbohydrate content and antioxidant capacity of semolina spaghetti. *LWT - Food Science and Technology*, *62*(2), 1127–1133. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.02.031

Ammor, S., Tauveron, G., Dufour, E., & Chevallier, I. (2006). Antibacterial activity of lactic acid bacteria against spoilage and pathogenic bacteria isolated from the same meat small-scale facility. *Food Control*, *17*(6), 454–461. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.02.006

Anyasi, T. A., Jideani, A. I. O., & Mchau, G. R. A. (2015). Effect of organic acid pretreatment on some physical, functional and antioxidant properties of flour obtained from three unripe banana cultivars. *Food Chemistry*, *172*, 515–522. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.120

Aradón, A., & Castellano, V. (2014). Regulation and guidelines of probiotics and prebiotics. In *Probiotics and prebiotics in food, nutrition and health* (pp. 91–113). CRC Press.

Aragón-Rojas, S., Quintanilla-Carvajal, M. X., Hernández-Sánchez, H., Hernández-Álvarez, A. J., & Moreno, F. L. (2019a). Encapsulation of Lactobacillus fermentum K73 by Refractance Window drying. *Scientific Reports*, *9*(1), 1–15. https://doi.org/10.1038/s41598-019-42016-0

Aragón-Rojas, S., Quintanilla-Carvajal, M. X., Hernández-Sánchez, H., Hernández-Álvarez, A. J., & Moreno, F. L. (2019b). Encapsulation of Lactobacillus fermentum K73 by Refractance Window drying. *Scientific Reports*, *9*(1), 1–15. https://doi.org/10.1038/s41598-019-42016-0

Araújo, T. M. R., Farias, M. D. L., Afonso, M. R. A., Costa, J. M. C. da, & Eça, K. S. (2020). Maltodextrin on the flow properties of green coconut (Cocos nucifera L.) pulp powder. *Ciência e Agrotecnologia*, *44*. https://doi.org/10.1590/1413-7054202044003220

Arihara, K., & Ohata, M. (2011). Functional meat products. In *Functional Foods* (pp. 512–533). Elsevier. https://doi.org/10.1533/9780857092557.3.512

Ashwar, B. A., Gani, A., Gani, A., Shah, A., & Masoodi, F. A. (2018). Production of RS4 from rice starch and its utilization as an encapsulating agent for targeted delivery of probiotics. *Food Chemistry*, *239*, 287–294. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.110

Asif-Ul-Alam, S. M., Islam, M. Z., Hoque, M. M., & Monalisa, K. (2014). Effects of Drying on the Physicochemical and Functional Properties of Green Banana (Musa sapientum) Flour and Development of Baked Product. *American Journal of Food Science and Technology*, *2*(4), 128–133. https://doi.org/10.12691/ajfst-2-4-4

Asiimwe, A., Kigozi, J. B., Baidhe, E., & Muyonga, J. H. (2022). Optimization of refractance window drying conditions for passion fruit puree. *LWT*, *154*, 112742. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112742

Association of Official Analytical Chemist [AOAC]. (1990). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (15th ed.). AOAC International.

Astudillo-Heras, L. L., & Sánchez-Salamea, A. L. (2019). *Extracción de Almidón a partir del banano (plátano) de categoría II (Musa paradisiaca) en estado verde, para la elaboración de colada instantánea fortificada y utilización de su fibra para balanceado de ganado porcino* [Tesis de grado]. Universidad de Cuencua.

Azad, Md. A. K., Sarker, M., Li, T., & Yin, J. (2018). Probiotic Species in the Modulation of Gut Microbiota: An Overview. *BioMed Research International*, *2018*, 1–8. https://doi.org/10.1155/2018/9478630

Azizi, D., Jafari, S. M., Mirzaei, H., & Dehnad, D. (2017). The Influence of Refractance Window Drying on Qualitative Properties of Kiwifruit Slices. *International Journal of Food Engineering*, *13*(2). https://doi.org/10.1515/ijfe-2016-0201

Azizishafa, M., Basti, A. A., Sharifan, A., & Khanjari, A. (2023). Reformulation of traditional Iranian food (Doeeneh) using probiotics: Bifidobacterium animalis subsp. lactis BB-12,

Lactobacillus acidophilus LA-5, Lacticaseibacillus rhamnosus LGG, and inulin and its effect on diabetic and non-diabetic rats. *Food Quality and Safety*, *7*. https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyad028

Babolanimogadam, N., Akhondzadeh Basti, A., Khanjari, A., Sajjadi Alhashem, S. H., Babolani Moghadgam, K., & Ahadzadeh, S. (2024). Shelf life extending of probiotic beef patties with polylactic acid-ajwain essential oil films and stress effects on *Bacillus coagulans*. *Journal of Food Science*, *89*(2), 866–880. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16864

Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (E. Quintanar Duarte & M. B. Gutiérrez Hernández, Eds.; Cámara Nac). Pearson Educación de México, S.A. de C.V. https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/QUIMICA-DE-LOS-ALIMENTOS-4ta-Edicion.pdf

Bamigbola, Y. A., Awolu, O. O., & Oluwalana, I. B. (2016). The effect of plantain and tigernut flours substitution on the antioxidant, physicochemical and pasting properties of wheat-based composite flours. *Cogent Food & Agriculture*, *2*(1). https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1245060

Batra, N., Singh, J., Banerjee, U. C., Patnaik, P. R., & Sobti, R. C. (2002). Production and characterization of a thermostable β -galactosidase from *Bacillus coagulans* RCS3. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, *36*(1), 1–6. https://doi.org/10.1042/BA20010091

Bell, K. J., Saad, S., Tillett, B. J., McGuire, H. M., Bordbar, S., Yap, Y. A., Nguyen, L. T., Wilkins, M. R., Corley, S., Brodie, S., Duong, S., Wright, C. J., Twigg, S., de St Groth, B. F., Harrison, L. C., Mackay, C. R., Gurzov, E. N., Hamilton-Williams, E. E., & Mariño, E. (2022). Metabolite-based dietary supplementation in human type 1 diabetes is associated with microbiota and immune modulation. *Microbiome*, *10*(1), 9. https://doi.org/10.1186/s40168-021-01193-9

Bello-Pérez, L. A., Pineda-Tapia, F. J., Pacheco-Vargas, G., Carmona-Garcia, R., & Tovar, J. (2024a). Whole Unripe Plantain Flour as Unconventional Carbohydrate Source to Prepare Gluten-Free Pasta with High Dietary Fiber Content and Reduced Starch Hydrolysis. *Starch - Stärke*, *76*(1–2). https://doi.org/10.1002/star.202200222

Bello-Pérez, L. A., Pineda-Tapia, F. J., Pacheco-Vargas, G., Carmona-Garcia, R., & Tovar, J. (2024b). Whole Unripe Plantain Flour as Unconventional Carbohydrate Source to Prepare Gluten-Free Pasta with High Dietary Fiber Content and Reduced Starch Hydrolysis. *Starch - Stärke*, *76*(1–2). https://doi.org/10.1002/star.202200222

Bernat, N., Cháfer, M., González-Martínez, C., Rodríguez-García, J., & Chiralt, A. (2015). Optimisation of oat *milk* formulation to obtain fermented derivatives by using probiotic *Lactobacillus reuteri* microorganisms. *Food Science and Technology International*, *21*(2), 145–157. https://doi.org/10.1177/1082013213518936

Bhandari, B., Bansal, N., Zhang, M., & Schuck, P. (2013). *Handbook of food powders*. Woodhead Publishing Limited. https://doi.org/10.1533/9780857098672

Bharwani, A., Mian, M. F., Foster, J. A., Surette, M. G., Bienenstock, J., & Forsythe, P. (2016). Structural & functional consequences of chronic psychosocial stress on the microbiome & host. *Psychoneuroendocrinology*, *63*, 217–227. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2015.10.001

Bonik, S. K., Tamanna, S. T., Happy, T. A., Haque, Md. N., Islam, S., & Faruque, Md. O. (2024). Formulation and evaluation of cereal-based breads fortified with natural prebiotics from green banana, moringa leaves powder and soya powder. *Applied Food Research*, *4*(1), 100377. https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100377

Cadena, R. S., Caimi, D., Jaunarena, I., Lorenzo, I., Vidal, L., Ares, G., Deliza, R., & Giménez, A. (2014). Comparison of rapid sensory characterization methodologies for the development of functional yogurts. *Food Research International*, *64*, 446–455. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.027

Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *6*(4), 420–428. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003

Cano-Sarmiento, C., Téllez-Medina, D. I., Viveros-Contreras, R., Cornejo-Mazón, M., Figueroa-Hernández, C. Y., García-Armenta, E., Alamilla-Beltrán, L., García, H. S., & Gutiérrez-López, G. F. (2018). Zeta Potential of Food Matrices. *Food Engineering Reviews*, *10*(3), 113–138. https://doi.org/10.1007/s12393-018-9176-z

Cánovas Barbosa, & G.V y Vega Mercado, H. (1996). *Dehydration of Foods Dehydration of Foods Series Editor* (1st ed.).

Cao, J., Yu, Z., Liu, W., Zhao, J., Zhang, H., Zhai, Q., & Chen, W. (2020). Probiotic characteristics of Bacillus coagulans and associated implications for human health and diseases. *Journal of Functional Foods*, *64*(October), 103643. https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103643

Cao, Z., Pan, H., Tong, H., Gu, D., Li, S., Xu, Y., Ge, C., & Lin, Q. (2016). In vitro evaluation of probiotic potential of Pediococcus pentosaceus L1 isolated from paocai—a Chinese fermented vegetable. *Annals of Microbiology*, *66*(3), 963–971. https://doi.org/10.1007/s13213-015-1182-2

Capela, P., Hay, T. K. C., & Shah, N. P. (2006). Effect of cryoprotectants, prebiotics and microencapsulation on survival of probiotic organisms in yoghurt and freeze-dried yoghurt. *Food Research International*, *39*(2), 203–211. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.07.007

Cardoso, P. I. F. da C., Grisi, C. V. B., Vieira, É. de A., de Almeida, D. K. L., & Cardarelli, H. R. (2024). Cereal flours with Bacillus coagulans and beta-glucan: Technological properties and sensory acceptability. *Food Chemistry*, *448*, 139146. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139146

Castaño-Peláez, H. I., Cortes-Rodríguez, M., Gil-González, J., & Gallón-Bedoya, M. (2022). Influence of gum arabic and homogenization process on the physicochemical stability of strawberry suspensions. *Food Science and Technology*, *42*. https://doi.org/10.1590/fst.58020

Castaño-Peláez, H., Rodríguez, M. C., Gil G., J. H., López, G. L., & Ortega-Toro, R. (2022). Optimization of spray-drying process parameters on strawberry (Fragaria ananassa D.) extracts microcapsules quality. *Journal of Berry Research*, *12*(4), 531–550. https://doi.org/10.3233/JBR-220047

Castellanos-Galeano, F. J., & Lucas-Aguirre, J. C. (2011). Caracterización física del fruto en variedades de plátano cultivadas en la zona cafetera de Colombia. *Acta Agronómica*, *60*(2).

Castoldi, M., Zotarelli, M. F., Durigon, A., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2015). Production of Tomato Powder by Refractance Window Drying. *Drying Technology*, *33*(12), 1463–1473. https://doi.org/10.1080/07373937.2014.989327

Catellanos-Galeano, F. J., Chavez-Salazar, A., & Martínez-Hernández, L. J. (2017). Effect of process variables in the production of fried green plantain in vacuum. *Revista Vitae*, 38–46. https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v24n1a05

Cayra, E., Dávila, J. H., Villalta, J. M., & Rosales, Y. (2017). Evaluación de la Estabilidad y Viabilidad de Dos Cepas Probióticas Microencapsuladas por Lecho Fluidizado. *Información Tecnológica*, *28*(6), 35–44. https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000600005

Champagne, C. P., Tompkins, T. A., Buckley, N. D., & Green-Johnson, J. M. (2010). Effect of fermentation by pure and mixed cultures of Streptococcus thermophilus and Lactobacillus helveticus on isoflavone and B-vitamin content of a fermented soy beverage. *Food Microbiology*, *27*(7), 968–972. https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.06.003

Chandanasree, D., Gul, K., & Riar, C. S. (2016). Effect of hydrocolloids and dry heat modification on physicochemical, thermal, pasting and morphological characteristics of cassava (Manihot esculenta) starch. *Food Hydrocolloids*, *52*, 175–182. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.06.024

Charalampopoulos, D., Pandiella, S. S., & Webb, C. (2003). Evaluation of the effect of malt, wheat and barley extracts on the viability of potentially probiotic lactic acid bacteria under acidic conditions. *International Journal of Food Microbiology*, *82*(2), 133–141. https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00248-9

Chávez-Salazar, A., Castellanos-Galeano, F. J., Álvarez-Barreto, C. I., Bello-Pérez, L. A., Cortés-Rodríguez, M., & Hoyos-Leyva, J. D. (2019). Optimization of the Spray Drying Process of the Esterified Plantain Starch by Response Surface Methodology. *Starch - Stärke*, *71*(7–8). https://doi.org/10.1002/star.201800330

Chen, Q., Bi, J., Zhou, Y., Liu, X., Wu, X., & Chen, R. (2014). Multi-objective Optimization of Spray Drying of Jujube (Zizyphus jujuba Miller) Powder Using Response Surface

Methodology. *Food and Bioprocess Technology*, *7*(6), 1807–1818. https://doi.org/10.1007/s11947-013-1171-z

Chen, X., Yang, G., Song, J.-H., Xu, H., Li, D., Goldsmith, J., Zeng, H., Parsons-Wingerter, P. A., Reinecker, H.-C., & Kelly, C. P. (2013). Probiotic Yeast Inhibits VEGFR Signaling and Angiogenesis in Intestinal Inflammation. *PLoS ONE*, *8*(5), e64227. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064227

Chmielewska, A., & Szajewska, H. (2010). Systematic review of randomised controlled trials: probiotics for functional constipation. *World Journal of Gastroenterology*, *16*(1), 69–75. https://doi.org/10.3748/wjg.v16.i1.69

Chugh, B., & Kamal-Eldin, A. (2020). Bioactive compounds produced by probiotics in food products. *Current Opinion in Food Science*, *32*, 76–82. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.02.003

Coelho, S. R., Lima, Í. A., Martins, M. L., Benevenuto Júnior, A. A., Torres Filho, R. de A., Ramos, A. de L. S., & Ramos, E. M. (2019). Application of Lactobacillus paracasei LPC02 and lactulose as a potential symbiotic system in the manufacture of dry-fermented sausage. *LWT*, *102*, 254–259. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.045

Colica, C., Avolio, E., Bollero, P., Costa de Miranda, R., Ferraro, S., Sinibaldi Salimei, P., De Lorenzo, A., & Di Renzo, L. (2017). Evidences of a New Psychobiotic Formulation on Body Composition and Anxiety. *Mediators of Inflammation*, *2017*, 1–10. https://doi.org/10.1155/2017/5650627

Cordeiro, B. F., Alves, J. L., Belo, G. A., Oliveira, E. R., Braga, M. P., da Silva, S. H., Lemos, L., Guimarães, J. T., Silva, R., Rocha, R. S., Jan, G., Le Loir, Y., Silva, M. C., Freitas, M. Q., Esmerino, E. A., Gala-García, A., Ferreira, E., Faria, A. M. C., Cruz, A. G., … do Carmo, F. L. R. (2021). Therapeutic Effects of Probiotic Minas Frescal Cheese on the Attenuation of Ulcerative Colitis in a Murine Model. *Frontiers in Microbiology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.623920

Cortés-Rodríguez, M., Hernández, G., & Estrada M, E. M. (2017). OPTIMIZATION OF THE SPRAY DRYING PROCESS FOR OBTAINING CAPE GOOSEBERRY POWDER: AN INNOVATIVE AND PROMISING FUNCTIONAL FOOD. *Revista Vitae*, 59–67. https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v24n1a07

Dadhaneeya, H., Nayak, P. K., Saikia, D., Kondareddy, R., Ray, S., & Kesavan, R. krishnan. (2023). The impact of refractance window drying on the physicochemical properties and bioactive compounds of malbhog banana slice and pulp. *Applied Food Research*, *3*(1), 100279. https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100279

Dahdouh, L., Delalonde, M., Ricci, J., Ruiz, E., & Wisnewski, C. (2018). Influence of high shear rate on particles size, rheological behavior and fouling propensity of fruit juices during

crossflow microfiltration: Case of orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *48*(March), 304–312. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.006

Day, L., Seymour, R. B., Pitts, K. F., Konczak, I., & Lundin, L. (2009). Incorporation of functional ingredients into foods. *Trends in Food Science and Technology*, *20*(9), 388–395. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.05.002

Daza, L. D., Fujita, A., Fávaro-Trindade, C. S., Rodrigues-Ract, J. N., Granato, D., & Genovese, M. I. (2016). Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (Eugenia dysenterica DC.) fruit extracts. *Food and Bioproducts Processing*, *97*, 20–29. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.10.001

de Oliveira, P. M., Leite Júnior, B. R. de C., Martins, E. M. F., Martins, M. L., Vieira, É. N. R., de Barros, F. A. R., Cristianini, M., de Almeida Costa, N., & Ramos, A. M. (2021). Mango and carrot mixed juice: a new matrix for the vehicle of probiotic lactobacilli. *Journal of Food Science and Technology*, *58*(1), 98–109. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04518-y

Di Stefano, E., White, J., Seney, S., Hekmat, S., McDowell, T., Sumarah, M., & Reid, G. (2017). A Novel Millet-Based Probiotic Fermented Food for the Developing World. *Nutrients*, *9*(5), 529. https://doi.org/10.3390/nu9050529

Diaz-Vela, J., Totosaus, A., Cruz-Guerrero, A. E., & de Lourdes Pérez-Chabela, M. (2013). *In vitro* evaluation of the fermentation of added-value agroindustrial by-products: cactus pear (*<scp>O</scp> puntia ficus-indica* <scp>L</scp> .) peel and pineapple (*<scp>A</scp> nanas comosus*) peel as functional ingredients. *International Journal of Food Science & Technology*, *48*(7), 1460–1467. https://doi.org/10.1111/ijfs.12113

Do, T. V. T., & Fan, L. (2019). Probiotic Viability, Qualitative Characteristics, and Sensory Acceptability of Vegetable Juice Mixture Fermented with <i>Lactobacillus</i> Strains. *Food and Nutrition Sciences*, *10*(04), 412–427. https://doi.org/10.4236/fns.2019.104031

Donkor, O. N., Henriksson, A., Vasiljevic, T., & Shah, N. P. (2007). α-Galactosidase and proteolytic activities of selected probiotic and dairy cultures in fermented soymilk. *Food Chemistry*, *104*(1), 10–20. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.065

Dunne, C., Murphy, L., Flynn, S., O'Mahony, L., O'Halloran, S., Feeney, M., Morrissey, D., Thornton, G., Fitzgerald, G., Daly, C., Kiely, B., Quigley, E. M., O'Sullivan, G. C., Shanahan, F., & Collins, J. K. (1999). Probiotics: from myth to reality. Demonstration of functionality in animal models of disease and in human clinical trials. *Antonie van Leeuwenhoek*, *76*(1–4), 279–292. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10532384

Duru, K. C., Kovaleva, ElenaG., Danilova, IrinaG., & Belousova, AnnaV. (2019a). Production and assessment of novel probiotic fermented oat flour enriched with isoflavones. *LWT*, *111*, 9–15. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.102

Duru, K. C., Kovaleva, ElenaG., Danilova, IrinaG., & Belousova, AnnaV. (2019b). Production and assessment of novel probiotic fermented oat flour enriched with isoflavones. *LWT*, *111*, 9–15. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.102

Englyst, H. N., Kingman, S. M., & Cummings, J. H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, *46 Suppl 2*, S33-50.

Enujiugha, Victor. N., & Badejo, A. A. (2017). Probiotic potentials of cereal-based beverages. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(4), 790–804. https://doi.org/10.1080/10408398.2014.930018

Eraso-Grisales, S., Cortés-Rodríguez, M., Gallón-Bedoya, M., Herrera-Herrera, E., & Ortega-Toro, R. (2023a). A powdered mix of cape gooseberry-based pulp, seed, and peel: Optimization of formulation and spray-drying process. *Journal of Berry Research*, *13*(2), 107–120. https://doi.org/10.3233/JBR-220079

Eraso-Grisales, S., Cortés-Rodríguez, M., Gallón-Bedoya, M., Herrera-Herrera, E., & Ortega-Toro, R. (2023b). A powdered mix of cape gooseberry-based pulp, seed, and peel: Optimization of formulation and spray-drying process. *Journal of Berry Research*, *13*(2), 107–120. https://doi.org/10.3233/JBR-220079

Ermis, E. (2021). A review of drying methods for improving the quality of probiotic powders and characterization. *Drying Technology*, *0*(0), 1–18. https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1950169

Ermiş, E. (Ed.). (2021). *Food Powders Properties and Characterization*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48908-3

Espin, J. C., & Balberan, F. T. (2005). Alimentos funcionales (EUFIC). In *Constituyentes bioactivos no nutricionales de alimentos de origen vegetal y su aplicacion en alimentos funcionales.* http://www.eufic.org/article/es/expid/basics-alimentos-funcionales/

Espinosa Solis, V. (2012). *PROPIEDADES DE DIGESTIÓN DE ALMIDONES NATIVOS Y MODIFICADOS DE PLÁTANO Y MANGO*. https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13426/Tesis%202012%20Vicente%20Espinosa%20Solis.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Falcomer, A. L., Riquette, R. F. R., de Lima, B. R., Ginani, V. C., & Zandonadi, R. P. (2019). Health Benefits of Green Banana Consumption: A Systematic Review. *Nutrients*, *11*(6), 1222. https://doi.org/10.3390/nu11061222

FAO. (2022). *FAOSTAT - Crops and livestock products: Plantains and cooking bananas*. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize

FAO, E., & OMS, E. (2006). Probióticos en los alimentos Propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación. *Estudios FAO Alimentación y Nutrición*, *85*, 52. file:///C:/Users/Acer/Documents/paty/homework1/PROBIOTICOS OPS 2006.pdf

Fernández-Abascal, B., Suárez-Pinilla, P., Cobo-Corrales, C., Crespo-Facorro, B., & Suárez-Pinilla, M. (2021). In- and outpatient lifestyle interventions on diet and exercise and their effect on physical and psychological health: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials in patients with schizophrenia spectrum disorders and first episod. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *125*, 535–568. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.01.005

Ford, A. C., Quigley, E. M. M., Lacy, B. E., Lembo, A. J., Saito, Y. A., Schiller, L. R., Soffer, E. E., Spiegel, B. M. R., & Moayyedi, P. (2014). Efficacy of prebiotics, probiotics, and synbiotics in irritable bowel syndrome and chronic idiopathic constipation: systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Gastroenterology*, *109*(10), 1547–1562. https://doi.org/10.1038/ajg.2014.202

Franceschinis, L., Salvatori, D. M., Sosa, N., & Schebor, C. (2014). Physical and Functional Properties of Blackberry Freeze- and Spray-Dried Powders. *Drying Technology*, *32*(2), 197–207. https://doi.org/10.1080/07373937.2013.814664

Fustier, P., Taherian, A. R., & Ramaswamy, H. S. (2010). Emulsion Delivery Systems for Functional Foods. In *Functional Food Product Development* (pp. 79–97). Wiley-Blackwell. https://doi.org/10.1002/9781444323351.ch4

García-Tejeda, Y. V., Zamudio-Flores, P. B., Bello-Pérez, L. A., Romero-Bastida, C. A., & Solorza-Feria, J. (2011). OXIDACIÓN DEL ALMIDÓN NATIVO DE PLÁTANO PARA SU USO POTENCIAL EN LA FABRICACIÓN DE MATERIALES DE EMPAQUE BIODEGRADABLES: CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA, TÉRMICA Y MORFOLÓGICA. In *Rev. Iberoam. Polim* (Vol. 12, Issue 3). https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/07/2011-garcia-tejana.pdf

Genovese, D. B., & Lozano, J. E. (2001). The effect of hydrocolloids on the stability and viscosity of cloudy apple juices. *Food Hydrocolloids*, *15*(1), 1–7. https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00053-9

Genovese, D. B., & Lozano, J. E. (2006). Contribution of colloidal forces to the viscosity and stability of cloudy apple juice. *Food Hydrocolloids*, *20*(6), 767–773. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.07.003

George Kerry, R., Patra, J. K., Gouda, S., Park, Y., Shin, H. S., & Das, G. (2018a). Benefaction of probiotics for human health: A review. *Journal of Food and Drug Analysis*, *26*(3), 927–939. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.01.002

George Kerry, R., Patra, J. K., Gouda, S., Park, Y., Shin, H.-S., & Das, G. (2018b). Benefaction of probiotics for human health: A review. *Journal of Food and Drug Analysis*, *26*(3), 927–939. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.01.002

Gibson, G. R., & Roberfroid, M. B. (1995). Dietary Modulation of the Human Colonic Microbiota: Introducing the Concept of Prebiotics. *The Journal of Nutrition*, *125*(6), 1401–1412. https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401

Giraldo-Gómez, G. I., Rodríguez-Barona, S., & Sanabria-González, N. R. (2019). Preparation of instant green banana flour powders by an extrusion process. *Powder Technology*, *353*, 437–443. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.05.050

Glaser, R., & Venus, J. (2014). Screening of Bacillus coagulans strains in lignin supplemented minimal medium with high throughput turbidity measurements. *Biotechnology Reports*, *4*, 60–65. https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.08.001

Glaser, R., & Venus, J. (2017). Model-based characterisation of growth performance and l-lactic acid production with high optical purity by thermophilic Bacillus coagulans in a lignin-supplemented mixed substrate medium. *New Biotechnology*, *37*, 180–193. https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.12.006

Goldenberg, J. Z., Lytvyn, L., Steurich, J., Parkin, P., Mahant, S., & Johnston, B. C. (2015). Probiotics for the prevention of pediatric antibiotic-associated diarrhea. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. https://doi.org/10.1002/14651858.CD004827.pub4

Golubeva, A. V., Crampton, S., Desbonnet, L., Edge, D., O'Sullivan, O., Lomasney, K. W., Zhdanov, A. V., Crispie, F., Moloney, R. D., Borre, Y. E., Cotter, P. D., Hyland, N. P., O'Halloran, K. D., Dinan, T. G., O'Keeffe, G. W., & Cryan, J. F. (2015). Prenatal stress-induced alterations in major physiological systems correlate with gut microbiota composition in adulthood. *Psychoneuroendocrinology*, *60*, 58–74. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2015.06.002

Gómez, A., Anaya, J., Rodríguez, G., Lechón, A., Perugachi, I., Velásquez, C., Carlos, S., Miniet, A., & Lascano, R. (2022). Glycemic effect of a functional pancake made from an instant oat mix. *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica*, *26*(3), 189–196. https://doi.org/10.14306/renhyd.26.3.1668

Granato, D., Branco, G. F., Nazzaro, F., Cruz, A. G., & Faria, J. A. F. (2010). Functional Foods and Nondairy Probiotic Food Development: Trends, Concepts, and Products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *9*(3), 292–302. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00110.x

Gray, G. M. (1992). Starch Digestion and Absorption in Nonruminants. *The Journal of Nutrition*, *122*(1), 172–177. https://doi.org/10.1093/jn/122.1.172

Grom, L. C., Rocha, R. S., Balthazar, C. F., Guimarães, J. T., Coutinho, N. M., Barros, C. P., Pimentel, T. C., Venâncio, E. L., Collopy Junior, I., Maciel, P. M. C., Silva, P. H. F., Granato, D., Freitas, M. Q., Esmerino, E. A., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2020). Postprandial glycemia in healthy subjects: Which probiotic dairy food is more adequate? *Journal of Dairy Science*, *103*(2), 1110–1119. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17401

Guandalini, S. (2011). Probiotics for Prevention and Treatment of Diarrhea. *Journal of Clinical Gastroenterology*, *45*, S149–S153. https://doi.org/10.1097/MCG.0b013e3182257e98

Gupta, M., & Bajaj, B. K. (2017). Development of fermented oat flour beverage as a potential probiotic vehicle. *Food Bioscience*, *20*, 104–109. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.08.007

Haffner, F. B., Diab, R., & Pasc, A. (2016). Encapsulation of probiotics: insights into academic and industrial approaches. *AIMS Materials Science*, *3*(1), 114–136. https://doi.org/10.3934/matersci.2016.1.114

Haider, C., & Palzer, S. (2016). Agglomeration in the Food Industry—A Result of Particle Contact Mechanisms. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21002-0

Handique, J., Bora, S. J., & Sit, N. (2019). Optimization of banana juice extraction using combination of enzymes. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(8), 3732–3743. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03845-z

Hernández-Santos, B., Martínez-Sánchez, C. E., Torruco-Uco, J. G., Rodríguez-Miranda, J., Ruiz-López, I. I., Vajando-Anaya, E. S., Carmona-García, R., & Herman-Lara, E. (2016). Evaluation of physical and chemical properties of carrots dried by Refractance Window drying. *Drying Technology*, *34*(12), 1414–1422. https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1118705

Hijová, E. (2022). Synbiotic Supplements in the Prevention of Obesity and Obesity-Related Diseases. In *Metabolites* (Vol. 12, Issue 4). MDPI. https://doi.org/10.3390/metabo12040313

Homsuwan, N., Pruksasri, S., & Ngampanya, B. (2023). Bacillus siamensis FVP1 as a potential probiotic for enhancing nutritional aspects of soybean meal. *International Journal of Food Science and Technology*, *58*(8), 4277–4287. https://doi.org/10.1111/ijfs.16527

Hou, H., Chen, D., Zhang, K., Zhang, W., Liu, T., Wang, S., Dai, X., Wang, B., Zhong, W., & Cao, H. (2022). Gut microbiota-derived short-chain fatty acids and colorectal cancer: Ready for clinical translation? *Cancer Letters*, *526*, 225–235. https://doi.org/10.1016/j.canlet.2021.11.027

Huang, S., Méjean, S., Rabah, H., Dolivet, A., Le Loir, Y., Chen, X. D., Jan, G., Jeantet, R., & Schuck, P. (2017). Double use of concentrated sweet whey for growth and spray drying of probiotics: Towards maximal viability in pilot scale spray dryer. *Journal of Food Engineering*, *196*, 11–17. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.10.017

Huq, T., Khan, A., Khan, R. A., Riedl, B., & Lacroix, M. (2013). Encapsulation of Probiotic Bacteria in Biopolymeric System. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *53*(9), 909–916. https://doi.org/10.1080/10408398.2011.573152

İçier, F., Gündüz, G. T., Yılmaz, B., & Memeli, Z. (2015a). Changes on some quality characteristics of fermented soy milk beverage with added apple juice. *LWT - Food Science and Technology*, *63*(1), 57–64. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.102

İçier, F., Gündüz, G. T., Yılmaz, B., & Memeli, Z. (2015b). Changes on some quality characteristics of fermented soy milk beverage with added apple juice. *LWT - Food Science and Technology*, *63*(1), 57–64. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.102

Iguarán, E. C., Triviño-Valencia, J., & Rodríguez-Barona, S. (2020). Effect of storage and stress conditions on the counts of Bifidobacterium animalis microencapsulated and incorporated in plantain flour. *Brazilian Journal of Food Technology*, *23*. https://doi.org/10.1590/1981-6723.25219

Instituto Colombiano Agropecuario. (2019). *Resolución 17334* (17334).

Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (2018). *Tabla de composición de alimentos colombianos*. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (1976). *Norma Técnica Colombiana [NTC] 1190*.

Iraporda, C., Rubel, I. A., Managó, N., Manrique, G. D., Garrote, G. L., & Abraham, A. G. (2022). Inulin addition improved probiotic survival in soy-based fermented beverage. *WORLD JOURNAL OF MICROBIOLOGY & BIOTECHNOLOGY*, *38*(8). https://doi.org/10.1007/s11274-022-03322-4

Ishwarya, S. P., & Anandharamakrishnan, C. (2015). Spray-Freeze-Drying approach for soluble coffee processing and its effect on quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, *149*, 171–180. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.10.011

Jalgaonkar, K., Mahawar, M. K., Vishwakarma, R. K., Shivhare, U. S., & Nambi, V. E. (2020). Optimization of process condition for preparation of sapota bar using Refractance window drying method. *Drying Technology*, *38*(3), 269–278. https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1482314

Janiszewska-Turak, E., Dellarosa, N., Tylewicz, U., Laghi, L., Romani, S., Dalla Rosa, M., & Witrowa-Rajchert, D. (2017). The influence of carrier material on some physical and structural properties of carrot juice microcapsules. *Food Chemistry*, *236*, 134–141. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.134

Kandylis, P., Pissaridi, K., Bekatorou, A., Kanellaki, M., & Koutinas, A. A. (2016). Dairy and non-dairy probiotic beverages. *Current Opinion in Food Science*, *7*, 58–63. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.11.012

Karagül, Ö., & EL, S. N. (2024). Cereal-based fermented synbiotic instant powders: a dessert practice. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *60*(4), 571–579. https://doi.org/10.20289/zfdergi.1336843

Kareem, S. O., Adio, O. Q., & Osho, M. B. (2014). Immobilization of Aspergillus niger F7-02 Lipase in Polysaccharide Hydrogel Beads of Irvingia gabonensis Matrix. *Enzyme Research*, *2014*, 1–7. https://doi.org/10.1155/2014/967056

Katina, K., Liukkonen, K.-H., Kaukovirta-Norja, A., Adlercreutz, H., Heinonen, S.-M., Lampi, A.-M., Pihlava, J.-M., & Poutanen, K. (2007). Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye. *Journal of Cereal Science*, *46*(3), 348–355. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.07.006

Kelly, G. S. (2003). Bovine colostrums: a review of clinical uses. *Alternative Medicine Review : A Journal of Clinical Therapeutic*, *8*(4), 378–394.

Kelly, J. R., Borre, Y., O' Brien, C., Patterson, E., El Aidy, S., Deane, J., Kennedy, P. J., Beers, S., Scott, K., Moloney, G., Hoban, A. E., Scott, L., Fitzgerald, P., Ross, P., Stanton, C., Clarke, G., Cryan, J. F., & Dinan, T. G. (2016). Transferring the blues: Depression-associated gut microbiota induces neurobehavioural changes in the rat. *Journal of Psychiatric Research*, *82*, 109–118. https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2016.07.019

Khalesi, S., Sun, J., Buys, N., & Jayasinghe, R. (2014). Effect of probiotics on blood pressure: A systematic review and meta-analysis of randomized, controlled trials. *Hypertension*, *64*(4), 897–903. https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.114.03469

Kingwatee, N., Apichartsrangkoon, A., Chaikham, P., Worametrachanon, S., Techarung, J., & Pankasemsuk, T. (2015). Spray drying Lactobacillus casei 01 in lychee juice varied carrier materials. *LWT - Food Science and Technology*, *62*(1), 847–853. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.007

Kober, M.-M., & Bowe, W. P. (2015). The effect of probiotics on immune regulation, acne, and photoaging. *International Journal of Women's Dermatology*, *1*(2), 85–89. https://doi.org/10.1016/j.ijwd.2015.02.001

Koç, B., Sakin-Yılmazer, M., Kaymak-Ertekin, F., & Balkır, P. (2014). Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(7), 1377–1383. https://doi.org/10.1007/s13197-012-0653-8

Krumbeck, J. A., Maldonado-Gomez, M. X., Martínez, I., Frese, S. A., Burkey, T. E., Rasineni, K., Ramer-Tait, A. E., Harris, E. N., Hutkins, R. W., & Walter, J. (2015). In vivo selection to identify bacterial strains with enhanced ecological performance in synbiotic applications.

Applied and Environmental Microbiology, *81*(7), 2455–2465. https://doi.org/10.1128/AEM.03903-14

Kumar, B., Vijayendra, S. V. N., & Reddy, O. V. S. (2015). Trends in dairy and non-dairy probiotic products - a review. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(10), 6112–6124. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1795-2

Kumar, H., Dhalaria, R., Guleria, S., Cimler, R., Choudhary, R., Dhanjal, D. S., Singh, R., Kimta, N., Dulta, K., Pathera, A. K., Khan, A., Nausad, M., Alomar, S. Y., Manickam, S., & Kuča, K. (2023). To exploring the role of probiotics, plant-based fermented products, and paraprobiotics as anti-inflammatory agents in promoting human health. *Journal of Agriculture and Food Research*, *14*, 100896. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100896

Kumar, P. S., Saravanan, A., Sheeba, N., & Uma, S. (2019). Structural, functional characterization and physicochemical properties of green banana flour from dessert and plantain bananas (Musa spp.). *LWT*, *116*, 108524. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108524

Kumar, P. S., Thayumanavan, S., Pushpavalli, S., Saraswathi, M. S., Backiyarani, S., Mohanasundaram, A., & Uma, S. (2023). Comparing physico-chemical characteristics, antioxidant properties, glycemic response, and volatile profiles of eleven banana varieties. *International Journal of Food Science & Technology*, *58*(6), 2893–2908. https://doi.org/10.1111/ijfs.16392

Kumar, S., Rattu, G., Mitharwal, S., Chandra, A., Kumar, S., Kaushik, A., Mishra, V., & Nema, P. K. (2022). Trends in non-dairy-based probiotic food products: Advances and challenges. *Journal of Food Processing and Preservation*, *46*(9). https://doi.org/10.1111/jfpp.16578

Lacerda, E. C. Q., Calado, V. M. de A., Monteiro, M., Finotelli, P. V., Torres, A. G., & Perrone, D. (2016). Starch, inulin and maltodextrin as encapsulating agents affect the quality and stability of jussara pulp microparticles. *Carbohydrate Polymers*, *151*, 500–510. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.093

Laksmi Suryaatmadja Jenie, B. S., Yusup Saputra, M., & Widaningrum, dan. (2013). SENSORY EVALUATION AND SURVIVAL OF PROBIOTICS IN MODIFIED BANANA FLOUR YOGHURT DURING STORAGE. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, *24*(1), 40–47. https://doi.org/10.6066/jtip.2013.24.1.40

Lamiki, P., Tsuchiya, J., Pathak, S., Okura, R., Solimene, U., Jain, S., Kawakita, S., & Marotta, F. (2010). Probiotics in diverticular disease of the colon: an open label study. *Journal of Gastrointestinal and Liver Diseases : JGLD*, *19*(1), 31–36. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20361072

Lapsiri, W., Bhandari, B., & Wanchaitanawong, P. (2012). Viability of Lactobacillus plantarum TISTR 2075 in Different Protectants during Spray Drying and Storage. *Drying Technology*, *30*(13), 1407–1412. https://doi.org/10.1080/07373937.2012.684226

Le Leu, R. K., Hu, Y., Brown, I. L., Woodman, R. J., & Young, G. P. (2010). Synbiotic intervention of Bifidobacterium lactis and resistant starch protects against colorectal cancer development in rats. *Carcinogenesis*, *31*(2), 246–251. https://doi.org/10.1093/carcin/bgp197

Lee, A., Cheng, K.-C., & Liu, J.-R. (2017). Isolation and characterization of a Bacillus amyloliquefaciens strain with zearalenone removal ability and its probiotic potential. *PLOS ONE*, *12*(8), e0182220. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182220

Lee, N., Park, Y.-S., Kang, D.-K., & Paik, H.-D. (2023). Paraprobiotics: definition, manufacturing methods, and functionality. *Food Science and Biotechnology*, *32*(14), 1981–1991. https://doi.org/10.1007/s10068-023-01378-y

Liu, Liong, Chung, Huang, Peng, Cheng, Lin, Wu, & Tsai. (2019). Effects of Lactobacillus plantarum PS128 on Children with Autism Spectrum Disorder in Taiwan: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial. *Nutrients*, *11*(4), 820. https://doi.org/10.3390/nu11040820

Long-Smith, C., O'Riordan, K. J., Clarke, G., Stanton, C., Dinan, T. G., & Cryan, J. F. (2020). Microbiota-Gut-Brain Axis: New Therapeutic Opportunities. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, *60*(1), 477–502. https://doi.org/10.1146/annurev-pharmtox-010919-023628

Lopetuso, L. R., Giorgio, M. E., Saviano, A., Scaldaferri, F., Gasbarrini, A., & Cammarota, G. (2019). Bacteriocins and Bacteriophages: Therapeutic Weapons for Gastrointestinal Diseases? *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(1), 183. https://doi.org/10.3390/ijms20010183

López-Esparza, R., Balderas Altamirano, M. A., Pérez, E., & Gama Goicochea, A. (2015). Importance of Molecular Interactions in Colloidal Dispersions. *Advances in Condensed Matter Physics*, *2015*, 1–8. https://doi.org/10.1155/2015/683716

Louis, P., Hold, G. L., & Flint, H. J. (2014). The gut microbiota, bacterial metabolites and colorectal cancer. *Nature Reviews Microbiology*, *12*(10), 661–672. https://doi.org/10.1038/nrmicro3344

Mahanti, N. K., Chakraborty, S. K., Sudhakar, A., Verma, D. K., Shankar, S., Thakur, M., Singh, S., Tripathy, S., Gupta, A. K., & Srivastav, P. P. (2021). Refractance WindowTM-Drying vs. other drying methods and effect of different process parameters on quality of foods: A comprehensive review of trends and technological developments. *Future Foods*, *3*, 100024. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100024

Mäkeläinen, H., Saarinen, M., Stowell, J., Rautonen, N., & Ouwehand, A. (2010). Xylo-oligosaccharides and lactitol promote the growth of *Bifidobacterium lactis* and *Lactobacillus* species in pure cultures. *Beneficial Microbes*, *1*(2), 139–148. https://doi.org/10.3920/BM2009.0029

Malfa, G. A., Di Giacomo, C., Cardia, L., Sorbara, E. E., Mannucci, C., & Calapai, G. (2021a). A standardized extract of <scp> *Opuntia ficus-indica* </scp> (L.) Mill and <scp> *Olea europaea*

</scp> L. improves gastrointestinal discomfort: A <scp>double-blinded randomized-controlled</scp> study. *Phytotherapy Research*, ptr.7074. https://doi.org/10.1002/ptr.7074

Malfa, G. A., Di Giacomo, C., Cardia, L., Sorbara, E. E., Mannucci, C., & Calapai, G. (2021b). A standardized extract of <scp> *Opuntia ficus-indica* </scp> (L.) Mill and <scp> *Olea europaea* </scp> L. improves gastrointestinal discomfort: A <scp>double-blinded randomized-controlled</scp> study. *Phytotherapy Research*, ptr.7074. https://doi.org/10.1002/ptr.7074

Mandale, N. M., Attkan, A. K., Kumar, S., & Kumar, N. (2023). Drying kinetics and quality assessment of refractance window dried beetroot. *Journal of Food Process Engineering*, *46*(7). https://doi.org/10.1111/jfpe.14332

Manderino, L., Carroll, I., Azcarate-Peril, M. A., Rochette, A., Heinberg, L., Peat, C., Steffen, K., Mitchell, J., & Gunstad, J. (2017). Preliminary Evidence for an Association Between the Composition of the Gut Microbiome and Cognitive Function in Neurologically Healthy Older Adults. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *23*(8), 700–705. https://doi.org/10.1017/S1355617717000492

Mangiola, F. (2016). Gut microbiota in autism and mood disorders. *World Journal of Gastroenterology*, *22*(1), 361. https://doi.org/10.3748/wjg.v22.i1.361

Mantzourani, I., Kazakos, S., Terpou, A., Alexopoulos, A., Bezirtzoglou, E., Bekatorou, A., & Plessas, S. (2018). Potential of the Probiotic Lactobacillus Plantarum ATCC 14917 Strain to Produce Functional Fermented Pomegranate Juice. *Foods*, *8*(1), 4. https://doi.org/10.3390/foods8010004

Marín-Arango, Z. T., Cortés R., M., Gil G., J., & Agudelo-Laverde, L. M. (2023). Biofortified andean blackberry (rubus glaucus benth) powder with Lacticaseibacillus casei: process and formulation effects. *F1000Research*, *12*, 479. https://doi.org/10.12688/f1000research.132767.1

Martinez Pantoja, D. F., Acosta Castaño, M., Alvarez Barreto, C. I., & Castellanos Galeano, F. J. (2022). Fritura por inmersión al vacío de rodajas de plátano verde con recubrimientos comestibles. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, *25*(1), 14. https://doi.org/10.25100/iyc.v25i1.11970

Martínez-Navarrete, N., Andrés Grau, A., Chiralt Boix, A., & Fito Maupoey, P. (1998). *Termodinámica y cinética de sistemas alimento-entorno*. Universidad Politécnica de Valencia.

Martins, E. M. F., Ramos, A. M., Vanzela, E. S. L., Stringheta, P. C., de Oliveira Pinto, C. L., & Martins, J. M. (2013). Products of vegetable origin: A new alternative for the consumption of probiotic bacteria. *Food Research International*, *51*(2), 764–770. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.047

Melo Sabogal, D. V., Torres Grisales, Y., Serna jiménez, J. A., & Torres Valenzuela, L. S. (2015). APROVECHAMIENTO DE PULPA Y CÁSCARA DE PLÁTANO(Musa paradisiaca spp)

PARA LA OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINA. *Biotecnoloía En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *13*(2), 76. https://doi.org/10.18684/BSAA(13)76-85

Mendes, A. C., & Chronakis, I. S. (2021). Electrohydrodynamic encapsulation of probiotics: A review. *Food Hydrocolloids*, *117*, 106688. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106688

Metchnikoff, E. (1910). *The Prolongation of Life: Optimistic Studies* (P. C. Mitchell, Ed.). G P Putnam's Sons.

Michail, S. K., Stolfi, A., Johnson, T., & Onady, G. M. (2008). Efficacy of probiotics in the treatment of pediatric atopic dermatitis: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, *101*(5), 508–516. https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)60290-6

Min, M., Bunt, C. R., Mason, S. L., & Hussain, M. A. (2019a). Non-dairy probiotic food products: An emerging group of functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *59*(16), 2626–2641. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1462760

Min, M., Bunt, C. R., Mason, S. L., & Hussain, M. A. (2019b). Non-dairy probiotic food products: An emerging group of functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *59*(16), 2626–2641. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1462760

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017). *Evaluaciones agropecuarias municipales: plátano*.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Cadena de plátano. Dirección de cadenas agrícolas y forestales Junio 2021*.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2021). *Resolución 810*.

Mitharwal, S., Kumar, S., & Chauhan, K. (2021a). Nutritional, polyphenolic composition and in vitro digestibility of finger millet (Eleusine coracana L.) with its potential food applications: A review. *Food Bioscience*, *44*, 101382. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101382

Mitharwal, S., Kumar, S., & Chauhan, K. (2021b). Nutritional, polyphenolic composition and in vitro digestibility of finger millet (Eleusine coracana L.) with its potential food applications: A review. *Food Bioscience*, *44*, 101382. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101382

Montoya, J. (2020). *Formulación de una matriz alimentaria a base de harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) para el diseño de alimentos funcionales libres de gluten*. 1–217. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78569

Montoya, J., Rodriguez-Barona, S., & Giraldo, G. (2016). CARACTERISITICAS FISICOQUÍMICAS DE LA HARINA DE PLÁTANO (Musa Paradisiaca) DOMINICO HARTON Y HARINA DE TRIGO COMERCIAL CON TENDENCIAS FUNCIONALES. *Vitae*, *23*, 396–399.

Mujumdar, A. S., & Xiao, H.-W. (2019). *Advanced Drying Technologies for Foods* (CRC Press). Taylor & Francis Group. https://cloudflare-ipfs.com/ipfs/bafykbzacedi3guxgccvbjaqaltnkgyetubxd7gizgn4ty4s4z545jreyjpwpo?filename=Arun S Mujumdar %28Editor%29_ Hong-Wei Xiao %28Editor%29 - Advanced Drying Technologies for Foods-CRC Press %282019%29.pdf

Muyonga, J. H., Natocho, J., Kigozi, J., Baidhe, E., & Nansereko, S. (2022). Drying behaviour and optimization of drying conditions of pineapple puree and slices using refractance window drying technology. *Journal of Food Science and Technology*, *59*(7), 2794–2803. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05302-2

Nakamura, F., Ishida, Y., Aihara, K., Sawada, D., Ashida, N., Sugawara, T., Aoki, Y., Takehara, I., Takano, K., & Fujiwara, S. (2016). Effect of fragmented *Lactobacillus amylovorus* CP1563 on lipid metabolism in overweight and mildly obese individuals: a randomized controlled trial. *Microbial Ecology in Health & Disease*, *27*(0). https://doi.org/10.3402/mehd.v27.30312

Naseribafrouei, A., Hestad, K., Avershina, E., Sekelja, M., Linløkken, A., Wilson, R., & Rudi, K. (2014). Correlation between the human fecal microbiota and depression. *Neurogastroenterology & Motility*, *26*(8), 1155–1162. https://doi.org/10.1111/nmo.12378

Nguyen, T. D. T., Kang, J. H., & Lee, M. S. (2007). Characterization of Lactobacillus plantarum PH04, a potential probiotic bacterium with cholesterol-lowering effects. *International Journal of Food Microbiology*, *113*(3), 358–361. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.08.015

Nindo, C. I., & Tang, J. (2007). Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. *Drying Technology*, *25*(1), 37–48. https://doi.org/10.1080/07373930601152673

Ninkov, A., Frank, J. R., & Maggio, L. A. (2021). Bibliometrics: Methods for studying academic publishing. *Perspectives on Medical Education*, *11*(3), 173–176. https://doi.org/10.1007/S40037-021-00695-4

Nunes, G. L., Motta, M. H., Cichoski, A. J., Wagner, R., Muller, É. I., Codevilla, C. F., da Silva, C. D. B., & de Menezes, C. R. (2018). Encapsulation of lactobacillus acidophilus la-5 and bifidobacterium bb-12 by spray drying and evaluation of its resistance in simulated gastrointestinal conditions, thermal treatments and storage conditions. *Ciencia Rural*, *48*(6), 1–11. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180035

Nuñez, H., Jaques, A., Belmonte, K., Elitin, J., Valdenegro, M., Ramírez, C., & Córdova, A. (2024). Development of an Apple Snack Enriched with Probiotic Lacticaseibacillus rhamnosus: Evaluation of the Refractance Window Drying Process on Cell Viability. *Foods*, *13*(11), 1756. https://doi.org/10.3390/foods13111756

Ochoa-Martínez, C. I., Quintero, P. T., Ayala, A. A., & Ortiz, M. J. (2012). Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. *Journal of Food Engineering*, *109*(1), 69–75. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.032

Ocoró-Zamora, M. U., & Ayala-Aponte, A. A. (2013). Influencia del espesor en secado de puré de papaya (Carica papaya L.) por tecnología de ventana de refractanciaspi®. *DYNA (Colombia)*, *80*(182), 147–154.

Ohkawara, S., Furuya, H., Nagashima, K., Asanuma, N., & Hino, T. (2005). Oral Administration of Butyrivibrio fibrisolvens, a Butyrate-Producing Bacterium, Decreases the Formation of Aberrant Crypt Foci in the Colon and Rectum of Mice. *The Journal of Nutrition*, *135*(12), 2878–2883. https://doi.org/10.1093/jn/135.12.2878

Olivares, A., Soto, C., Caballero, E., & Altamirano, C. (2019). Survival of microencapsulated Lactobacillus casei (prepared by vibration technology) in fruit juice during cold storage. *Electronic Journal of Biotechnology*, *42*, 42–48. https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.10.002

Olugbuyi, A. O., Malomo, S. A., Ijarotimi, O. S., & Fagbemi, T. N. (2023). Amino Acids Profile,Glyceamic Index/load, *In-vitro* Antioxidant and Sensory Attributes of Optimized Dough Meal from the Blends of Plantain, Soycake and Rice-bran Flours. *Journal of Culinary Science & Technology*, *21*(5), 795–817. https://doi.org/10.1080/15428052.2021.2016530

Oluwajuyitan, T. D., & Ijarotimi, O. S. (2019). Nutritional, antioxidant, glycaemic index and Antihyperglycaemic properties of improved traditional plantain-based (Musa AAB) dough meal enriched with tigernut (Cyperus esculentus) and defatted soybean (Glycine max) flour for diabetic patients. *Heliyon*, *5*(4), e01504. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01504

Olveira, G., & González-Molero, I. (2016). Actualización de probióticos, prebióticos y simbióticos en nutrición clínica. *Endocrinología y Nutrición*, *63*(9), 482–494. https://doi.org/10.1016/j.endonu.2016.07.006

Organización Mundial de Gastroenterología. (2023). *Directrices mundiales de la Organización Mundial de Gastroenterología*. https://www.worldgastroenterology.org/UserFiles/file/guidelines/probiotics-and-prebiotics-spanish-2023.pdf

Ormaza-Zapata, Á. M., Días-Arango, F. O., & Rodríguez-Barona, S. (2019). EVALUATION OF PROBIOTIC MICROENCAPSULATION IN A PREBIOTIC WITH COFFEE EXTRACT. *Coffe Science*, *14*(3), 394–406.

Ortega-Rivas, E., Yang, H., Juliano, P., & Barbosa-Canovas, G. V. (2005). *Food Powders: Physical properties, processing and functionality* (Springer Science & Business Media, Ed.). Springer US. https://doi.org/10.1007/0-387-27613-0

Ortiz-Jerez, M. J., & Ochoa-Martínez, C. I. (2015). Heat Transfer Mechanisms in Conductive Hydro-Drying of Pumpkin (Cucurbita maxima) Pieces. *Drying Technology*, *33*(8), 965–972. https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1009538

Ouwehand, A. C., Salminen, S., & Isolauri, E. (2002). Probiotics: an overview of beneficial effects. *Antonie van Leeuwenhoek*, *82*(1–4), 279–289.

Ovando-Martinez, M., Sáyago-Ayerdi, S., Agama-Acevedo, E., Goñi, I., & Bello-Pérez, L. A. (2009). Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. *Food Chemistry*, *113*(1), 121–126. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.035

Ozuna, L. E. (1992). *Elaboración de puré de plátano por un método alternativo* [Master's degree]. Universidad de Sonora.

Padhi, S., & Dwivedi, M. (2022). Physico-chemical, structural, functional and powder flow properties of unripe green banana flour after the application of Refractance window drying. *Future Foods*, *5*, 100101. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100101

Padhi, S., Murakonda, S., & Dwivedi, M. (2022). Investigation of drying characteristics and nutritional retention of unripe green banana flour by refractance window drying technology using statistical approach. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *16*(3), 2375–2385. https://doi.org/10.1007/s11694-022-01349-7

Pallares Pallares, A., Estupiñán A, M. R., Perea Villamil, J. A., & López Giraldo, L. J. (2017). Impacto de la fermentación y secado sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante del clon de cacao CCN-51. *Revista ION*, *29*(2), 7–21. https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016001

Pandey, Kavita. R., Naik, Suresh. R., & Vakil, Babu. V. (2015). Probiotics, prebiotics and synbiotics- a review. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(12), 7577–7587. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1921-1

Panghal, A., Janghu, S., Virkar, K., Gat, Y., Kumar, V., & Chhikara, N. (2018a). Potential non-dairy probiotic products – A healthy approach. *Food Bioscience*, *21*, 80–89. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.12.003

Panghal, A., Janghu, S., Virkar, K., Gat, Y., Kumar, V., & Chhikara, N. (2018b). Potential non-dairy probiotic products – A healthy approach. *Food Bioscience*, *21*, 80–89. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.12.003

Pavan, M. A., Schmidt, S. J., & Feng, H. (2012). Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, Refractance Window-dried and hot-air dried açaí (Euterpe oleracea Martius) juice. *LWT - Food Science and Technology*, *48*(1), 75–81. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.024

Pedersen, L. L., Owusu-Kwarteng, J., Thorsen, L., & Jespersen, L. (2012). Biodiversity and probiotic potential of yeasts isolated from Fura, a West African spontaneously fermented cereal. *International Journal of Food Microbiology*, *159*(2), 144–151. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.08.016

Pereira, A. L. F., Maciel, T. C., & Rodrigues, S. (2011). Probiotic beverage from cashew apple juice fermented with Lactobacillus casei. *Food Research International*, *44*(5), 1276–1283. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.035

Perricone, M., Bevilacqua, A., Corbo, M. R., & Sinigaglia, M. (2014). Technological characterization and probiotic traits of yeasts isolated from Altamura sourdough to select promising microorganisms as functional starter cultures for cereal-based products. *Food Microbiology*, *38*, 26–35. https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.08.006

Playne, M. J., Bennett, L. E., & Smithers, G. W. (2003). Functional dairy foods and ingredients. *Australian Journal of Dairy Technology*, *58*(3), 242.

Powthong, P., Jantrapanukorn, B., Suntornthiticharoen, P., & Laohaphatanalert, K. (2020). Study of prebiotic properties of selected banana species in Thailand. *Journal of Food Science and Technology*, *57*(7), 2490–2500. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04284-x

Prado, F. C., Parada, J. L., Pandey, A., & Soccol, C. R. (2008). Trends in non-dairy probiotic beverages. *Food Research International*, *41*(2), 111–123. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.10.010

Quigley, E. M. M. (2010). Prebiotics and probiotics; modifying and mining the microbiota. *Pharmacological Research*, *61*(3), 213–218. https://doi.org/10.1016/j.phrs.2010.01.004

Rajoriya, D., Shewale, S. R., & Hebbar, H. U. (2019). Refractance Window Drying of Apple Slices: Mass Transfer Phenomena and Quality Parameters. *Food and Bioprocess Technology*, *12*(10), 1646–1658. https://doi.org/10.1007/s11947-019-02334-7

Ramani, R., & Ramani, V. (2018). PROBIOTIC MICROENCAPSULATION TECHNIQUES AND COATING MATERIALS: EBSCOhost. *International Journal of Probiotics & Prebiotics*, *13*(4), 161–168. https://web-b-ebscohost-com.wdg.biblio.udg.mx:8443/ehost/detail/detail?vid=0&sid=363953fd-8220-475d-8972-2b57009c5f10%40sessionmgr103&bdata=JnNpdGU9ZWhvc3QtbGl2ZQ%3D%3D#AN=133492672&db=fsr

Rashidinejad, A., Bahrami, A., Rehman, A., Rezaei, A., Babazadeh, A., Singh, H., & Jafari, S. M. (2020). Co-encapsulation of probiotics with prebiotics and their application in functional/synbiotic dairy products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *0*(0), 1–25. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1854169

Rattanaprasert, M., Roos, S., Hutkins, R. W., & Walter, J. (2014). Quantitative evaluation of synbiotic strategies to improve persistence and metabolic activity of Lactobacillus reuteri DSM

17938 in the human gastrointestinal tract. *Journal of Functional Foods*, *10*, 85–94. https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.05.017

Rayo, L. M., Chaguri e Carvalho, L., Sardá, F. A. H., Dacanal, G. C., Menezes, E. W., & Tadini, C. C. (2015). Production of instant green banana flour (Musa cavendischii, var. Nanicão) by a pulsed-fluidized bed agglomeration. *LWT - Food Science and Technology*, *63*(1), 461–469. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.059

Reis, J. M. C. dos, Pinheiro, M. F., Oti, A. T., Feitosa-Junior, D. J. S., Pantoja, M. de S., & Barros, R. S. M. (2016). TECHNOLOGICAL INFORMATION REGARDING PREBIOTICS AND PROBIOTICS NUTRITION VERSUS THE PATENT REGISTERS: WHAT IS NEW? *ABCD. Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva (São Paulo)*, *29*(4), 279–281. https://doi.org/10.1590/0102-6720201600040016

Rivera-Espinoza, Y., & Gallardo-Navarro, Y. (2010). Non-dairy probiotic products. *Food Microbiology*, *27*(1), 1–11. https://doi.org/10.1016/j.fm.2008.06.008

Rodrigues, F. J., Cedran, M. F., Bicas, J. L., & Sato, H. H. (2020). Encapsulated probiotic cells: Relevant techniques, natural sources as encapsulating materials and food applications – A narrative review. In *Food Research International* (Vol. 137). https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109682

Rodríguez de Olmos, A., Garro, O. A., & Garro, M. S. (2022). Behavior study of Bifidobacterium longum using solid state fermentation from commercial soybean meal. *LWT*, *157*, 113101. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113101

Rodríguez-Barona, S., Giraldo, G. I., & Montes, L. M. (2016). Encapsulación De Alimentos Probióticos Mediante Liofilización En Presencia De Prebióticos. *Informacion Tecnologica*, *27*(6), 135–144. https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000600014

Rodríguez-Barona, S., Giraldo, G. I., & Zuluaga, Y. P. (2015). Evaluación de la Incorporación de Fibra Prebiótica sobre la Viabilidad de LactobaciHus casei Impregnado en Matrices de Mora (Rubus glaucus). *Información Tecnológica*, *26*(5), 25–34. https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000500005

Rodríguez-Barona, S., Granada-Orozco, J., & Cruz-Ríos, D. (2014a). Comparación de sacarosa, inulina y fructo-oligosacáridos como agente4 osmóticos en mora de castilla (Rubus glaucus Benth.). *Acta Horticulturae*, *1016*, 47–51. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1016.4

Rodríguez-Barona, S., Granada-Orozco, J., & Cruz-Ríos, D. (2014b). COMPARACIÓN DE SACAROSA, INULINA Y FRUCTO-OLIGOSACÁRIDOS COMO AGENTES OSMÓTICOS EN MORA DE CASTILLA (RUBUS GLAUCUS BENTH.) -COMPARISON OF SUCROSE, INULIN AND FRUCTO-OLIGOSACCHARIDES AS OSMOTIC AGENTS IN THE ANDEAN BLACKBERRY (RUBUS GLAUCUS BENTH.). *Acta Horticulturae*, *1016*, 47–51. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1016.4

Rodríguez-Barona, S., Montes, L. M., & Ramírez, D. de J. (2012). Microencapsulación De Probióticos Mediante Secado Por Aspersión En Presencia De Prebióticos. *Vitae*, *19*(1), S186–S188.

Rodríguez-Restrepo, Y. A., Giraldo, G. I., & Rodríguez-Barona, S. (2017a). Solubility as a fundamental variable in the characterization of wall material by spray drying of food components: Application to microencapsulation of Bifidobacterium animalis subsp. lactis. *Journal of Food Process Engineering*, *40*(6), 1–8. https://doi.org/10.1111/jfpe.12557

Rodríguez-Restrepo, Y. A., Giraldo, G. I., & Rodríguez-Barona, S. (2017b). Solubility as a fundamental variable in the characterization of wall material by spray drying of food components: Application to microencapsulation of Bifidobacterium animalis subsp. lactis. *Journal of Food Process Engineering*, *40*(6), e12557. https://doi.org/10.1111/jfpe.12557

Romeo, J., Nova, E., Wärnberg, J., Gómez-Martínez, S., Díaz Ligia, L. E., & Marcos, A. (2010). Immunomodulatory effect of fibres, probiotics and synbiotics in different life-stages. *Nutricion Hospitalaria*, *25*(3), 341–349.

Rostami, H., Dehnad, D., Jafari, S. M., & Tavakoli, H. R. (2018). Evaluation of physical, rheological, microbial, and organoleptic properties of meat powder produced by Refractance Window drying. *Drying Technology*, *36*(9), 1076–1085. https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1377224

Rowland, I., Gibson, G., Heinken, A., Scott, K., Swann, J., Thiele, I., & Tuohy, K. (2018). Gut microbiota functions: metabolism of nutrients and other food components. *European Journal of Nutrition*, *57*(1), 1–24. https://doi.org/10.1007/s00394-017-1445-8

Rubio, R., Aymerich, T., Bover-Cid, S., Guàrdia, M. D., Arnau, J., & Garriga, M. (2013). Probiotic strains Lactobacillus plantarum 299V and Lactobacillus rhamnosus GG as starter cultures for fermented sausages. *LWT - Food Science and Technology*, *54*(1), 51–56. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.014

Rwubuzizi, R., Kim, H., Holzapfel, W. H., & Todorov, S. D. (2023). Beneficial, safety, and antioxidant properties of lactic acid bacteria: A next step in their evaluation as potential probiotics. *Heliyon*, *9*(4), e15610. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15610

Salari, M., Razavi, S. H., & Gharibzahedi, S. M. T. (2015). Characterising the synbiotic beverages based on barley and malt flours fermented by Lactobacillus *delbrueckii* and *paracasei* strains. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, *7*(3), 355–361. https://doi.org/10.3920/QAS2013.0390

Salazar, B. C., Cortés, M., & Montoya, O. I. (2015). The impact of storage conditions on the stability of sugarcane powder biofortified with kefir grains. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *68*(2), 7703–7712. https://doi.org/10.15446/rfnam.v68n2.50987

Sampson, T. R., Debelius, J. W., Thron, T., Janssen, S., Shastri, G. G., Ilhan, Z. E., Challis, C., Schretter, C. E., Rocha, S., Gradinaru, V., Chesselet, M.-F., Keshavarzian, A., Shannon, K. M., Krajmalnik-Brown, R., Wittung-Stafshede, P., Knight, R., & Mazmanian, S. K. (2016). Gut Microbiota Regulate Motor Deficits and Neuroinflammation in a Model of Parkinson's Disease. *Cell*, *167*(6), 1469-1480.e12. https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.11.018

Santos, S. de J. L., Canto, H. K. F., da Silva, L. H. M., & Rodrigues, A. M. da C. (2022). Characterization and properties of purple yam (Dioscorea trifida) powder obtained by refractance window drying. *Drying Technology*, *40*(6), 1103–1113. https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1847140

Sarkar, A., Lehto, S. M., Harty, S., Dinan, T. G., Cryan, J. F., & Burnet, P. W. J. (2016). Psychobiotics and the Manipulation of Bacteria–Gut–Brain Signals. *Trends in Neurosciences*, *39*(11), 763–781. https://doi.org/10.1016/j.tins.2016.09.002

Savassi, B., Cordeiro, B. F., Silva, S. H., Oliveira, E. R., Belo, G., Figueiroa, A. G., Alves Queiroz, M. I., Faria, A. M. C., Alves, J., Silva, T. F. da, Campos, G. M., Esmerino, E. A., Rocha, R. S., Freitas, M. Q., Silva, M. C., Cruz, A. G., Vital, K. D., Fernandes, S. O. A., Cardoso, V. N., … Azevedo, V. (2021). Lyophilized Symbiotic Mitigates Mucositis Induced by 5-Fluorouracil. *Frontiers in Pharmacology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fphar.2021.755871

Savlak, N., Türker, B., & Yeşilkanat, N. (2016). Effects of particle size distribution on some physical, chemical and functional properties of unripe banana flour. *Food Chemistry*, *213*, 180–186. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.064

Sawicki, C., McKay, D., McKeown, N., Dallal, G., Chen, C., & Blumberg, J. (2016). Phytochemical Pharmacokinetics and Bioactivity of Oat and Barley Flour: A Randomized Crossover Trial. *Nutrients*, *8*(12), 813. https://doi.org/10.3390/nu8120813

Schepper, J. D., Irwin, R., Kang, J., Dagenais, K., Lemon, T., Shinouskis, A., Parameswaran, N., & McCabe, L. R. (2017). *Probiotics in Gut-Bone Signaling* (pp. 225–247). https://doi.org/10.1007/978-3-319-66653-2_11

Seth, D., Mishra, H. N., & Deka, S. C. (2017). Functional and reconstitution properties of spray-dried sweetened yogurt powder as influenced by processing conditions. *International Journal of Food Properties*, *20*(7), 1603–1611. https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1214965

Sgritta, M., Dooling, S. W., Buffington, S. A., Momin, E. N., Francis, M. B., Britton, R. A., & Costa-Mattioli, M. (2019). Mechanisms Underlying Microbial-Mediated Changes in Social Behavior in Mouse Models of Autism Spectrum Disorder. *Neuron*, *101*(2), 246-259.e6. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.11.018

Shaikh, S. S., Joshi, C., Malek, F., Malik, A., & Gandhi, M. (2024). Food Storage, Processing and Genetic Stability Studies of Bacillus (Heyndrickxia) coagulans BCP92 (MTCC 25460). *Applied Food Biotechnology*, *11*(1). https://doi.org/10.22037/afb.v11i1.44919

Sharma, V., & Mishra, H. N. (2013). Fermentation of vegetable juice mixture by probiotic lactic acid bacteria. *Nutrafoods*, *12*(1), 17–22. https://doi.org/10.1007/s13749-012-0050-y

Shende, D., & Datta, A. K. (2020). Optimization study for refractance window drying process of Langra variety mango. *Journal of Food Science and Technology*, *57*(2), 683–692. https://doi.org/10.1007/s13197-019-04101-0

Shori, A. B. (2016). Influence of food matrix on the viability of probiotic bacteria: A review based on dairy and non-dairy beverages. *Food Bioscience*, *13*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.11.001

Sidira, M., Kandylis, P., Kanellaki, M., & Kourkoutas, Y. (2016). Effect of curing salts and probiotic cultures on the evolution of flavor compounds in dry-fermented sausages during ripening. *Food Chemistry*, *201*, 334–338. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.084

Sihra, N., Goodman, A., Zakri, R., Sahai, A., & Malde, S. (2018). Nonantibiotic prevention and management of recurrent urinary tract infection. *Nature Reviews Urology*, *15*(12), 750–776. https://doi.org/10.1038/s41585-018-0106-x

Silanikove, N., Leitner, G., & Merin, U. (2015). The Interrelationships between Lactose Intolerance and the Modern Dairy Industry: Global Perspectives in Evolutional and Historical Backgrounds. *Nutrients*, *7*(9), 7312–7331. https://doi.org/10.3390/nu7095340

Silva-Espinoza, M. A., Salvador, A., Camacho, M. del M., & Martínez-Navarrete, N. (2021). Impact of freeze-drying conditions on the sensory perception of a freeze-dried orange snack. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *101*(11), 4585–4590. https://doi.org/10.1002/jsfa.11101

Simova, E. D., Beshkova, D. B., & Dimitrov, Zh. P. (2009). Characterization and antimicrobial spectrum of bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from traditional Bulgarian dairy products. *Journal of Applied Microbiology*, *106*(2), 692–701. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.04052.x

Singh, R., Ranvir, S., & Madan, S. (2017). Comparative Study of the Properties of Ripe Banana Flour, Unripe Banana Flour and Cooked Banana Flour Aiming Towards Effective Utilization of These Flours. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *6*(8), 2003–2015. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.239

Slykerman, R. F., Hood, F., Wickens, K., Thompson, J. M. D., Barthow, C., Murphy, R., Kang, J., Rowden, J., Stone, P., Crane, J., Stanley, T., Abels, P., Purdie, G., Maude, R., & Mitchell, E. A. (2017). Effect of Lactobacillus rhamnosus HN001 in Pregnancy on Postpartum Symptoms of Depression and Anxiety: A Randomised Double-blind Placebo-controlled Trial. *EBioMedicine*, *24*, 159–165. https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2017.09.013

Stadnik, J., & Dolatowski, Z. J. (2014). Effect of Inoculation with Probiotics and Ageing Time on Selected Functional Properties and Oxidation of Proteins in Dry-Cured Pork Loins.

International Journal of Food Properties, *17*(4), 866–876. https://doi.org/10.1080/10942912.2012.685679

Stelmasiewicz, M., Świątek, Ł., & Ludwiczuk, A. (2021). Phytochemical Profile and Anticancer Potential of Endophytic Microorganisms from Liverwort Species, Marchantia polymorpha L. *Molecules*, *27*(1), 153. https://doi.org/10.3390/molecules27010153

Suwanangul, S., Jaichakan, P., Narkprasom, N., Kraithong, S., Narkprasom, K., & Sangsawad, P. (2023). Innovative Insights for Establishing a Synbiotic Relationship with Bacillus coagulans: Viability, Bioactivity, and In Vitro-Simulated Gastrointestinal Digestion. *Foods*, *12*(19), 3692. https://doi.org/10.3390/foods12193692

Swieca, M., Kordowska-Wiater, M., Pytka, M., Gawlik-Dziki, U., Seczyk, L., Złotek, U., & Kapusta, I. (2019). Nutritional and pro-health quality of lentil and adzuki bean sprouts enriched with probiotic yeast Saccharomyces cerevisiae var. boulardii. *LWT*, *100*, 220–226. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.081

Tamnak, S., Mirhosseini, H., Tan, C. P., Ghazali, H. M., & Muhammad, K. (2016). Physicochemical properties, rheological behavior and morphology of pectin-pea protein isolate mixtures and conjugates in aqueous system and oil in water emulsion. *Food Hydrocolloids*, *56*, 405–416. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.12.033

Tan, Y. X., Mok, W. K., & Chen, W. N. (2021). In Vitro Evaluation of Enriched Brewers' Spent Grains Using Bacillus subtilis WX-17 as Potential Functional Food Ingredients. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *193*(2), 349–362. https://doi.org/10.1007/s12010-020-03424-5

Tarnaud, F., Gaucher, F., do Carmo, F. L. R., Illikoud, N., Jardin, J., Briard-Bion, V., Guyomarc'h, F., Gagnaire, V., & Jan, G. (2020). Differential Adaptation of Propionibacterium freudenreichii CIRM-BIA129 to Cow's Milk Versus Soymilk Environments Modulates Its Stress Tolerance and Proteome. *Frontiers in Microbiology*, *11*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.549027

Tejero-Sariñena, S., Barlow, J., Costabile, A., Gibson, G. R., & Rowland, I. (2013). Antipathogenic activity of probiotics against Salmonella Typhimurium and Clostridium difficile in anaerobic batch culture systems: Is it due to synergies in probiotic mixtures or the specificity of single strains? *Anaerobe*, *24*, 60–65. https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2013.09.011

Tissier, H. (1900). *Recherches sur la flore intestinale normale et pathologique du nourrisson*. Université de Paris.

Tontul, İ., Ergin, F., Eroğlu, E., Küçükçetin, A., & Topuz, A. (2018a). Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying. *International Dairy Journal*, *85*, 169–176. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.06.002

Tontul, İ., Ergin, F., Eroğlu, E., Küçükçetin, A., & Topuz, A. (2018b). Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying. *International Dairy Journal*, *85*, 169–176. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.06.002

Tontul, I., Ergin, F., Eroğlu, E., Küçükçetin, A., & Topuz, A. (2021). The impact of refractance window drying conditions on the physical and microbiological properties of kefir powder. *Food Bioscience*, *43*, 101317. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101317

Tontul, I., & Topuz, A. (2017). Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). *LWT*, *80*, 294–303. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.035

Tontul, I., & Topuz, A. (2019). Storage stability of bioactive compounds of pomegranate leather (pestil) produced by refractance window drying. *Journal of Food Process Engineering*, *42*(2). https://doi.org/10.1111/jfpe.12973

Torres Rodelo, M. del R. (2018). *Evaluación tecnológica del proceso de obtención de biomasa de microorganismos probióticos en medio de cultivo formulado con suero lácteo suplementado*. 1–129.

Tribess, T. B., Hernández-Uribe, J. P., Méndez-Montealvo, M. G. C., Menezes, E. W., Bello-Perez, L. A., & Tadini, C. C. (2009). Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (Musa cavendishii) produced at different drying conditions. *LWT - Food Science and Technology*, *42*(5), 1022–1025. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.12.017

Tripathi, M. K., & Giri, S. K. (2014). Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. *Journal of Functional Foods*, *9*, 225–241. https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.04.030

Turroni, F., Milani, C., Duranti, S., Ferrario, C., Lugli, G. A., Mancabelli, L., van Sinderen, D., & Ventura, M. (2018). Bifidobacteria and the infant gut: an example of co-evolution and natural selection. *Cellular and Molecular Life Sciences*, *75*(1), 103–118. https://doi.org/10.1007/s00018-017-2672-0

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. (2023). *Resultados Evaluaciones Agropecuarias 2023*. https://upra.gov.co/es-co/Evas_Documentos/Resultados%20Evaluaciones%20Agropecuarias%202023.pdf

Urgesi, R., Casale, C., Pistelli, R., Rapaccini, G. L., & de Vitis, I. (2014). A randomized double-blind placebo-controlled clinical trial on efficacy and safety of association of simethicone and Bacillus coagulans (Colinox®) in patients with irritable bowel syndrome. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, *18*(9), 1344–1353. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24867512

Vieira, K. C. de O., Ferreira, C. D. S., Bueno, E. B. T., De Moraes, Y. A., Toledo, A. C. C. G., Nakagaki, W. R., Pereira, V. C., & Winkelstroter, L. K. (2020). Development and viability of

probiotic orange juice supplemented by Pediococcus acidilactici CE51. *LWT*, *130*, 109637. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109637

Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutrición*, *45*(3), 271–278. https://doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271

Villegas, B. M., Villa, G. C., Torres, J. M., Ospina, S., Rocha, L. A., & Laverde, J. F. (2012). BANANUT PLUS: HARINA DE BANANO VERDE ENRIQUECIDA CON MICRONUTRIENTES. *Vitae*. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169823914062

Vitaglione, P., Napolitano, A., & Fogliano, V. (2008). Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. *Trends in Food Science & Technology*, *19*(9), 451–463. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.02.005

Vrese, M. De. (2001). *Probiotics, prebiotics, and synbiotics—approaching a definition 1–3*. *73*(14).

Wang, S., Chelikani, V., & Serventi, L. (2018). Evaluation of chickpea as alternative to soy in plant-based beverages, fresh and fermented. *LWT*, *97*, 570–572. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.067

Wang, Z., Feng, Y., Yang, N., Jiang, T., Xu, H., & Lei, H. (2022). Fermentation of kiwifruit juice from two cultivars by probiotic bacteria: Bioactive phenolics, antioxidant activities and flavor volatiles. *Food Chemistry*, *373*, 131455. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131455

Wardy, W., Pujols Martínez, K. D., Xu, Z., No, H. K., & Prinyawiwatkul, W. (2014). Viscosity changes of chitosan solution affect physico-functional properties and consumer perception of coated eggs during storage. *LWT - Food Science and Technology*, *55*(1), 67–73. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.07.013

Watanabe, F. F. F., Marques, C., Farias, F. O., Ellenderser, L. N., & Masson, M. L. (2020). Yacon-based Beverage as Non-dairy Vehicle for Bifidobacterium animalis ssp. lactis: Stability and In vitro Probiotic Viability. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, *11*(4), 11458–11472. https://doi.org/10.33263/BRIAC114.1145811472

Wei, H., Loimaranta, V., Tenovuo, J., Rokka, S., Syväoja, E.-L., Korhonen, H., Joutsjoki, V., & Marnila, P. (2002). Stability and activity of specific antibodies against Streptococcus mutans and Streptococcus sobrinus in bovine milk fermented with Lactobacillus rhamnosus strain GG or treated at ultra-high temperature. *Oral Microbiology and Immunology*, *17*(1), 9–15. https://doi.org/10.1046/j.0902-0055.2001.00084.x

Wellala, C. K. D., Bi, J., Liu, X., Liu, J., Lyu, J., Zhou, M., Marszałek, K., & Trych, U. (2020). Effect of high pressure homogenization combined with juice ratio on water-soluble pectin characteristics, functional properties and bioactive compounds in mixed juices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *60*, 102279. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102279

Wollowski, I., Rechkemmer, G., & Pool-Zobel, B. L. (2001). Protective role of probiotics and prebiotics in colon cancer. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *73*(2), 451s–455s. https://doi.org/10.1093/ajcn/73.2.451s

Wongputtisin, P., Ramaraj, R., Unpaprom, Y., Kawaree, R., & Pongtrakul, N. (2015). Raffinose family oligosaccharides in seed of *Glycine max* cv. Chiang Mai60 and potential source of prebiotic substances. *International Journal of Food Science & Technology*, *50*(8), 1750–1756. https://doi.org/10.1111/ijfs.12842

Wu, G., Zhang, C., Wu, H., Wang, R., Shen, J., Wang, L., Zhao, Y., Pang, X., Zhang, X., Zhao, L., & Zhang, M. (2017). Genomic microdiversity of Bifidobacterium pseudocatenulatum underlying differential strain-level responses to dietary carbohydrate intervention. *MBio*, *8*(1). https://doi.org/10.1128/mBio.02348-16

Xiao, Y., Zhao, J., Zhang, H., Zhai, Q., & Chen, W. (2020). Mining Lactobacillus and Bifidobacterium for organisms with long-term gut colonization potential. In *Clinical Nutrition* (Vol. 39, Issue 5, pp. 1315–1323). Churchill Livingstone. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.05.014

Yan, X.-T., Zhang, Z., Wang, Y., Zhang, W., Zhang, L., Liu, Y., Chen, D., Wang, W., Ma, W., Qian, J.-Y., & Gu, R. (2023). Antioxidant capacity, flavor and physicochemical properties of FH06 functional beverage fermented by lactic acid bacteria: a promising method to improve antioxidant activity and flavor of plant functional beverage. *Applied Biological Chemistry*, *66*(1), 7. https://doi.org/10.1186/s13765-022-00762-2

Yang, B., McCullough, M. L., Gapstur, S. M., Jacobs, E. J., Bostick, R. M., Fedirko, V., Flanders, W. D., & Campbell, P. T. (2014). Calcium, Vitamin D, Dairy Products, and Mortality Among Colorectal Cancer Survivors: The Cancer Prevention Study-II Nutrition Cohort. *Journal of Clinical Oncology*, *32*(22), 2335–2343. https://doi.org/10.1200/JCO.2014.55.3024

Yang, J., Zhou, F., Xiong, L., Mao, S., Hu, Y., & Lu, B. (2015). Comparison of phenolic compounds, tocopherols, phytosterols and antioxidant potential in Zhejiang pecan [Carya cathayensis] at different stir-frying steps. *LWT - Food Science and Technology*, *62*(1), 541–548. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.049

Yao, M., Xie, J., Du, H., McClements, D. J., Xiao, H., & Li, L. (2020). Progress in microencapsulation of probiotics: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *19*(2), 857–874. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12532

Yarabbi, H., Roshanak, S., & Milani, E. (2023). Production of the probiotic dessert containing sprouted quinoa milk and evaluation of physicochemical and microbial properties during storage. *Food Science & Nutrition*, *11*(9), 5596–5608. https://doi.org/10.1002/fsn3.3517

Yoha, K. S., Anukiruthika, T., Anila, W., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2021). 3D printing of encapsulated probiotics: Effect of different post-processing methods on the stability

of Lactiplantibacillus plantarum (NCIM 2083) under static in vitro digestion conditions and during storage. *LWT*, *146*, 111461. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111461

Yoha, K. S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020a). Conductive hydro drying through refractance window drying–An alternative technique for drying of Lactobacillus plantarum (NCIM 2083). *Drying Technology*, *38*(5–6), 610–620. https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1624972

Yoha, K. S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020b). Conductive hydro drying through refractance window drying–An alternative technique for drying of Lactobacillus plantarum (NCIM 2083). *Drying Technology*, *38*(5–6), 610–620. https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1624972

Yoha, K. S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020c). Effect of encapsulation methods on the physicochemical properties and the stability of Lactobacillus plantarum (NCIM 2083) in synbiotic powders and in-vitro digestion conditions. *Journal of Food Engineering*, *283*, 110033. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110033

Yu, Z.-Y., Jiang, S.-W., Cao, X.-M., Jiang, S.-T., & Pan, L.-J. (2016). Effect of high pressure homogenization (HPH) on the physical properties of taro (Colocasia esculenta (L). Schott) pulp. *Journal of Food Engineering*, *177*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.10.042

Zarein, M., Samadi, S. H., & Ghobadian, B. (2015). Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *14*(1), 41–47. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.06.002

Zelante, T., Iannitti, R. G., Cunha, C., DeLuca, A., Giovannini, G., Pieraccini, G., Zecchi, R., D'Angelo, C., Massi-Benedetti, C., Fallarino, F., Carvalho, A., Puccetti, P., & Romani, L. (2013). Tryptophan catabolites from microbiota engage aryl hydrocarbon receptor and balance mucosal reactivity via interleukin-22. *Immunity*, *39*(2), 372–385. https://doi.org/10.1016/j.immuni.2013.08.003

Zhang, C., Quek, S. Y., Fu, N., Su, Y., Kilmartin, P. A., & Chen, X. D. (2020). Storage stability and in vitro digestion of microencapsulated powder containing fermented noni juice and probiotics. *Food Bioscience*, *37*, 100740. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100740

Zhang, P., Whistler, R. L., BeMiller, J. N., & Hamaker, B. R. (2005). Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility—a review. *Carbohydrate Polymers*, *59*(4), 443–458. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.10.014

Zhou, R., Xu, Y., Dong, D., Hu, J., Zhang, L., & Liu, H. (2023). The effects of microcapsules with different protein matrixes on the viability of probiotics during spray drying, gastrointestinal digestion, thermal treatment, and storage. *EFood*, *4*(4). https://doi.org/10.1002/efd2.98

Zhu, D., Shen, Y., Wei, L., Xu, L., Cao, X., Liu, H., & Li, J. (2020). Effect of particle size on the stability and flavor of cloudy apple juice. *Food Chemistry*, *328*, 126967. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126967

Zhu, W., Lyu, F., Naumovski, N., Ajlouni, S., & Ranadheera, C. S. (2020). Functional Efficacy of Probiotic Lactobacillus sanfranciscensis in Apple, Orange and Tomato Juices with Special Reference to Storage Stability and In Vitro Gastrointestinal Survival. *Beverages*, *6*(1), 13. https://doi.org/10.3390/beverages6010013

Zhu, Y. Y., Thakur, K., Feng, J. Y., Cai, J. S., Zhang, J. G., Hu, F., & Wei, Z. J. (2020). B-vitamin enriched fermented soymilk: A novel strategy for soy-based functional foods development. *Trends in Food Science and Technology*, *105*(June), 43–55. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.019

Zielińska, D., Rzepkowska, A., Radawska, A., & Zieliński, K. (2015). In Vitro Screening of Selected Probiotic Properties of Lactobacillus Strains Isolated from Traditional Fermented Cabbage and Cucumber. *Current Microbiology*, *70*(2), 183–194. https://doi.org/10.1007/s00284-014-0699-0

Zorzela, L., Ardestani, S. K., McFarland, L. V., & Vohra, S. (2017). Is there a role for modified probiotics as beneficial microbes: a systematic review of the literature. *Beneficial Microbes*, *8*(5), 739–754. https://doi.org/10.3920/BM2017.0032

Zotarelli, M. F., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2015). Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. *Food Research International*, *69*, 410–417. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.013

Zotarelli, M. F., da Silva, V. M., Durigon, A., Hubinger, M. D., & Laurindo, J. B. (2017). Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. *Powder Technology*, *305*, 447–454. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.10.027

Capítulo 3
Conclusiones generales

La presente investigación fue desarrollada en dos fases a escala laboratorio. En la primera fase se desarrolló una harina de plátano fortificada con prebióticos y probióticos, utilizando la tecnología de secado por ventana de refractancia (RWD). Se evaluó el proceso de RWD de una suspensión de plátano, encapsulantes (maltodextrina) (MD) (1,58 %p/p), prebiótico (inulina) (IN) (1,58 %p/p) y acidulante (ácido cítrico) (AC) (0,32 %p/p), utilizando la metodología de superficie de respuesta con un diseño experimental central compuesto cara centrada (α=1) (20 experimentos), considerando las variables independientes: fracción másica de sólidos totales aportados por el plátano (X_{TS}) (0.18 – 0.24), temperatura del agua (T) (50 – 70°C) y tiempo (t) (2 – 3 h), y las variables dependientes: humedad (X_w), actividad de agua (a_w), solubilidad (S), higroscopicidad (Hy), humectabilidad (*We*), tamaño de partícula ($D_{[3,2]}$) y ángulo de reposo (α). Posteriormente, se incorporó la biomasa probiótica (*Bacillus coagulans* ATCC 7050) (2, 4, 6 y 8%) a la condición óptima de proceso. El ANOVA demostró diferencias significativas ($p<0.05$) de la Xw, aw y Hy con respecto a X_{TS}, T y t y a sus interacciones lineales, ya que altas T favorecen la difusión del agua en el producto y, al mismo tiempo, bajos t producen una menor fuerza motriz a la transferencia de calor que deriva en la evaporación efectiva del agua, mientras la monocapa del producto queda saturada por falta de afinidad del almidón y otros carbohidratos de plátano hacia el agua, evitando beneficiar su capacidad de adsorción. Las condiciones óptimas de proceso de RWD fueron X_{TS}=0.24, T=68°C, t=2 h, obteniendo un producto con los siguientes atributos de calidad: Xw = 5,1%, a_w = 0,163, S = 17,4%, Hy = 14,5%, *We* = 38,0 s, $D_{[3,2]}$ = 79,3 µm, α = 14,9°. Posteriormente, la adición del *Bacillus coagulans* ATCC 7050 en la suspensión y la aplicación de RWD a la condición óptima, produjo una harina con una concentración celular probiótica de 10,4 ± 0,6 Log UFC/g y viabilidad celular del probiótico del 91,12% al incorporar un 8%p/p de biomasa;

En la segunda fase se evaluó el almacenamiento de HPCP, utilizando un diseño factorial completamente aleatorizado en función de las variables independientes: t (0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses) y temperatura de almacenamiento (T) (15, 25 y 35 °C), y de las variables dependientes: Xw, aw, S, Hy, *We*, α y concentración celular probiótica. Se garantizó la conservación de todos atributos de calidad evaluados durante el almacenamiento hasta el sexto mes a 15°C, obteniéndose las siguientes características: Xw = 7,2 ± 0,08%, a_w = 0,331 ± 0,002, S = 16,2 ± 0,91%, Hy = 5,91 ± 0,03, *We* = 100,35 ± 6,64 s, α = 16,02 ± 1,67°. N solo pudo ser evaluada hasta el quinto mes de almacenamiento, obteniéndose un valor de 8.02 ± 0,73 Log UFC/g a 15°C. Este estudio representa una herramienta científica para el desarrollo de una harina de plátano fortificada con prebióticos y probióticos, en el que se incursionó en una metodología no convencional de procesamiento, se describió el efecto de las interacciones de los componentes del sistema y su relación con las características del polvo y se estimó la vida útil de la harina.

Como conclusión general, la aplicación del secado por ventana de refractancia para la producción de una harina de plátano fortificada con prebióticos y probióticos generó un producto fisicoquímicamente estable en el tiempo, y logró desarrollar propiedades tecno-funcionales que le confieren versatilidad como insumo para diversos sectores de la industria agroalimentaria.

Capítulo 4 ANEXOS

Anexo 1. Prueba Tukey para la comparación múltiple en el estudio de almacenamiento

La Tabla 4.1 presenta los datos experimentales del estudio del almacenamiento de la Figura 2.7, donde se señalan los grupos homogéneos identificados mediante la prueba Tukey para la comparación múltiple de la significancia estadística ($p<0.05$).

Tabla 4.1. *Resultados de la prueba Tukey para la comparación múltiple de las diferencias significativas de los resultados del estudio de almacenamiento.*

Variable dependiente	**T (°C)**	**t (mes)**						
		0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Xw (%)	**15**	4,99^{a}	5,52^{ab}	5,51^{ac}	6,43^{bcd}	6,84^{d}	7,29^{d}	7,20^{d}
	25		5,25^{a}	5,48^{a}	5,34^{ab}	6,55^{bc}	7,27^{bc}	7,71^{c}
	35		5,33^{ab}	5,35^{ab}	6,15^{bc}	6,66^{c}	7,85^{d}	8,31^{e}
aw	**15**	0,1633^{a}	0,198^{a}	0,214^{a}	0,308^{b}	0,300^{c}	0,343^{d}	0,331^{e}
	25		0,199^{a}	0,197^{a}	0,214^{ab}	0,286^{bc}	0,320^{c}	0,350^{c}
	35		0,208^{a}	0,2110^{a}	0,227^{a}	0,369^{b}	0,379^{b}	0,441^{b}
S (%)	**15**	17,37^{a}	15,71^{a}	16,00^{a}	17,95^{ab}	15,45^{ac}	16,40^{a}	16,20^{a}
	25		16,03^{a}	16,98^{a}	16,16^{a}	17,88^{a}	17,73^{a}	17,84^{a}
	35		17,12^{a}	15,89^{a}	16,42^{a}	17,95^{a}	17,08^{a}	17,33^{a}
Hy (%)	**15**	14,51^{a}	11,62^{ab}	7,97^{c}	8,29^{bc}	7,23^{c}	5,43^{c}	5,91^{c}
	25		11,14^{ab}	7,81^{bc}	8,36^{bc}	7,70^{bc}	5,91^{c}	5,46^{c}
	35		10,73^{b}	7,56^{bc}	8,07^{bc}	6,00^{c}	6,28^{c}	5,19^{c}
We (s)	**15**	37,93^{a}	49,73^{ab}	54,73^{ab}	55,32^{ab}	83,68^{ab}	107,02^{b}	100,35^{a}
	25		41,13^{a}	43,13^{a}	85,79^{a}	153,57^{b}	180,24^{b}	176,90^{b}
	35		57,83^{ab}	64,10^{ab}	63,12^{ab}	111,49^{bc}	152,77^{c}	153,22^{c}
α (°)	**15**	14,87^{a}	15,24^{a}	14,03^{a}	15,87^{a}	13,69^{a}	15,02^{a}	16,02^{a}
	25		15,04^{a}	13,85^{a}	15,68^{a}	12,86^{ab}	14,12^{a}	14,68^{a}
	35		15,79^{a}	14,97^{a}	15,43^{a}	12,99^{ab}	16,10^{a}	15,02^{a}
Concentración celular viable (Log UFC/g)	**15**	10,36^{a}	9,46^{ab}	9,40^{ac}	8,54^{bce}	8,23^{ce}	8,02^{de}	
	25		9,25^{ab}	9,37^{ac}	8,27^{bcd}	8,01^{d}	7,19^{d}	
	35		9,25^{a}	7,21^{b}	6,91^{b}	7,23^{b}	6,33^{b}	

Los datos representan los valores medios de las muestras analizadas por triplicado. Los valores con una letra común dentro de la misma fila no difieren significativamente ($p<0,05$) acorde con la prueba Tukey.

A continuación, se presentan los resultados de la aplicación de la prueba Tukey para establecer diferencias significativas ($p<0.05$) del estudio de almacenamiento, donde se compara el efecto de la T de almacenamiento a t constante para cada variable independiente, donde * indica diferencias significativas entre las variables comparadas y ns señala que no se presentaron diferencias.

- **Humedad (Xw)**

mes 1

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
Xw15	**Xw25**	0,275	<	0,714	ns
Xw15	**Xw35**	0,194	<	0,714	ns
Xw25	**Xw35**	0,081	<	0,714	ns

mes 2

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
Xw15	**Xw25**	0,030	<	0,714	ns
Xw15	**Xw35**	0,162	<	0,714	ns
Xw25	**Xw35**	0,131	<	0,714	ns

mes 3

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
Xw15	**Xw25**	1,093	>	0,714	*
Xw15	**Xw35**	0,288	<	0,714	ns
Xw25	**Xw35**	0,805	>	0,714	*

mes 4

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
Xw15	**Xw25**	0,285	<	0,714	ns
Xw15	**Xw35**	0,176	<	0,714	ns
Xw25	**Xw35**	0,109	<	0,714	ns

mes 5

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
Xw15	**Xw25**	0,024	<	0,714	ns
Xw15	**Xw35**	0,555	<	0,714	ns
Xw25	**Xw35**	0,579	<	0,714	ns

mes 6

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
Xw15	**Xw25**	0,505	<	0,714	ns
Xw15	**Xw35**	1,109	>	0,714	*
Xw25	**Xw35**	0,604	<	0,714	ns

- **Actividad de agua (a_w)**

mes 1

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	0,002	<	0,065	ns
15	**35**	0,010	<	0,065	ns
25	**35**	0,009	<	0,065	ns

mes 2

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	0,017	<	0,065	ns
15	**35**	0,004	<	0,065	ns
25	**35**	0,013	<	0,065	ns

mes 3

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	0,095	>	0,065	*
15	**35**	0,081	>	0,065	*
25	**35**	0,014	<	0,065	ns

mes 4

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	0,014	<	0,065	ns
15	**35**	0,069	>	0,065	*
25	**35**	0,083	>	0,065	*

mes 5

Comparación múltiple	DSH	Diferencia significativa

15	**25**	0,022	<	0,065	ns
15	**35**	0,036	<	0,065	ns
25	**35**	0,058	<	0,065	ns

mes 6

Comparación múltiple				**DSH**	**Diferencia significativa**
15	**25**	0,019	<	0,065	ns
15	**35**	0,110	>	0,065	*
25	**35**	0,091	>	0,065	*

- **Solubilidad (S)**

mes 1

Comparación múltiple				**DSH**	**Diferencia significativa**
15	**25**	0,311	<	1,718	ns
15	**35**	1,406	<	1,718	ns
25	**35**	1,095	<	1,718	ns

mes 2

Comparación múltiple				**DSH**	**Diferencia significativa**
15	**25**	0,979	<	1,718	ns
15	**35**	0,109	<	1,718	ns
25	**35**	1,088	<	1,718	ns

mes 3

Comparación múltiple				**DSH**	**Diferencia significativa**
15	**25**	1,792	>	1,718	*
15	**35**	1,536	<	1,718	ns
25	**35**	0,255	<	1,718	ns

mes 4

Comparación múltiple				**DSH**	**Diferencia significativa**
15	**25**	2,428	>	1,718	*
15	**35**	2,505	>	1,718	*
25	**35**	0,077	<	1,718	ns

mes 5

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	1,332	<	1,718	ns
15	**35**	0,684	<	1,718	ns
25	**35**	0,648	<	1,718	ns

mes 6

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	1,645	<	1,718	ns
15	**35**	1,134	<	1,718	ns
25	**35**	0,511	<	1,718	ns

- **Higroscopicidad (Hy)**

mes 1

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	0,484	<	2,790	ns
15	**35**	0,893	<	2,790	ns
25	**35**	0,409	<	2,790	ns

mes 2

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	0,162	<	2,790	ns
15	**35**	0,402	<	2,790	ns
25	**35**	0,241	<	2,790	ns

mes 3

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	0,078	<	2,790	ns
15	**35**	0,217	<	2,790	ns
25	**35**	0,296	<	2,790	ns

mes 4

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	0,471	<	2,790	ns

15	**35**	1,223	<	2,790	ns
25	**35**	1,694	<	2,790	ns

mes 5

Comparación múltiple				**DSH**	**Diferencia significativa**
15	**25**	0,475	<	2,790	ns
15	**35**	0,844	<	2,790	ns
25	**35**	0,369	<	2,790	ns

mes 6

Comparación múltiple				**DSH**	**Diferencia significativa**
15	**25**	0,454	<	2,790	ns
15	**35**	0,724	<	2,790	ns
25	**35**	0,270	<	2,790	ns

- **Humectabilidad (*We*)**

mes 1

Comparación múltiple				**DSH**	**Diferencia significativa**
15	**25**	8,597	<	50,139	ns
15	**35**	8,107	<	50,139	ns
25	**35**	16,703	<	50,139	ns

mes 2

Comparación múltiple				**DSH**	**Diferencia significativa**
15	**25**	11,597	<	50,139	ns
15	**35**	9,373	<	50,139	ns
25	**35**	20,970	<	50,139	ns

mes 3

Comparación múltiple				**DSH**	**Diferencia significativa**
15	**25**	30,467	<	50,139	ns
15	**35**	7,803	<	50,139	ns
25	**35**	22,663	<	50,139	ns

mes 4

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	69,887	>	50,139	*
15	**35**	27,807	<	50,139	ns
25	**35**	42,080	<	50,139	ns

mes 5

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	73,220	>	50,139	*
15	**35**	45,753	<	50,139	ns
25	**35**	27,467	<	50,139	ns

mes 6

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	76,553	>	50,139	*
15	**35**	52,867	>	50,139	*
25	**35**	23,687	<	50,139	ns

- **Ángulo de reposo (α)**

mes 1

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	0,203	<	2,084	ns
15	**35**	0,546	<	2,084	ns
25	**35**	0,749	<	2,084	ns

mes 2

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	0,188	<	2,084	ns
15	**35**	0,930	<	2,084	ns
25	**35**	1,119	<	2,084	ns

mes 3

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	0,182	<	2,084	ns

15	**35**	0,438	<	2,084	ns
25	**35**	0,438	<	2,084	ns

mes 4

Comparación múltiple				**DSH**	**Diferencia significativa**
15	**25**	0,831	<	2,084	ns
15	**35**	0,699	<	2,084	ns
25	**35**	0,133	<	2,084	ns

mes 5

Comparación múltiple				**DSH**	**Diferencia significativa**
15	**25**	0,892	<	2,084	ns
15	**35**	1,087	<	2,084	ns
25	**35**	1,980	<	2,084	ns

mes 6

Comparación múltiple				**DSH**	**Diferencia significativa**
15	**25**	1,348	<	2,084	ns
15	**35**	1,007	<	2,084	ns
25	**35**	0,340	<	2,084	ns

- **Concentración celular viable (N)**

mes 1

Comparación múltiple				**DSH**	**Diferencia significativa**
15	**25**	0,215	<	0,988	ns
15	**35**	0,212	<	0,988	ns
25	**35**	0,003	<	0,988	ns

mes 2

Comparación múltiple				**DSH**	**Diferencia significativa**
15	**25**	0,029	<	0,988	ns
15	**35**	2,187	>	0,988	*
25	**35**	2,157	>	0,988	*

mes 3

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	0,267	<	0,988	ns
15	**35**	1,629	>	0,988	*
25	**35**	1,362	>	0,988	*

mes 4

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	0,223	<	0,988	ns
15	**35**	1,002	>	0,988	*
25	**35**	0,779	<	0,988	ns

mes 5

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	0,831	<	0,988	ns
15	**35**	1,694	>	0,988	*
25	**35**	0,863	<	0,988	ns

mes 6

Comparación múltiple				DSH	Diferencia significativa
15	**25**	-	>	0,988	*
15	**35**	-	>	0,988	*
25	**35**	-	>	0,988	*