



**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**

**Facultad de Ingeniería Química y Ciencias Químicas**

**Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos**

Tesis

**“EFECTO DE LA IMPREGNACIÓN DE COMPUESTOS  
PROMOTORES DE LA SALUD SOBRE LAS  
CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE RODAJAS DE  
PLÁTANO (*Musa x paradisiaca*) DURANTE EL  
ALMACENAMIENTO.”**

**Tesis Presentada Para Obtener el Grado de Maestría en Ciencia y  
Tecnología de Alimentos**

**Presenta**

Q.F.B. Alicia Martínez Niño

**Director de Tesis**

D.C. Carlos Enrique Ochoa Velasco

**Co-director de tesis**

D.C. Irving Israel Ruiz López

**Noviembre 2025**



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA  
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



ACTA DE REVISIÓN, LIBERACIÓN E IMPRESIÓN DE TESIS

Nombre de la estudiante: MARTÍNEZ NIÑO ALICIA

Matrícula: 223470616

Nombre del director: Dr. Carlos Enrique Ochoa Velasco

Nombre del codirector: Dr. Irving Israel Ruiz López

Título de la Tesis:

"Efecto de la impregnación de compuestos promotores de la salud sobre las características de calidad de rodajas de plátano (*Musa x paradisiaca*) durante el almacenamiento"

Comisión Revisora:

Presidente: Dr. Héctor Ruíz Espinosa

Firma:

Secretario(a): Dra. Paola Hernández Carranza

Firma:

Vocal (1): Dra. Xochitl Aparicio Fernández

Firma:

Vocal (2): Dr. Irving Israel Ruiz López

Firma:

Los integrantes de la Comisión Revisora expresamos que hemos leído y revisado el manuscrito de la tesis de maestría que presenta la estudiante arriba indicado, por lo que estamos de acuerdo en que se proceda con la impresión definitiva de la tesis y que el (la) estudiante presente su defensa y examen de grado en la fecha, horario y lugar que se indican a continuación.

Fecha de examen: 14 de noviembre de 2025

Hora: 12:00 h

Día de la semana: Viernes

Lugar: FIQ8



Revisa y Autoriza: Sello de la Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado.- FIQ.- BUAP



**BUAP**

Oficio: FIQ/SIEP/043/2025

**Mtro. Juan Manuel Rosas Tapia**  
**Director de la Dirección de Administración Escolar**  
**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
**PRESENTE**

Reciba un afectuoso saludo y al mismo tiempo me permito presentar a usted a los integrantes del jurado de examen que para obtener el grado de Maestra en Ciencia y Tecnología de Alimentos sustentará:

**Alicia Martínez Niño**

pertenciente a la generación 2023 con número de matrícula 223470616 y cuyo tema de tesis es: "EFECTO DE LA IMPREGNACIÓN DE COMPUESTOS PROMOTORES DE LA SALUD SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE RODAJAS DE PLÁTANO (*Musa x paradisiaca*) DURANTE EL ALMACENAMIENTO".

Dicho jurado está integrado por:

**JURADO**

Presidente  
Secretario  
Vocal  
Vocal

Dr. Héctor Ruíz Espinoza  
Dra. Paola Hernández Carranza  
Dra. Xochitl Aparicio Fernández  
Dr. Irving Israel Ruíz López

Asimismo, comunico a usted que el alumno cumple con todos los requisitos para poder llevar a cabo su examen de grado, y que los integrantes de este jurado están citados con anticipación para la fecha y lugar indicados a continuación.

FECHA DE EXAMEN: 14 de noviembre de 2025  
HORA: 12:00 horas  
LUGAR: Edificio FIQ8/201  
DÍA: viernes

Sin otro particular, me es grato quedar de usted.

Atentamente,  
"Pensar bien, para vivir mejor"  
H. Puebla de Z. a 16 de octubre de 2025

**Dra. Esmeralda Vidal Robles**  
Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado



C.c.p. Archivo  
E-mail: [esmeralda.vidal@correo.buap.mx](mailto:esmeralda.vidal@correo.buap.mx)

Facultad  
de Ingeniería  
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San  
Manuel, Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C. P. 72590  
(222) 229 55 00  
Exts. 7250 y 7251

## **DEDICATORIA**

Emiliano: gracias por enseñarme a descubrir nuevamente el mundo a través de tus ojos. Te amo con todo con todo lo que soy.

Papás: sin ustedes no lo hubiera logrado, gracias por no soltar mi mano.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a SECIHTI por darme el apoyo y la oportunidad de poder realizar la maestría.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por nuevamente abrirme las puertas de la institución y seguir siendo parte de mi formación académica.

Emiliano: llegaste a mi vida en el momento indicado, gracias por elegirme como tu mamá, prometo siempre estar a tu lado y nunca soltar tu mano.

Mamá: sin tu apoyo esta etapa no hubiera culminado. Siempre me alentaste a no rendirme, a seguir luchando. Gracias por demostrarme que todo en esta vida es posible y sobre todo gracias por enseñarme a luchar por mis sueños.

Papá: gracias por estar en los momentos más difíciles de mi vida, que sin importar las circunstancias estuviste apoyándome. Finalmente lo logré.

Dani: aunque ahora estamos lejos siempre has estado para mí. Dios no pudo darme un hermano más increíble que tú.

Doctor Carlos: nuevamente aquí estamos, dándole molestias y siendo un dolor de cabeza. Gracias por la paciencia que me tuvo, gracias por las risas, las anécdotas, gracias por enseñarme y aunque yo sé que se desesperaba, gracias por no enojarse cuando no entendía lo que me explicaba. Sin duda ha sido una pieza fundamental en mi vida académica. Ya aprendí a no decirle adiós, sino hasta la próxima.

Doctora Paola: recuerdo cuando le conté que quería hacer la maestría y me dio un abrazo tan fuerte que, dentro de todo el caos de mi vida, sentí un apapacho a mi corazón. Gracias por siempre escucharme, por enseñarme desde cero y no juzgarme si no sabía algo. Compartí con usted desde risas hasta lágrimas. Dicen que por algo pasan las cosas, pero yo no creo que haya sido una casualidad que Dios la pusiera en mi camino.

A mis amigos: sin duda ustedes han sido parte importante en mi vida, me han apoyado, aconsejado y me han estado para mí en los momentos más difíciles.

A mis profesores: gracias por ser parte de mi formación, por las enseñanzas y los nuevos conocimientos adquiridos en este tiempo.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	12
1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. JUSTIFICACIÓN.....	15
3. MARCO TEÓRICO .....	16
3.1 Plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> var. AAB).....	16
3.2 Probióticos.....	18
3.3 Prebiótico y fibra dietética.....	21
3.4 Antioxidantes.....	22
3.4.1 Granada ( <i>Punica granatum</i> L.).....	24
3.5 Linaza ( <i>Linum usitatissimum</i> L.).....	25
3.6 Impregnación.....	28
4. HIPÓTESIS .....	33
5. OBJETIVOS.....	34
5.1 Objetivo general .....	34
5.2 Objetivos específicos .....	34
6. DIAGRAMA DE TRABAJO.....	35
7. METODOLOGÍA.....	41

8. EQUIPOS Y MÉTODOS .....	47
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	49
10. CONCLUSIONES.....	71
11. RECOMENDACIONES .....	72
12. REFERENCIAS .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formulación de sistemas utilizados para la impregnación de rodajas de plátano. .	44
Tabla 2. Métodos y referencias utilizados en la investigación. ....	47
Tabla 3. Equipos utilizados en la investigación .....	48
Tabla 4. Caracterización fisicoquímica de la granada, plátano deshidratado, plátano fresco y granada con mucílago. ....	50
Tabla 5. Determinación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de extracto de granada, granada con mucílago, plátano fresco y deshidratado. ....	52
Tabla 6. Caracterización fisicoquímica de rodajas de plátanos impregnadas y deshidratadas días 0 y 60. ....	58
Tabla 7. Evaluación sensorial 0 y 60 días. ....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Caracterización fisicoquímica y antioxidante de extracto de granada y granada con mucílago.....	35
Figura 2. Caracterización fisicoquímica y antioxidante de plátano fresco y deshidratado. .	36
Figura 3. Obtención de cepas y conservación de lactobacilos <i>Lacticaseibacillus rhamnosus</i> , <i>Lacticaseibacillus casei</i> , <i>Limosilactobacillus reuteri</i> y <i>Lacticaseibacillus acidophilus</i> .....	37
Figura 4. Formulación de sistemas fermentativos con mezcla de lactobacilos .....	38
Figura 5. Obtención de muestras para la detección de mucílago por espectroscopia FT-IR (micro-FTIR). .....	39
Figura 6. Tiempos de secado e impregnación, caracterización fisicoquímica, antioxidante, supervivencia de probióticos y evaluación sensorial de rodajas de plátano. ....	40
Figura 7. Detección de mucílago de linaza en rodajas de plátano impregnadas y en sistemas fermentativos. ....	53
Figura 8. Evaluación tiempo de secado de rodajas de plátano. ....	54
Figura 9. Recuento de la población microbiana de la mezcla de lactobacilos durante el proceso de fermentación después de 24 h .....	55
Figura 10. Evaluación de tiempo de impregnación y secado de rodajas de plátano. ....	56
Figura 11. Recuento de probióticos después de impregnar a diferentes tiempos y deshidratar en rodajas de plátano. ....	57
Figura 12. Estabilidad de probióticos durante el almacenamiento a temperatura ambiente.	61

Figura 13. Microscopias confocales de barrido de rodajas de plátano impregnadas con *L. acidophilus*, *L. rhamnosus*, *L. casei* y *L. reuteri* después de 60 días de almacenamiento. ... 62

Figura 14. Efecto de las condiciones de almacenamiento durante 60 días a temperatura ambiente sobre la capacidad antioxidante (a), compuestos fenólicos (b), flavonoides totales (c) y antocianinas totales (d) en rodajas de plátano impregnadas con mezclas de sistemas fermentativos y deshidratadas ..... 67

## RESUMEN

Hoy en día existe un interés por mantener una alimentación que mejore la calidad de vida y reduzca riesgos a la salud, lo que ha impulsado el desarrollo y consumo de alimentos funcionales. Estos productos incorporan compuestos que promueven la salud, además de ofrecer buena estabilidad, propiedades sensoriales y valor económico. Entre ellos destacan los probióticos y prebióticos.

El plátano es una excelente matriz alimentaria debido a la disponibilidad de comercialización y por su valor nutricional, así como la granada por su alto contenido de compuestos bioactivos. El objetivo de este proyecto fue desarrollar un alimento funcional a partir de rodajas de plátano impregnadas con soluciones fermentadas con bacterias ácido-lácticas, enriquecidas con aislado de soya, prebióticos y compuestos antioxidantes.

Se hizo una caracterización fisicoquímica evaluando los parámetros de humedad, pH, acidez, sólidos solubles totales (SST) y color, además de compuestos bioactivos como capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas, de las materias primas utilizadas (plátano fresco, plátano deshidratado, extracto de granada y extracto de granada con mucílago). Para la humedad fue posible observar que el plátano fresco fue el que presentó mayor porcentaje y el polvo de granada el menor (74.08 y 8.76 respectivamente). El extracto con granada presentó mayor pH (5.31). Los extractos de granada y de granada con mucílago presentaron el mayor porcentaje de acidez (0.64), mientras que el plátano fresco presentó el valor más alto de SST (75).

Para la capacidad antioxidante y antocianinas, el extracto de granada fue el que presentó mayores resultados (33.55 mg Trolox/100 mL y 44.68 mg cianidina/100 g respectivamente). El plátano fresco presentó mayor valor de compuestos fenólicos (6.20 mg EAG/100 mL) y el extracto de granada con mucílago obtuvo los valores más altos de flavonoides (3.14 mg catequina/100 mL).

Posteriormente se desarrollaron diferentes formulaciones de soluciones fermentadas, las cuales se realizaron a base de aislado de soya, extracto de granada, mucílago de linaza y/o inulina, fermentadas con *Lacticaseibacillus acidophilus*, *Lacticaseibacillus rhamnosus*, *Lacticaseibacillus casei* y *Limosilactobacillus reuteri*.

Se utilizaron rodajas de plátano, las cuales se deshidrataron a 70°C por 3.5 h, se impregnaron en las diferentes soluciones fermentativas (1 min) para ser nuevamente deshidratadas a 40°C por 5-6 h. Posteriormente se evaluaron características fisicoquímicas, antioxidantes, supervivencia de lactobacilos y aceptación sensorial a los 0 y 60 días de almacenamiento. Los resultados obtenidos en las características fisicoquímicas mostraron que, durante el almacenamiento, los valores de humedad aumentaron (5-12%), el pH se mantuvo en valores de entre 5.05 y 5.15. En la acidez se pudo observar un ligero aumento (0.01-0.08%). Los SST se mantuvieron entre 57.50 y 61.25. Para la actividad de agua ( $a_w$ ) se pudo observar una disminución en los resultados (0.02-0.05). Finalmente, para los parámetros de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de las rodajas de plátano se pudo observar que el almacenamiento afectó el color, pasando de un color marrón claro ( $L^*=34.99$ ,  $a^*=12.12$  y  $b^*=28.03$ ) a un color marrón grisáceo ( $L^*=42.62$ ,  $a^*=11.60$  y  $b^*=9.34$ ).

Para los compuestos fenólicos totales, flavonoides y antocianinas se mantuvieron sin cambios, no habiendo diferencias significativas ( $p<0.05$ ); en cambio, en la capacidad antioxidante se observó una disminución durante el almacenamiento, habiendo diferencia significativa ( $p<0.005$ ). Así mismo, los recuentos microbianos en las rodajas de plátano impregnadas alcanzaron un rango de 7-8 ciclos logarítmicos (6.8-8 millones UFC/g) al inicio del almacenamiento. A los 60 días de almacenamiento, las rodajas que fueron impregnadas con el sistema que fue realizado con la mezcla de aislado de soya, extracto de granada, mucílago de linaza e inulina alcanzaron un recuento probiótico de 7 ciclos logarítmicos (7 millones UFC/g), siendo que también mostraron la mayor capacidad antioxidante al inicio y al final del almacenamiento (1600-800 mg Trolox/g respectivamente), sin afectar la aceptación sensorial ( $p<0.05$ ). Por lo tanto, fue posible desarrollar un alimento funcional a partir de plátano deshidratado impregnado con probióticos, prebióticos y antioxidantes siendo estable hasta 60 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

# 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se busca una alimentación adecuada que permita disminuir factores de riesgo y adquirir una mejor calidad de vida. Es en este sentido que los alimentos funcionales (AF) ganan cada vez más aceptación en el mercado, debido a los múltiples beneficios que ofrecen a la salud. La industria alimentaria considera diversas variables en el desarrollo de productos funcionales, siendo prioritario el diseño de nuevos agentes promotores de la salud que presenten adecuada aceptación sensorial, estabilidad fisicoquímica y facilidad económica.

Los probióticos y prebióticos desempeñan roles esenciales en la salud humana, especialmente en el equilibrio de la microbiota intestinal y el sistema digestivo. Los prebióticos actúan como fuente de alimento para los probióticos, lo que mejora su supervivencia y actividad en el sistema gastrointestinal. Esta interacción sinérgica contribuye a mantener una microbiota saludable, generando beneficios para la salud del organismo.

Las frutas y verduras son componentes importantes de una dieta saludable. Algunas frutas como el plátano son fáciles de encontrar todo el año y de precio económico. El plátano ofrece grandes beneficios a la salud. Asimismo, es una excelente fuente de potasio, vitaminas y fibra, siendo uno de los cultivos más comunes en todos los países con clima tropical. La granada es una fruta ampliamente consumida en zonas con clima mediterráneo y subtropical debido a sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias. Estos beneficios se deben a sus compuestos fenólicos, incluyendo taninos, flavonoides y antocianinas.

La linaza es un componente funcional que ha sido utilizada para varios propósitos debido a su mucílago, siendo uno de los principales beneficios actuar como prebiótico, el cual ayuda a proteger a los probióticos en el sistema gastrointestinal y en el almacenamiento.

El poder añadirle algún compuesto antioxidante, así como agentes promotores de la salud a una matriz alimentaria puede ser una alternativa para generar un AF altamente demandado y consumido por la población actual. Por tanto, el objetivo de esta tesis fue evaluar el efecto de la impregnación de compuestos promotores de la salud sobre las características de calidad de plátano y valorar el efecto del almacenamiento a temperatura ambiente sobre estos.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El incremento en las enfermedades crónico-degenerativas no transmisibles ha hecho que cada día se busquen alimentos con características especiales, que satisfagan las necesidades de los consumidores. En este sentido, no solo basta con que los alimentos sean nutritivos, sino que además cumplan con alguna función benéfica para la salud.

El plátano es una fuente rápida de energía, rico en vitaminas, potasio y fibra, que ayuda a regular la presión arterial y mejorar la salud cardiovascular. Los probióticos, prebióticos y antioxidantes son compuestos altamente demandados por los consumidores dada sus características funcionales que poseen. La granada es una fruta que ha ganado popularidad debido a sus beneficios para la salud principalmente por sus propiedades antioxidantes. Finalmente, la linaza es una semilla que ha sido utilizada por su mucílago que sirve como gel, estabilizador, para la formación de películas y como prebiótico. Sin embargo, hasta el momento no se han logrado impregnar de manera conjunta en un alimento, por lo cual, en este estudio se incorporó, mediante impregnación, estos compuestos bioactivos a un matriz alimentaria (plátano) y se evaluó su estabilidad durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Plátano (*Musa paradisiaca* var. AAB).

Si bien las hierbas, raíces, tallos, rizomas y cortezas son populares en la medicina tradicional, las frutas y plantas también tienen una larga historia de aplicación. Las frutas medicinales, también conocidas como alimentos funcionales o nutraceuticos debido a sus beneficios observados para la salud, cumplen una doble función: dietética/nutricional y curativa. Una de estas frutas es el plátano (Nirumand *et al.*, 2018).

*Musa paradisiaca* es una planta herbácea que pertenece al género *Musa* de la familia Musaceae. Estos dos son híbridos de *M. acuminata* y *M. balbisiana*, lo que les da una naturaleza poliploide con plátanos que contienen principalmente los genomas AAB, ABB y BBB (Singh *et al.*, 2016).

El plátano es una fruta tropical climatérica que se cultiva a nivel mundial en zonas tropicales y subtropicales, incluyendo Nigeria que ocupa el primer lugar en producción en África occidental y el sexto a nivel mundial con 2.4 toneladas (Vu *et al.*, 2018). Además, es la segunda fruta más producida después de los cítricos. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la producción del plátano a nivel mundial se ha expandido en una tasa anual del 3.2%, con un aumento de 67 a 114 millones de toneladas métricas en dieciocho años (2000 a 2017), (Acevedo *et al.*, 2023). Esta enorme producción es un testimonio de la importancia del plátano como un cultivo alimentario importante (Shamla y Nisha, 2017).

El plátano es cultivado en más de 122 países alrededor del mundo debido a sus propiedades sensoriales. Sin embargo, los plátanos también aportan calorías, una pequeña cantidad de grasa, así como también contienen fibra dietética, vitamina C, vitamina B6 y fitoquímicos bioactivos (Chala y Yetenayet, 2018). Contiene una cantidad abundante de nutrientes como azúcares libres, almidón, fibra dietética y algunos minerales esenciales como el fósforo, sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc y manganeso (Diawara *et al.*, 2023). La fruta del plátano se divide en dos partes principales: pulpa y cáscara. La pulpa es la porción

consumible de la fruta y se ha utilizado en varias producciones alimentarias, debido a su alto aporte de nutrientes y beneficios a la salud (Yusof *et al.*, 2023).

Desde que los investigadores comenzaron a enfocarse en estudiar la composición del plátano han surgido varias aplicaciones posibles, desde su uso como ingrediente para la fortificación de alimentos en la industria alimentaria hasta la extracción y aislamiento de componentes funcionales, éstos incluyen compuestos bioactivos y metabolitos secundarios (Khoozani *et al.*, 2019). Además de los efectos antioxidantes conocidos, gracias a la estructura de los metabolitos secundarios y sus mecanismos de acción, ejerce efectos positivos a la salud, como la prevención de algunos cánceres, enfermedades neurodegenerativas, enfermedades cardiovasculares, obesidad e inflamación (Cory *et al.*, 2018).

El plátano es una de las frutas que pacientes con úlceras pueden consumir de manera segura, ya que neutraliza al ácido de los jugos gástricos. También ha sido utilizado para el tratamiento de quemaduras y heridas, así como para el tratamiento de diarreas, tratamiento de artritis y anemia (Kanniappan *et al.*, 2018). Dado que los plátanos son una excelente fuente de potasio, éste ayuda a mantener el funcionamiento adecuado de los músculos, evitando la formación de espasmos musculares y mantiene la presión arterial de las personas, reduciendo el riesgo de sufrir un derrame cerebral (Shruthi, 2018).

Existen varios informes sobre la actividad antimicrobiana del plátano, y se han utilizado como organismos de prueba varios microorganismos, incluyendo hongos y bacterias, con parásitos y virus menos estudiados. Asoso et al. (2016) informaron sobre la actividad antimicrobiana de los extractos de cáscara y fruto de plátano contra *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, *Shigella dysenteriae*, *Klebsiella pneumonia* y *Bacillus subtilis*.

Otras propiedades medicinales, más allá de la aplicación antimicrobiana del plátano, que también se ha utilizado para otros fines, es, por ejemplo, la cicatrización de heridas. Tradicionalmente, el plátano se utiliza en la medicina indígena, que la OMS estima que es utilizada por el 80% de la población del mundo para la cicatrización de heridas (Asuquo y Udobi, 2016). En consecuencia, se puede asumir que los componentes fitoquímicos del plátano pueden estimular y mediar este proceso.

También se ha demostrado la actividad anticancerígena del plátano. Vijayakumar et al. (2017) informaron que las nanopartículas de oro sintetizadas con extracto acuoso de cáscara de plátano inhibieron in vitro las células de cáncer de pulmón. Este estudio proporciona una justificación científica para el uso de *M. paradisiaca* en el tratamiento tradicional del cáncer y enfermedades inflamatorias afines (Correa *et al.*, 2016).

Una actividad relacionada con esto es el efecto antioxidante del plátano. Abdel-Ghany et al. (2019) informaron que, mediante un ensayo de DPPH, el exudado del pseudotallo de plátano generó actividad protectora contra radicales libres. Este resultado sugiere que el pseudotallo puede servir como prooxidante y antioxidante debido a los taninos y polifenoles presentes. Además de su capacidad para mitigar las afecciones causadas por las especies reactivas de oxígeno, se sabe que sus efectos antioxidantes reducen el riesgo de enfermedades cardiovasculares, degenerativas y cáncer (Saravanan y Aradhya, 2011).

### 3.2 Probióticos.

El tracto gastrointestinal es un complejo y dinámico ecosistema microbiano, el cual se estima que alberga más de 400 especies de diferentes bacterias, además de ser responsable de funciones como actividades metabólicas, efectos tróficos sobre el epitelio intestinal e interacciones con el sistema inmune del huésped (Sebastian, 2017).

El *microbioma* (antes conocida como “flora intestinal”) se refiere a los microorganismos totales (bacterias, hongos y virus), sus elementos genéticos y las interacciones medioambientales de un entorno definido (Girardin y Seidman, 2011). La microbiota es un nicho ecológico determinado que habita en el intestino humano (colon), que actúan como barrera previniendo la colonización de microorganismos oportunistas y patógenos (Sullivan y Seidman, 2005).

Probiótico es una palabra griega que significa “para la vida”, definida por Lilley y Stillwell en 1965. Estos se han utilizado desde hace tiempo. Los romanos y griegos en las civilizaciones antiguas desarrollaron leche fermentada que utilizaron como probiótico (Soccol *et al.*, 2014).

Los probióticos han ganado interés en las últimas décadas debido a su potencial para mejorar la salud e incluso tratar ciertas enfermedades cuando se utilizan en conjunto con otras terapias (Ma *et al.*, 2023). Afectan beneficiosamente al huésped a través de sus efectos en el tracto gastrointestinal. Sin embargo, esta definición fue usada inicialmente para productos alimentarios de animales. Para la nutrición humana se ha propuesto la siguiente definición: “microorganismos vivos, que cuando se administran en cantidades adecuadas confieren un beneficio a la salud del huésped” (Zendeboodi *et al.*, 2020).

De las Cagigas y Blanco (2012) indicaron que los probióticos pueden estimular las funciones defensoras del sistema digestivo. Además, son conocidos como bioterapéuticos, bioprotectores o bioprolifáticos y se han utilizado para la prevención de infecciones entéricas y gastrointestinales. Cabe destacar que es importante que estos microorganismos puedan ser capaces de atravesar la barrera gástrica, pues necesitan multiplicarse para colonizar el intestino. El efecto protector de estos microorganismos se lleva a cabo mediante 2 mecanismos, el antagonismo que impide la multiplicación de los patógenos y la producción de toxinas que imposibilitan su acción patogénica.

Cada cepa probiótica tiene cualidades únicas, algunas pueden ayudar en la prevención de la Diabetes mellitus (DM), otros para controlar la obesidad y algunos sirven para el tratamiento de la osteoporosis (Feng *et al.*, 2023). Otra función de los probióticos es la de disminuir la producción de enzimas como la  $\beta$ -glucuronidasa, la  $\beta$ -glucosidasa, la nitroreductasa y la ureasa. Estas enzimas participan en la activación metabólica de los mutágenos y carcinógenos (De la Cagigas y Blanco, 2012).

Los probióticos pueden ser utilizados como tratamiento de algunas enfermedades, esto dependiendo de su composición. Los dos géneros más populares que han sido utilizados como probióticos son los *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*. Algunos de los probióticos que han sido utilizados para obtener beneficios a la salud son *Lacticaseibacillus acidophilus*, *Lactiplantibacillus*, *Lacticaseibacillus casei*, *Limosilactobacillus reuteri*, *Lacticaseibacillus rhamnosus*, etc. (Fijan, 2014). Para que un probiótico sea efectivo debe sobrevivir al ambiente ácido del estómago y viajar a través del intestino, es por esto por lo que se requiere ingerirlos en altas concentraciones. La supervivencia de ellos varía ampliamente durante el

tránsito gastrointestinal, pues depende del género, especie, cepa, dosis que fue ingerida, factores como secreciones ácidas, biliares y pancreáticas, así como de los alimentos y la microencapsulación (Islam, 2016).

La supervivencia de los probióticos en el tracto gastrointestinal suele ser difícil, es por esto por lo que se crearon simbióticos para vencer estas dificultades. La viabilidad y eficacia de los probióticos dependen de factores como el oxígeno, la humedad, el estrés y el pH. Los simbióticos son una combinación de prebióticos y probióticos, formulados de forma de que no solo mejoren las posibilidades de supervivencia de los microorganismos beneficiosos, sino que además estimulen el crecimiento y la proliferación de la población nativa del tracto gastrointestinal (Mazziotta *et al.*, 2023).

Para que un alimento sea considerado probiótico debe contener  $10^8$  UFC/g. El ser humano debe consumir diariamente entre  $10^7 - 10^9$  UFC (Byakika *et al.*, 2019). Ciertas bacterias, incluidos los probióticos, producen péptidos antimicrobianos o proteínas conocidas como bacteriocinas, que inhiben el crecimiento de agentes rivales o especies estrechamente relacionados. Algunos de los probióticos que poseen esta característica se mencionan a continuación:

- *Lacticaseibacillus acidophilus*: la bacteriocina Lactain F es producida por algunas cepas de *L. acidophilus* y muestra actividad antimicrobiana contra varios patógenos, incluidas otras especies de *Lactobacillus* y ciertas especies de bacterias Gram positivas (Darbandi *et al.*, 2021).
- *Lacticaseibacillus casei*: algunas cepas de *L. casei* producen caseicinas, que son bacteriocinas eficaces contra algunas bacterias patógenas como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Bacillus cereus* y *Clostridium* spp. (Darbandi *et al.*, 2021).
- *Limosilactobacillus reuteri*: aunque no es una bacteriocina tradicional, reuterin es un potente compuesto antimicrobiano de alto espectro producido por *L. reuteri*, con actividad contra una amplia gama de bacterias, hongos y protozoos (Negash y Tsehai, 2020).

### 3.3 Prebiótico y fibra dietética.

De acuerdo con Yadav et al. (2022) los prebióticos son ingredientes alimentarios no digeribles que beneficiosamente afectan al huésped estimulando selectivamente el crecimiento o la actividad de una o un número limitado de bacterias en el organismo. El sustrato no debe hidrolizarse o absorberse en el estómago o el intestino delgado, debe ser selectivo para las bacterias beneficiosas en el intestino grueso, como lo son las bifidobacterias (Gibson *et al.*, 2017). La fermentación del sustrato debería inducir beneficios luminal/sistémicos en el huésped. La razón del uso de prebióticos es elevar el nivel endógeno de número de cepas bacterianas beneficiosas, incluidas *Lactobacillus* y *Bifidobacteria*. Este aumento impartirá efectos beneficiosos que han sido observados como resultado de la administración de probióticos, incluido un aumento de SCFA, que puede proporcionar combustible para los enterocitos, previniéndola adherencia de bacterias patógenas, produciendo sustancias antibacterianas, disminuyendo el pH luminal (Yen *et al.*, 2011). Algunos ejemplos de prebióticos son la inulina, almidones resistentes (legumbres, hortalizas y cereales), lactulosa (lactosa sintética), alimentos de cebada germinada, glicooligosacáridos, estaquiosa y gentio-oligosacáridos (Davani-Davari *et al.*, 2019).

Louis et al. (2016) mencionan que existen ciertos probióticos, los cuales presentan beneficios a la salud, además de que modulan el crecimiento de microorganismos beneficiosos actuando como antiinflamatorios, antidiarreicos y pueden llegar a reducir el riesgo de cáncer de colon.

El término fibra dietética es un término amplio, el cual se refiere a diversos carbohidratos y la lignina, los cuales van a resistir la hidrólisis por las enzimas digestivas humanas, sin embargo, pueden ser fermentados por la microbiota colónica o ser excretadas parcialmente por las heces (Saier y Mansour, 2005). Meier y Gassull (2004) indicaron que en ésta definición se puede incluir, dentro del concepto de fibra, a los polisacáridos no almidón (celulosas, hemicelulosas, pectinas, gomas y mucílagos), a la inulina, los fructooligosacáridos, los galactooligosacáridos, el almidón resistente (almidón y los productos procedentes de la degradación del almidón, que no son digeridos en el intestino delgado de las personas sanas). De acuerdo con Olveira y González-Molero (2007) algunos de estos componentes de la fibra cumplen estrictamente los criterios para que sean

considerados como prebióticos (por ejemplo, la inulina, los fructo-oligosacáridos, los galactooligosacáridos, los oligosacáridos derivados de la soja, los xilo-oligosacáridos, pirodextrinas e isomalto-oligosacáridos) (MacFarlane *et al.*, 2006). Sin embargo, otros componentes de la fibra son difíciles de clasificar; como la goma guar, la cual es un tipo de fibra soluble fermentable que promueve en parte el crecimiento de bacterias probióticas y también actúa como sustrato general (no específico) de las bacterias colónicas (“alimento colónico fermentable”) por lo que no se puede considerar en el sentido estricto como “prebiótico”. Igualmente, algunas fracciones del almidón resistente si actúan específicamente como prebióticos y otras solo como “alimento colónico fermentable” para las bacterias sacarolíticas (Oliveira y González-Molero, 2007).

### 3.4 Antioxidantes.

Los alimentos, además de las funciones energéticas que poseen, tienen la facultad de proteger algunas estructuras ante la formación de radicales libres. Es un proceso que constituye la oxidación celular y que deriva de la aparición de estos radicales, por lo que está ligado al envejecimiento fisiológico y en general a una serie de enfermedades como lo son las cardiovasculares, degenerativas, Alzheimer, Parkinson y distintos tipos de cáncer. De acuerdo con Vilaplana (2007), los antioxidantes que están presentes en los alimentos podrían ayudar a prevenir alguna de estas enfermedades, así como también mitigar o disminuir algunas de estas enfermedades.

Cuando los antioxidantes no son capaces de detener a los radicales libres, se pueden producir daños sobre las grasas, proteínas y los genes. Cuando la afectación de los radicales libres se producen en los genes, incrementara el riesgo de tumores. Cuando la afectación es en las proteínas, los efectos serán el deterioro y la muerte celular, que a su vez, estos son asociados al proceso de envejecimiento y a tener un mayor riesgo de enfermedades degenerativas que impactaran en el sistema nervioso, dando lugar a la enfermedad de Parkinson (Vilaplana, 2007).

Algunos ejemplos de antioxidantes presentes en la dieta son: vitamina E, vitamina C, vitamina A, coenzima Q, fenoles, flavonoides, entre otros. Los compuestos fenólicos son

sustancias que poseen propiedades antioxidantes y ayudan en la prevención del daño oxidativo, estando relacionado con el inicio de diversas enfermedades. La mayoría de los compuestos fenólicos son bioaccesibles y biodisponibles mediante medios mecánicos, enzimáticos y químicos. Sin embargo, durante el envejecimiento se modifican estos factores que afectan la absorción de estos compuestos (Cereceres-Aragón *et al.*, 2019).

Los flavonoides son una clase de compuestos polifenólicos que se encuentran en las plantas y abarcan una amplia gama de estructuras y características químicas. Consisten en un esqueleto de 15 átomos de carbono (C6-C3-C6) que comprende tres anillos: dos anillos fenólicos (A y B) y un anillo de pirano (C) (Cook y Samman 2016). Las antocianinas son flavonoides solubles en agua que se diferencian según la naturaleza, el número y la ubicación de los azúcares unidos a la molécula; el número de ácidos alifáticos o aromáticos unidos a los azúcares; el número de grupos hidroxilo presentes; y el grado de metilación de los grupos hidroxilo (Merecz-Sadowka *et al.*, 2023).

Sigurdson *et al.* en 2018, informaron que hasta la fecha se han identificado más de 1000 antocianinas distintas. Estas moléculas prevalecen en las plantas y son responsables de los pigmentos rojos, morados y azules que se observan en una variedad de frutas, verduras y sus derivados (Khoo *et al.*, 2017). La composición de las antocianinas puede diferir según varios factores, como la fuente del alimento y su variedad, así como los cambios estacionales y las condiciones ambientales (Hinojosa-Gómez *et al.*, 2020). Adicionalmente, factores como el estado del alimento, ya sea fresco, congelado o seco y la forma en que se almacena y prepara la comida, por ejemplo, si está pelada o sin pelar, también puede influir en la concentración de antocianinas. La cantidad de antocianinas que se encuentran en frutas y verduras puede variar significativamente, con niveles que oscilan entre 30 y 1500 mg/100 g (Fernandes *et al.*, 2014). Estos compuestos exhiben una amplia gama de actividades biológicas, incluidas propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, que están asociadas con su potencial para proporcionar propiedades anticancerígenas, cardioprotectoras, antidiabéticas y neuroprotectoras. Además, debido a sus efectos beneficiosos para la salud humana, las antocianinas pueden utilizarse en complementos alimenticios (Sigurdson *et al.*, 2018).

### 3.4.1 Granada (*Punica granatum* L.).

La granada, comúnmente conocida como manzana con semillas o granulada, es una fruta deliciosa que se consume en todo el mundo. La granada es una de las frutas más saludables, con una alta concentración de compuestos fenólicos. La cáscara de granada es una rica fuente de polifenoles que incluyen ácidos fenólicos, taninos y flavonoides, especialmente antocianinas. Estos antioxidantes ofrecen varias cualidades funcionales y nutracéuticas debido a sus compuestos que incluyen reducir la presión arterial, reducir el estrés oxidativo, reducir los niveles de colesterol y restaurar la salud del corazón. La cáscara de granada tiene una variedad de efectos biológicos, incluida la capacidad de resistir eficazmente a los microbios patógenos, y se utilizan como aditivos en diversas aplicaciones alimentarias (Tufail *et al.*, 2020).

La granada es un pequeño árbol originario del Medio Oriente y ahora se encuentra en el Mediterráneo, China, India, Sudáfrica y Estados Unidos. En la última década, de acuerdo con Kharchoufi *et al.* en 2018, demostraron que el interés de la granada ha aumentado significativamente, especialmente después de que se demostró que tiene propiedades antimicrobianas, antivirales, anticancerígenas, poderosos antioxidantes y resistencia a las mutaciones.

Esta fruta ha demostrado que es de los alimentos más ricos en polifenoles. Tiene una alta capacidad antioxidante y beneficios para la salud, por lo que es muy popular y a menudo se le ha llamado "súper fruta". Como tal, los compuestos fenólicos que se producen habitualmente pueden frenar la oxidación de los alimentos y aumentar la vida útil y composición de los alimentos. Además, la industria alimentaria quiere sustituir las sustancias sintéticas por mezclas tradicionales para mejorar la manipulación de los alimentos (Derakhshan *et al.*, 2018). Los antioxidantes naturales son mejores que los sintéticos debido a su mayor actividad. Sin embargo, la acción simple depende de las condiciones particulares y de la disposición alimentaria (Hosry *et al.*, 2023).

La granada está constituida de diferentes flavonoides, que representan entre el 0.2% y el 1.0% del producto. Aproximadamente el 30% de todas las antocianinas contenidas en la granada se

encuentran en la cáscara (Omer *et al.*, 2019). Los flavonoides (principalmente antocianinas) determinan el color de la fruta de la granada. El contenido de flavonoides en la cáscara es aproximadamente 12.4 veces mayor que en el jugo y las semillas. La cáscara de granada también es una fuente potencial de catequinas, epicatequinas, quercetina, antocianinas y procianidinas (Hosry *et al.*, 2023).

### 3.5 Linaza (*Linum usitatissimum* L.).

La linaza se conoce desde tiempos prehistóricos en casi todo el mundo. Históricamente la linaza estaba orientada a la producción de aceite de uso industrial, sin embargo, hoy en día se tiene un interés por ella debido a potencial beneficio para la salud (Hall *et al.*, 2006). Es una fuente rica de nutrientes valiosos. Contiene una gran cantidad de aceite, que representa el 37.1% de su peso fresco, compuestos principalmente por ácidos grasos poliinsaturados, específicamente por ácidos alfa-linolénico (54.3%) y linoleico (13.9%) (Suri *et al.*, 2020). Las principales fracciones de las proteínas de la linaza son globulinas, que representan entre el 58 y el 66% del contenido proteico, y entre el 20 y 42% de albúminas.

La semilla de linaza tiene una longitud de 4 a 6 mm. Es de forma aplanada y oval con un extremo un poco puntiagudo. Es de apariencia suave, brillante y de color entre marrón oscuro y amarillo claro. De acuerdo con Daun *et al.* (2003), su composición es de aproximadamente 40% lípidos, 30% fibra dietética y 20% proteína. Dado que es una semilla oleaginosa, es una fuente importante de ácidos grasos omega 3 que puede llegar a constituir el 52% del total de ácidos grasos.

El mucílago de linaza (ML) es un heteropolisacárido hidrocólicoide presente en la capa externa de la semilla. Se extrae fácilmente de las semillas enteras o de las cáscaras de las semillas. El contenido y la proporción de monosacáridos neutros y ácidos que forman el ML afectan las propiedades funcionales y pueden variar según el genotipo, el entorno, las prácticas de producción, las condiciones de almacenamiento, así como las condiciones utilizadas para la extracción del ML. En productos alimenticios, el ML se ha estudiado y aplicado con frecuencia por sus propiedades emulsionantes, espesantes y como agente gelificante para estabilizar sistemas de emulsión de aceite/agua. Además de su uso potencial, que corresponde

a otras aplicaciones comunes como las gomas naturales, relacionadas principalmente con la fortificación de alimentos (Lorenc *et al.*, 2023).

Investigaciones recientes del mucílago de linaza, refieren las condiciones de extracción y el efecto en la composición, además de las propiedades reológicas del extracto. El mucílago de la linaza es parecido a la goma, se asocia a la cáscara del grano, compuesto por polisacáridos ácidos y neutros. El mucílago tiene capacidad espumante, estabilidad, viscosidad estable a un rango amplio de pH y resistencia a la presencia de sales (Figuerola *et al.*, 2008).

De acuerdo con Puligundla y Lim en 2022, definieron que el uso del mucílago depende de sus propiedades funcionales distintivas, como la gelificación y la retención de agua, las propiedades emulsionantes y espumantes y la viscosidad, así como de su papel bioactivo en el tratamiento o la prevención de ciertas enfermedades. El ML puede utilizarse como gelificante o espesante, además de que posee propiedades espumantes.

- Agente gelificante/fortalecedor de geles. Debido a sus débiles propiedades gelificantes, el ML soluble se utiliza de forma limitada como agente gelificante en alimentos. En un estudio, la capacidad gelificante del ML se mejoró al mezclarlo con agar y glucomanano de konjac. Los geles hidrocoloides que consisten en estos componentes en una proporción de 8:2:0.5, exhibieron una resistencia estructural relativamente alta, alta elasticidad y mejor capacidad de retención de agua (Yang *et al.*, 2021).
- Agente formador de estructura. Hidrocoloides como la metilcelulosa, la hidroxipropilmetilcelulosa, la carboximetilcelulosa, el  $\beta$ -glucano de avena, la goma guar, la pectina, la goma xantana, la carragenina, la goma konjac, el agar, la goma garrofín y la goma psyllium se aplican comúnmente como sustitutos de gluten en productos libres de gluten. El mucílago de linaza (especialmente el mucílago liofilizado) se utilizó con éxito como agente formador de estructura natural, reemplazando la goma guar y la pectina en el pan sin gluten. Las propiedades reológicas de la masa con mucílago fueron comparables a las de un sistema de almidón-pectina-goma guar (Korus *et al.*, 2015).

- Agente estabilizador. Dado que el ML se asemeja mucho a la goma arábiga, puede usarse como sustituto de la goma arábiga en emulsiones. El mucílago muestra alta solubilidad y propiedades satisfactorias de estabilización de espuma en soluciones acuosas (Puligundla y Lim, 2022). El-Aziz et al. en 2015 demostraron que la adición de ML a un nivel de 0.025% mejora las características sensoriales y físicas del helado. De igual forma, Basiri et al. (2018) demostraron en un estudio que el ML sirve como estabilizador natural para mejorar la textura de yogur batido. También se ha demostrado que la adición del mucílago como polisacárido no amiláceo mejora las características fisicoquímicas y sensoriales de los fideos de harina de trigo (Kishk et al., 2011).
- Sustituto de grasa. El ML se ha utilizado como prebiótico y sustituto de grasa para desarrollar queso crema sin grasa y fortificado con probióticos. La adición de ML disminuyó el contenido de humedad y el pH, mientras que las concentraciones de sólidos totales, proteínas y cenizas aumentaron. Además, observaron un aumento significativo en la viscosidad del queso, sin embargo, se observó una reducción de la viscosidad durante el período de almacenamiento (Akl et al., 2020). La aplicación de ML en combinación con las bacterias probióticas ejerció actividad bactericida contra algunas bacterias patógenas. La adición del mucílago mejoró la supervivencia de las bacterias probióticas, mejoró la textura y la calidad sensorial general (Yang et al., 2022).
- Agente antiretrogradación. La retrogradación afecta negativamente la aceptabilidad y calidad de los alimentos ricos en almidón. Para controlar este efecto se han utilizado hidrocoloides como la goma de fibra de maíz y la goma guar. Yang et al. (2017) demostraron que la retrogradación se puede prevenir al adicionar ML.
- Efecto prebiótico. Lai et al. (2021) demostraron el potencial prebiótico del ML en comparación con otros mucílagos estudiados, mostró una resistencia relativamente mayor a la hidrólisis por ácido y pancreatina, con un índice prebiótico relativo del 98%. El ML promovió el crecimiento de *Lactobacillus rhamnosus*. Por lo tanto, la capacidad prebiótica del ML y su relación simbiótica con *L. rhamnosus* sugieren que pueden incorporarse simultáneamente para la producción de alimentos funcionales.

### 3.6 Impregnación.

Los tejidos vegetales, particularmente las frutas, ofrecen una expectativa prometedora para el desarrollo de snacks fortificados debido a su estructura natural y rica composición nutricional. Sin embargo, la integración de nutrientes en alimentos plantea un desafío. Se han investigado diversas tecnologías para mejorar la incorporación de compuestos bioactivos en matrices vegetales. Estas tecnologías modifican las propiedades estructurales de los tejidos vegetales, aumentando la permeabilidad, transferencia de masa y retención de nutrientes y/o compuestos bioactivos dentro de la matriz (Nuñez *et al.*, 2025).

En los últimos años la impregnación ha despertado interés por ser una técnica eficaz y económica que se utiliza para incorporar compuestos bioactivos de origen vegetal, siendo principalmente los compuestos antioxidantes añadidos a otros alimentos (Ramos-Morales *et al.*, 2024). El proceso de impregnación es una técnica muy utilizada para introducir solutos en una matriz alimentaria. Se emplea para enriquecer alimentos con compuestos bioactivos y/o funcionales, dando como resultado productos alimenticios más saludables (Hernández-Carranza *et al.*, 2022). Durante la impregnación el alimento es sumergido en una solución hipertónica o hipotónica rica en compuestos bioactivos (como los jugos o extractos). Las soluciones hipotónicas favorecen una mayor impregnación que sus equivalentes homólogos hipertónicos, sin embargo, también pueden provocar un aumento del contenido de humedad de los alimentos (Ramos-Morales *et al.*, 2024).

En este aspecto, el proceso de impregnación se realiza generalmente en productos frescos. De acuerdo con Bhushan *et al.* (2008), estos productos son muy inestables debido a su alta actividad de agua ( $a_w$ ), por lo tanto, para aumentar su vida útil, el proceso de secado es comúnmente usado. La deshidratación osmótica permite alterar de una forma controlada características microestructurales de matrices vegetales, lo que permite la introducción de conservantes, saborizantes, agentes texturizantes o compuestos bioactivos en la fracción porosa mediante el uso de soluciones hipertónicas multicomponentes (Huerta-Vera *et al.*, 2023).

Los niveles de los resultados del enriquecimiento y la deshidratación dependen del alimento, la solución de impregnación y de las condiciones de operación, por lo que todos estos factores han sido estudiados últimamente. Algunos alimentos como las verduras, por ejemplo, manzana, coco, calabaza, mango y papaya, han sido impregnados con compuestos bioactivos, sin embargo, no se han explorado lo suficiente (Ramos-Morales *et al.*, 2024).

En estudios de impregnación se han introducido curcuminoides en rodajas de coco (Bellary *et al.*, 2017) y plátano (Shukla *et al.*, 2019). Algunos otros ejemplos de impregnación son los realizados por Jimenéz-Hernández *et al.* (2017) quienes deshidrataron rebanadas de mango criollo e impregnaron con emulsiones de oleorresina de chile piquín (*Capsicum annum* L. var. Aviculare), lo que mostró un efecto antiproliferativo en las líneas celulares de cáncer de mama, los cuales fueron atribuidos a la sinergia de la capsaicina del chile piquín y de los componentes bioactivos del mango.

Otro estudio realizado por Hernández-Carranza *et al.* (2022) añadieron antocianinas derivadas de extractos de *Hibiscus sabdariffa* en rodajas de manzana, el cual aumento las antocianinas totales en 132.9 mg/100 g, lo que representó un aumento del 77.0 % en los compuestos fenólicos totales, además de observar un aumento del 103.7% sobre la capacidad antioxidante. Se han utilizado otros extractos ricos en antioxidantes, los cuales han sido obtenidos de remolacha, té verde, zanahoria negra y aronia para tener una mejora sobre los compuestos bioactivos en las manzanas (Aguirre-García *et al.*, 2020; Yilmaz y Bilek, 2017).

### 3.7 Alimentos funcionales.

Los alimentos proveen vitaminas y minerales que ayudan a las funciones corporales y a la salud, como por ejemplo a la respiración, la producción de energía y respuesta inmune. Dentro de los tipos de alimentos que existen, aquellos catalogados como light, dietéticos, bajos en grasa y alimentos funcionales son las principales categorías estudiadas en los últimos 20 años (Granato *et al.*, 2020).

La Comisión Europea sobre Ciencias de los Alimentos Funcionales, indica que “un alimento puede considerarse ‘funcional’ si se demuestra satisfactoriamente que afecta de manera beneficiosa una o más funciones objetivo en el cuerpo, más allá de los efectos nutricionales

adecuados, de una manera que sea relevante para mejorar el estado de salud y bienestar y/o reducir el riesgo de enfermedad” (Arias *et al.*, 2024). De acuerdo con Ye *et al.* (2018) el término de alimento funcional fue utilizado por primera vez en Japón en el año de 1980, sin embargo, su definición no está bien regulada, ni reconocida legalmente en la mayoría de los países.

Los Alimentos Funcionales (AF) desempeñan un papel fundamental en el apoyo de la salud, ya que van más allá de proporcionar una nutrición básica, pues pueden ayudar a prevenir enfermedades crónicas y mejorar el bienestar general (Fekete *et al.*, 2025). Además del valor nutricional como alimento convencional, los AF ayudan a promover condiciones óptimas de salud y pueden reducir riesgos de una o más enfermedades no transmisibles como la dislipidemia, el cáncer, Diabetes mellitus tipo 2, accidente cerebrovascular y enfermedad cardiovascular. Los estudios han demostrado que los componentes bioactivos presentes en los AF pueden modular diversas vías metabólicas, influir en la composición y actividad de la microbiota intestinal y regular procesos fisiológicos como la inflamación, el estrés oxidativo y la respuesta inmune. Sin embargo, para que un alimento sea considerado como funcional debe ser validado con ensayos para cumplir con las regulaciones de cada país. Por ejemplo, la Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria (ANVISA), la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) (Brown *et al.*, 2018).

Países como Estados Unidos, Japón, Asia y la Unión Europea son destacados por tener gran demanda por los alimentos funcionales. Algunos países como Alemania, Francia, Reino Unido, entre otros, están registrados como los mayores consumidores de alimentos funcionales. Además, Rodgers (2016), expresó que los consumidores están dispuestos a pagar entre un 10 y 50% el precio por productos que sean mejorados nutricionalmente (Arias *et al.*, 2024).

En las últimas décadas, el consumo de los AF ha aumentado de manera notoria, impulsado por una mayor concientización de los consumidores sobre la relación entre la dieta y la salud, así como por los avances en la ciencia de los alimentos y la nutrición. Estos productos abarcan una amplia gama de ingredientes bioactivos como pueden ser los probióticos, prebióticos,

péptidos bioactivos, fitoquímicos, ácidos grasos poliinsaturados y antioxidantes, los cuales ejercen efectos fisiológicos positivos en el organismo humano. La incorporación de los AF en las dietas cotidianas ofrece una forma accesible y práctica de mejorar la salud pública. A diferencia de los suplementos dietéticos, los AF se consumen como parte de la dieta habitual, lo que puede llevar a aumentar la adherencia y sostenibilidad de los efectos saludables a largo plazo. A pesar de los avances, existen desafíos importantes en la investigación, el desarrollo y la comercialización de alimentos funcionales. Por ejemplo, incluyen garantizar la biodisponibilidad y eficacia de los compuestos bioactivos, establecer pruebas científicas sólidas mediante estudios clínicos que estén bien diseñados y abordar las complejidades regulatorias y de etiquetado en diferentes regiones. Además, la aceptación del consumidor y la confianza en los beneficios de los AF dependen de una comunicación clara y debe ser basada en evidencia, además de la integración de estos productos en patrones dietéticos “culturalmente apropiados” (Fekete *et al.*, 2025).

Otros componentes alimentarios considerados como alimento funcional son:

- Ácidos grasos omega-3. El cerebro está altamente enriquecido con ácidos grasos omega-3 de cadena larga, fosforidilserina y esfingomielina. Existe una tendencia creciente en las personas mayores a utilizar suplementos para mejorar la salud cognitiva. Los beneficios para la salud del consumo de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, se han reportado tanto en estudios experimentales con animales como con humanos en enfermedades como el síndrome de dificultad respiratoria aguda, enfermedad cardiovascular, artritis reumatoide, diabetes mellitus, entre otros. El pescado azul es una de las fuentes con alto contenido de ácidos grasos omega-3, aunque también se ha demostrado que están presentes en algunos mariscos y algas (Barnes *et al.*, 2023).
- Péptidos. Los péptidos se refieren a secuencias cortas de aminoácidos, que sirven como bloques de construcción de proteínas, pero son en sí moléculas bioactivas con innumerables funciones en la fisiología. Estos son reconocidos por su capacidad de servir como reguladores de la presión arterial principalmente porque poseen actividad inhibitoria de la enzima convertidora de angiotensina. La incorporación en bebidas

funcionales, como, por ejemplo, las bebidas fortificadas con probióticos, de variantes de proteínas de caseína y proteínas de leche bovina, se ha atribuido al consumo dietético de dichos péptidos con efectos sobre la enfermedad cardiovascular (Saubenova *et al.*, 2024).

- **Compuestos fenólicos.** Los compuestos fenólicos como los flavonoides y los ácidos fenólicos son fitoquímicos bioactivos presentes en el té, el cacao y el aceite de oliva. Son conocidos por su potente actividad antioxidante y antiinflamatoria, además de que contribuyen a la prevención de enfermedades crónicas. Las tecnologías de micro y nanoencapsulación han surgido recientemente como métodos prometedores para estabilizar y optimizar la administración y eficacia de los compuestos fenólicos en alimentos funcionales (Zhang *et al.*, 2022).
- **Glucosinolatos.** Son fitoquímicos azufrados presentes en crucíferas como el brócoli, la col y las coles de Bruselas. Sus principales efectos sobre la salud se manifiestan en forma de productos de degradación enzimática, en particular el sulforafano, que posee propiedades desintoxicantes, antiinflamatorias y anticancerígenas. A pesar de la sólida evidencia preclínica, la demostración de la eficacia de los glucosinolatos en el impacto sobre la salud humana ha resultado compleja. Las tecnologías de microencapsulación son prometedoras para estabilizar el sulforafano, así como para optimizar la administración en sitios específicos en sistemas alimentarios funcionales (Li *et al.*, 2024).

## 4. HIPÓTESIS

El proceso de impregnación favorecerá la incorporación de agentes promotores de la salud en rodajas de plátano, siendo estables durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo general

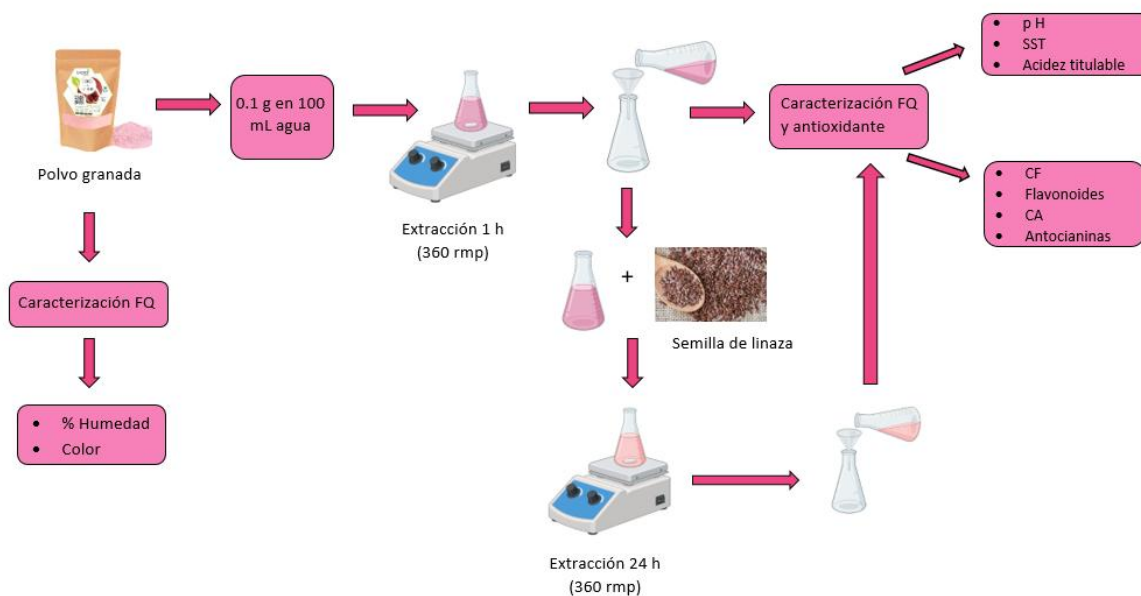
- Evaluar el efecto de la impregnación de compuestos promotores de la salud sobre las características de calidad de rodajas de plátano (*Musa x paradisiaca*) durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

### 5.2 Objetivos específicos

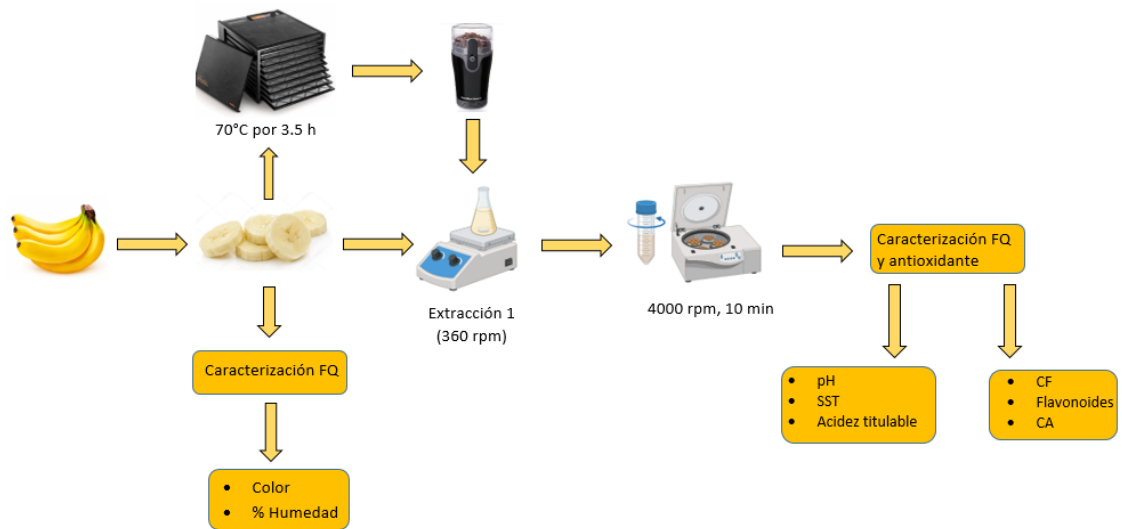
- Caracterizar las materias primas a utilizar en sus propiedades fisicoquímicas, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante.
- Desarrollar diferentes formulaciones de soluciones fermentadas con prebióticos, probióticos y antioxidantes para evaluar la supervivencia de los probióticos.
- Determinar el tiempo de secado e impregnación de las rodajas de plátano para evaluar la supervivencia de los probióticos.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas, la estabilidad de compuestos bioactivos promotores de la salud y aceptación sensorial de rodajas de plátano durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

## 6. DIAGRAMA DE TRABAJO

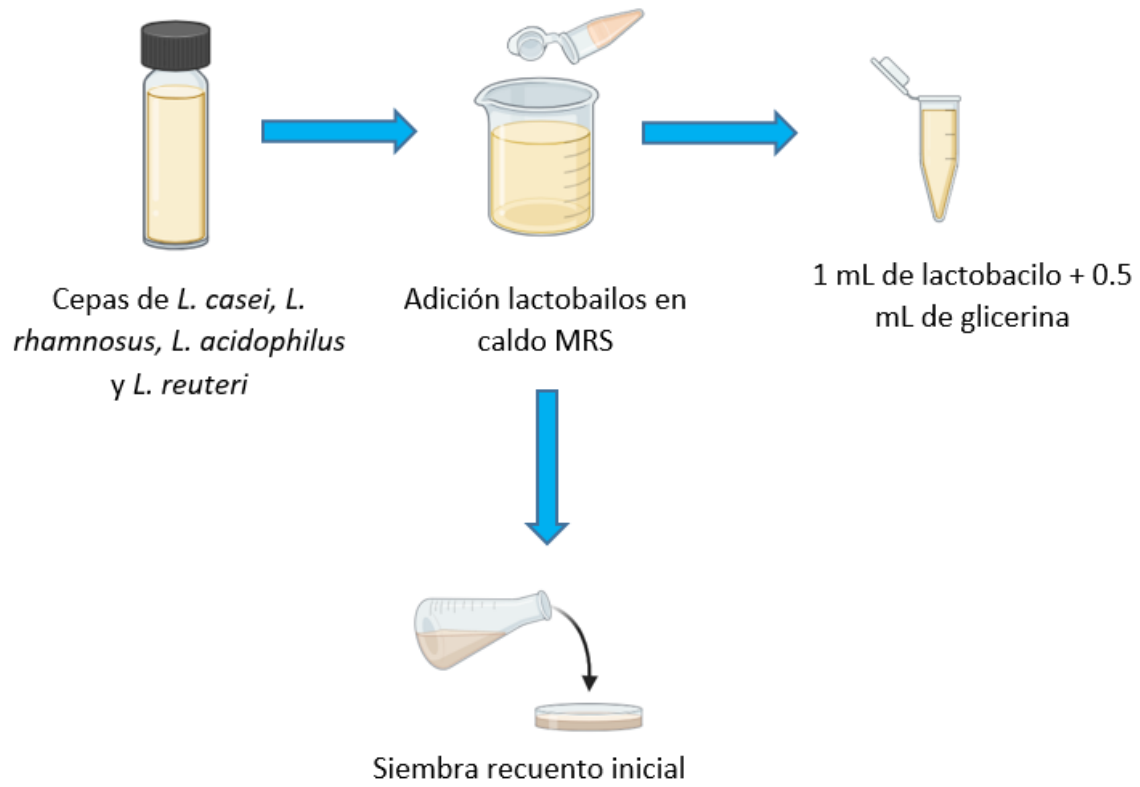
En las Figuras 1-6 se presenta la metodología a usar.



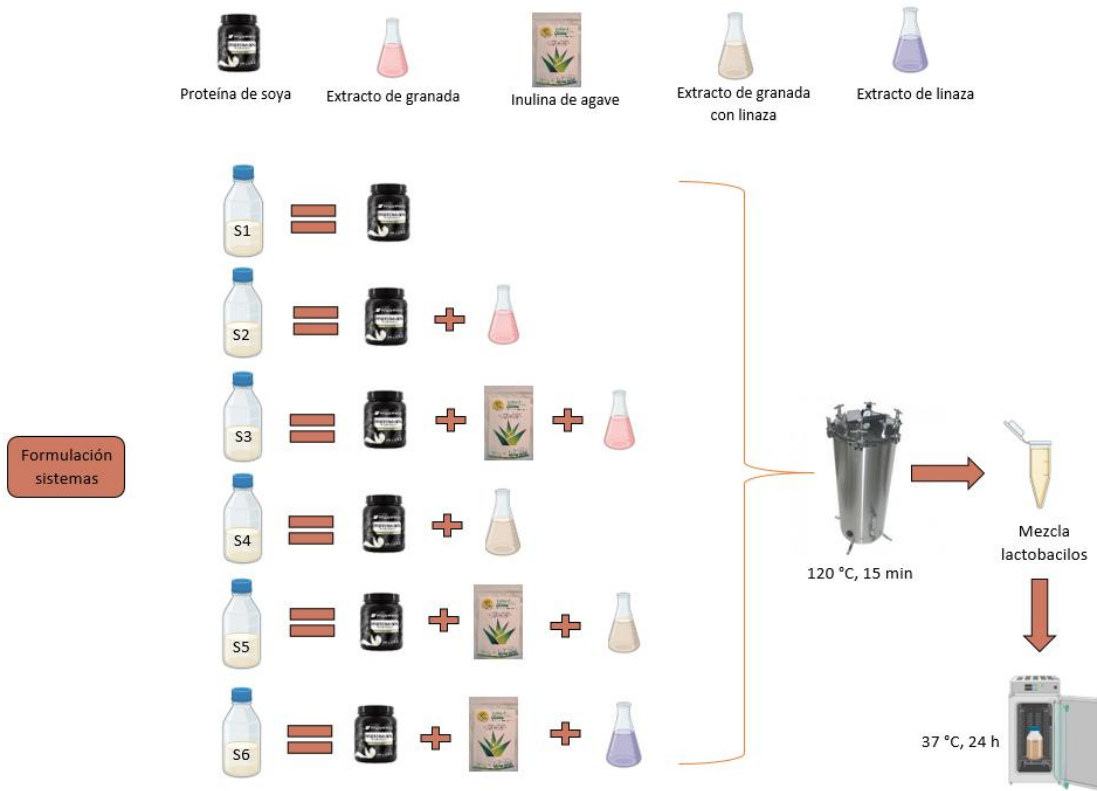
**Figura 1.** Caracterización fisicoquímica y antioxidante de extracto de granada y granada con mucílago.



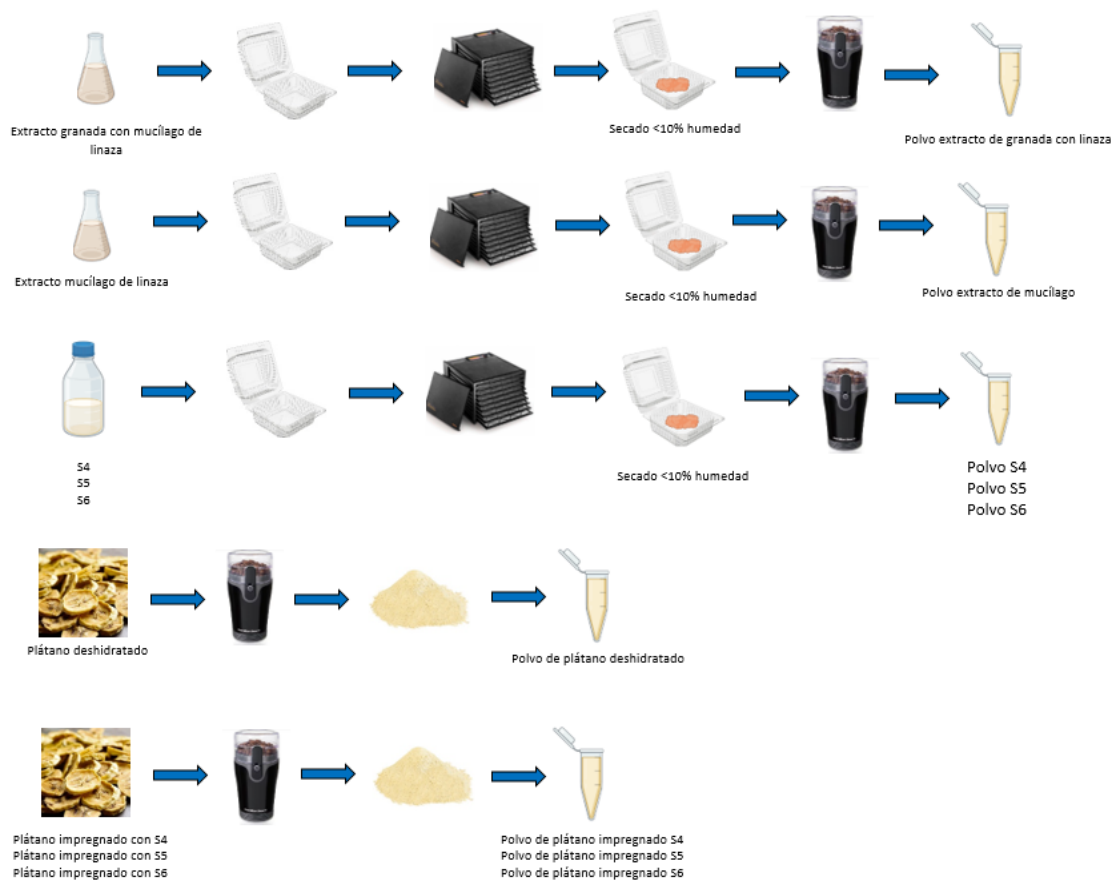
**Figura 2.** Caracterización fisicoquímica y antioxidante de plátano fresco y deshidratado.



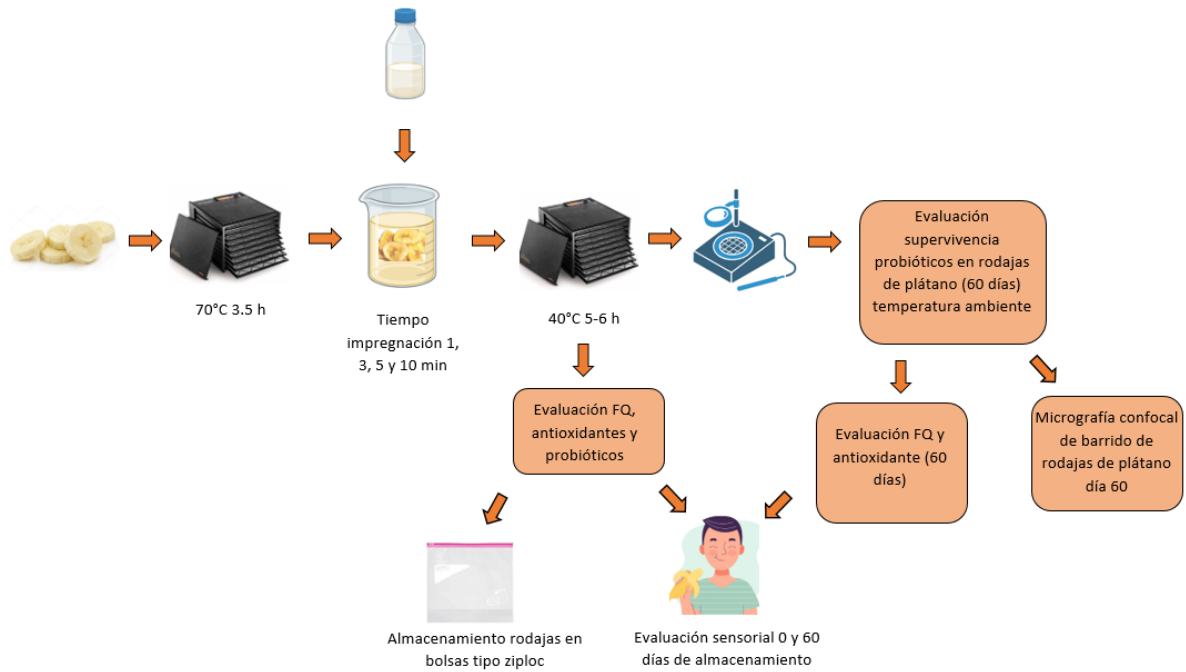
**Figura 3.** Obtención de cepas y conservación de lactobacilos *Lacticaseibacillus rhamnosus*, *Lacticaseibacillus casei*, *Limosilactobacillus reuteri* y *Lacticaseibacillus acidophilus*.



**Figura 4.** Formulación de sistemas fermentativos con mezcla de lactobacilos



**Figura 5.** Obtención de muestras para la detección de mucílago por espectroscopia FT-IR (micro-FTIR).



**Figura 6.** Tiempos de secado e impregnación, caracterización fisicoquímica, antioxidante, supervivencia de probióticos y evaluación sensorial de rodajas de plátano.

## 7. METODOLOGÍA

### 7.1 Caracterización fisicoquímica y antioxidante de granada y granada con mucílago.

Se obtuvo granada en polvo de la marca Maia orgánicos, adquirido en un supermercado de la ciudad de Puebla. Se realizó la determinación del color del polvo utilizando un lector de color, midiendo los parámetros  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (+rojo-verde) y  $b^*$  (+amarillo –azul).

Se realizó la determinación de humedad por el método de secado en estufa a 100°C. Las charolas se lavaron y secaron perfectamente para meterlas en una estufa por 24 h para tenerlas a peso constante. Se agregaron 3 g del polvo de granada y se llevaron a la estufa por 4 h. Después de este tiempo se pasaron a un desecador por 20 min. Finalmente se registró el peso final.

Se realizó un extracto acuoso de granada utilizando 0.1% (p/v), el cual se mantuvo en agitación (360 rpm) durante una hora a temperatura ambiente. Se filtró y se determinaron propiedades fisicoquímicas tales como pH con un potenciómetro, sólidos solubles totales (°Brix) con un refractómetro digital, acidez titulable mediante titulación con NaOH (0.1N) expresado como ácido cítrico.

Para la determinación de compuestos fenólicos se realizó por espectrofotometría (Gao *et al.*, 2004). Se tomó 1 mL de muestra y se le adicionó 1 mL del reactivo reactivo Folin-Ciocalteu (0.1 M). La mezcla se dejó en reposo por 3 min a temperatura ambiente en un tubo de vidrio ámbar en oscuridad. Pasado este tiempo, a la mezcla se le adicionó 1 mL de carbonato de sodio al 0.5%. La mezcla se dejó reposar por 30 min a temperatura ambiente y en oscuridad. Posteriormente se hizo una lectura en el espectrofotómetro UV-Vis a 765 nm. Los resultados son expresados en equivalentes de ácido gálico (EAG),

Para la evaluación de capacidad antioxidante mediante el radical de DPPH por espectrofotometría se realizó siguiendo la metodología propuesta por Luna-Guevara *et al.* 2014. Se tomó 1 mL de la muestra y se le adicionó 1 mL del reactivo DPPH (0.004% p/v). Se mezcló y se dejó reposar por 30 min en oscuridad a temperatura ambiente. La lectura de

la muestra se realizó en espectrofotómetro UV-Vis a 517 nm. Los resultados fueron expresados en Trolox,

Para la prueba de flavonoides totales por espectrofotometría se utilizó la metodología propuesta por Julian-Loaeza et al. 2011. Se tomó 0.5 mL de la muestra y se le adicionó 0.5 mL de nitrito de sodio (1.5% p/v). Se mezcló y dejó reposar por 5 min. Posteriormente se le adicionó 1 mL de cloruro de aluminio (3%) y se dejó reposar 1 min. Finalmente, se le agregó 1 mL de hidróxido de sodio (1N) y se realizó la lectura en el espectrofotómetro UV-vis a 490 nm. Los resultados fueron expresados en catequina.

Para la determinación de antocianinas se utilizó el método de diferencias de pH (Bellary y Rastogi, 2016). Se tomaron 10 mL de la muestra y se ajustó el pH a 1 con ácido clorhídrico (0.5 N). Se realizó la lectura en el espectrofotómetro UV-Vis a 520 y 700 nm. Nuevamente se tomaron 10 mL de la muestra y se ajustó el pH a 4.5 con hidróxido de sodio (1N). Se realizó la lectura en el espectrofotómetro UV-Vis a 520 y 700 nm. Los resultados fueron expresados en cianidina.

Para el extracto de granada con linaza, primero se realizó un extracto de granada siguiendo la metodología descrita anteriormente. Posteriormente, se agregaron 5 g de semilla de linaza obtenida en un mercado local de la ciudad de Puebla. Se colocó en condiciones de agitación (360 rpm) por 24 h para la extracción del mucílago. Se filtró y se caracterizaron propiedades fisicoquímicas y antioxidantes siguiendo el mismo procedimiento de extracto de granada.

## **7.2 Caracterización fisicoquímica y antioxidante del plátano fresco.**

Se obtuvieron plátanos Tabasco de un mercado local de la ciudad de Puebla. Se cortaron rodajas de 6 mm de espesor para medir el color, el cual se evaluó en la superficie de las rojas utilizando un lector de color, midiendo los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .

Se realizó la determinación de humedad por el método de secado utilizando la metodología descrita en el apartado 7.1

Se preparó un extracto acuoso de plátano al 4%, teniéndolo en agitación (360 rpm) durante 60 min a temperatura ambiente. Se filtró y se determinaron propiedades fisicoquímicas (pH,

SST y acidez titulable). A su vez se realizó la evaluación de los compuestos antioxidantes como compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante, usando la metodología descrita en el apartado 7.1.

### **7.3 Caracterización fisicoquímica y antioxidante del plátano deshidratado.**

Las rodajas de plátano fresco se deshidrataron a 60°C por 3.5 h. Se hizo una molienda de las rodajas de plátano deshidratadas para evaluar el color del polvo utilizando un lector de color, midiendo los parámetros descritos en el apartado 7.1.

Se realizó la determinación de humedad por el método de secado utilizando la metodología descrita en el apartado 7.1.

Se realizó un extracto acuoso de plátano deshidratado al 4%, teniéndolo en agitación (360 rpm) por una hora a temperatura ambiente. Se filtró y se caracterizaron propiedades fisicoquímicas (pH, SST y acidez titulable), así como también compuestos antioxidantes (flavonoides, capacidad antioxidante y compuestos fenólicos) usando la metodología descrita en el apartado 7.1

### **7.4 Obtención y conservación de lactobacilos.**

Se trabajó con las cepas de *L. rhamnosus*, *L. casei*, *L. acidophilus* y *L. reuteri*, obtenidas de la colección del departamento de Bioquímica-Alimentos de la Facultad de Ciencias Químicas de la BUAP.

Los microorganismos fueron inoculados en caldo MRS para su crecimiento. Se incubaron a 37°C durante 24 h. Se sembraron en agar MRS utilizando la técnica de vertido en placa (NOM-092-SSA1-1994), incubándolas a 37°C en condiciones de anaerobiosis para tener un recuento de la carga inicial por el método de conteo en placa (NOM-092-SSA1-1994).

Para la conservación de los microorganismos se colocó 1 mL de cada lactobacilo en un tubo eppendorf y se adicionó 500 µL de glicerol al 20%. Los tubos fueron colocados en congelación a -20°C. Este procedimiento se realizó con cada uno de los lactobacilos.

### 7.5 Formulación de sistemas fermentativos para la evaluación de crecimiento de lactobacilos.

Se formularon 7 sistemas usando aislado de soya, granada en polvo, inulina y/o mucílago de linaza y agua. A continuación, se describe su composición.

**Tabla 1.** Formulación de sistemas utilizados para la impregnación de rodajas de plátano.

Sistema	Aislado de soya (5%)	Extracto de granada (0.1%)	Inulina (0.3%)	Mucílago de linaza (5%)	Agua (100 mL)
1	•				
2	•	•			
3	•	•	•		
4	•	•		•	
5	•	•	•	•	
6	•		•	•	
7					•

Se obtuvo proteína de soya de la marca Prowinner e inulina de agave de la marca Hacienda Oro de Agave de un supermercado de la ciudad de Puebla.

Los sistemas fueron esterilizados a 121°C durante 15 min (15 psi). Posteriormente, se inoculó 1 mL de la mezcla de lactobacilos a cada sistema ( $1-2 \times 10^8$  UFC/mL) y se dejó fermentar a 37°C por 24 h.

### 7.6 Evaluación de tiempo de secado de rodajas de plátano.

Se cortaron rodajas de plátano de 0.6 cm de espesor. Se registró su peso inicial y se colocaron en un deshidratador de bandejas a 70°C. Cada 30 min se registró su peso hasta que alcanzaron peso constante (3.5 h).

### **7.7 Evaluación tiempo de impregnación y secado de las rodajas de plátano.**

Después de secar las rodajas de plátano se impregnaron en los sistemas fermentados utilizando 1, 3, 5 y 10 min de impregnación. Se registró su peso inicial y nuevamente se colocaron en un deshidratador de bandejas a 40°C. Cada hora se registró su peso hasta que alcanzaron peso constante (5-6 h). Las muestras de rodajas de plátano deshidratadas después de la impregnación, se almacenaron a temperatura ambiente en bolsas tipo ziploc sin que les diera la luz.

### **7.8 Recuento de lactobacilos después de secar las rodajas de plátano impregnadas.**

Posterior a la deshidratación, se tomaron rodajas de plátano impregnadas de cada sistema y se hicieron diluciones en agua peptonada para sembrar en agar MRS por el método de vertido en placa. Las placas se incubaron a 37°C por 24 h en condición de anaerobiosis. Al término de la incubación, se realizó el conteo de la población y los resultados se expresaron como UFC/mL.

### **7.9 Evaluación por espectroscopia FT-IR (micro-FTIR) para la detección de mucílago.**

Se analizó el contenido de mucílago de las muestras que contenían extracto de granada con linaza, agua con linaza, los sistemas líquidos 4, 5 y 6 (sistemas con linaza), así como las rodajas de plátano deshidratadas y las rodajas impregnadas con los sistemas 4, 5 y 6. Todas las muestras fueron secadas (humedad < 10%) y se analizaron mediante espectroscopia infrarroja en la región del infrarrojo medio (1000-4000 cm<sup>-1</sup>) utilizando un espectrómetro FTIR (Bruker, Vertex 70, Alemania)

### **7.10 Evaluación de la estabilidad de probióticos durante el almacenamiento a temperatura ambiente.**

Se realizó una evaluación cada 15 días. Se tomaron rodajas de plátano de cada sistema y se hicieron diluciones en agua peptonada para sembrar en agar MRS por el método de vertido en placa. Las placas se incubaron a 37°C por 24 h en condición de anaerobiosis. Al término de la incubación, se realizó el conteo de la población y los resultados se expresaron como UFC/g. La evaluación se realizó desde el tiempo 0 hasta los 60 días de almacenamiento.

### **7.11 Evaluación fisicoquímica y capacidad antioxidante de los plátanos impregnados con los diferentes sistemas durante el almacenamiento.**

Se realizó una caracterización fisicoquímica y antioxidante de las rodajas de plátano impregnadas y almacenadas a los 0 y 60 días. Se evaluaron los parámetros descritos en el apartado 7.1. La actividad de agua ( $a_w$ ) se evaluó mediante el equipo Aqua Lab a las rodajas de plátano impregnadas y deshidratadas en los tiempos 0 y 60 días

### **7.12 Evaluación sensorial de rodajas de plátano al principio y final del almacenamiento.**

Se realizó una evaluación sensorial de las rodajas de plátano impregnadas con el componente que todos los sistemas tenían en común (sistema 1), a las que tuvieron mejores resultados en el almacenamiento (sistema 5) y el control (sistema 7). Se evaluó a tiempo 0 y 2 meses a 100 personas de la comunidad universitaria. Se utilizó una escala hedónica de 7 parámetros, siendo 7 “me gusta extremadamente” hasta 1 “me disgusta extremadamente”, evaluando características de olor, color, sabor, textura y aceptación general.

### **7.12 Micrografía confocal de barrido de rodajas de plátano impregnadas y deshidratadas.**

A las rodajas de plátano impregnadas y deshidratadas se les realizó una micrografía confocal de barrido para corroborar la supervivencia de los lactobacilos a los 60 días de almacenamiento a temperatura ambiente. Se evaluó utilizando un microscopio confocal de barrido láser (Carl Zeiss, Modelo LSM800, Múnich, Alemania) siguiendo la metodología propuesta por Jones y Senft (1985).

### **7.13 Análisis estadístico.**

Todos los experimentos se realizaron tres veces y cada prueba se realizó por duplicado. Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05 (Minitab15, State College, USA).

## 8. EQUIPOS Y MÉTODOS

**Tabla 2.** Métodos y referencias utilizados en la investigación.

<b>Determinación</b>	<b>Técnica</b>	<b>Referencia</b>
Color	Colorimetría	Rodríguez-Campos <i>et al.</i> , (2020)
Humedad	Método de secado en estufa	NMX-F-083-1986
Compuestos fenólicos	Método espectrofotométrico (Folin-Ciocalteu)	Gao <i>et al.</i> , (2004)
Capacidad antioxidante	Método espectrofotométrico (DPPH)	Luna-Guevara <i>et al.</i> , (2014)
Bacterias ácido-lácticas	Vertido en placa	NOM-092-SSA1-1994
Antocianinas	Diferencia de pH	Bellary y Rastogi (2016)
Flavonoides totales	Método espectrofotométrico (Catequina)	Julian-Loeza <i>et al.</i> , (2011).

**Tabla 3.** Equipos utilizados en la investigación

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
Autoclave	CISA	AS-25
Balanza analítica	Ohaus – Serie Pioneer	PA 224C
Deshidratador	Excalibur	2900ECB
Incubadora	LUZUREN	DHP-500
Refrigerador	MABE	RMT510
Contador de colonias	SOL-BAT	Q-20
Parrilla digital	Fisher Scientific	Isotemp
Espectrofotómetro	Spectronic Instruments	Spectronic 20 Genesys

## 9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9.1 Caracterización fisicoquímica y antioxidante de materias primas que se utilizaron en este estudio.

En la Tabla 3 se muestra la caracterización fisicoquímica del polvo de granada, del plátano fresco y deshidratado, así como del extracto de granada con mucílago de linaza. El plátano fresco fue el que presentó el mayor porcentaje de humedad (74.08), seguido por el plátano deshidratado (12.43) y el polvo de granada que fue el que obtuvo el menor porcentaje (8.76). Para que un alimento sea estable y se asegure su calidad y vida útil durante el almacenamiento, se requieren valores de humedad bajos ( $< 10\%$ ) (Lee y Robertson, 2022). En un estudio realizado por Ranjita *et al.* (2018) para polvo de cáscara de granada reportan valores de 7.27% de humedad siendo un valor parecido a lo que se obtuvo.

El extracto de granada con mucílago fue el que presentó el mayor pH ( $5.31 \pm 0.02$ ), sin embargo, no se observa diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) respecto con el plátano fresco y el plátano deshidratado, mostrando valores cercanos a la neutralidad. Akbarpour *et al.*, 2009, reportaron valores de 2.75-4.14 para el extracto de granada. En contraste, el extracto de polvo de granada obtuvo el valor más bajo ( $4.01 \pm 0.17$ ) debido a su mayor concentración de ácidos orgánicos, principalmente el cítrico, málico, tartárico y ascórbico (Lansky y Newman, 2007).

Por otra parte, es posible observar que el polvo de granada y el extracto de granada con mucílago presentaron valores similares para el porcentaje de acidez ( $0.64 \pm 0.00\%$ ) expresado en porcentaje de ácido cítrico. Mientras que el plátano fresco obtuvo el valor más bajo ( $0.03 \pm 0.00\%$ ) expresado en porcentaje de ácido málico, lo que es consistente con el perfil ácido característico de la granada. De acuerdo con Quiceno *et al.* (2014) reportaron valores de 0.2% de acidez para el plátano de cáscara amarilla. Ellos afirman que el cambio de color de la cáscara de verde a amarillo está relacionado con el incremento del ácido málico. El plátano deshidratado tuvo los valores más altos de sólidos solubles totales (SST), teniendo resultados de  $75.00 \pm 2.73$  a comparación del extracto de granada con mucílago que obtuvo el valor más bajo ( $11.00 \pm 1.82$ ). A medida que el plátano madura, las enzimas convierten el almidón en azúcares simples. Por otra parte, el aumento de SST en el plátano deshidratado

se debe a que la deshidratación elimina el agua concentrando los azúcares presentes (Archana y Lekshmi, 2019).

Para los valores de  $L^*$  es posible observar que el plátano deshidratado fue el que presentó mayor luminosidad ( $83.39 \pm 2.32$ ) en comparación del polvo de granada ( $54.96 \pm 4.26$ ), lo que puede deberse a la concentración de pigmentos claros a la disminución del contenido de agua que intensifica el tono claro de la superficie. El polvo de granada presentó el valor más alto para el parámetro  $a^*$  ( $11.32 \pm 0.98$ ) lo que indica una mayor intensidad del tono rojo característico de los pigmentos antocianicos presentes en la fruta, mientras que el extracto de granada con mucílago obtuvo el valor más bajo ( $2.57 \pm 0.31$ ). Esta reducción puede atribuirse a la degradación o inestabilidad de las antocianinas provocada por la interacción con los polisacáridos del mucílago (Shao *et al.*, 2015). Finalmente, para el valor de  $b^*$  es posible observar que plátano fresco fue el que obtuvo el valor más alto ( $18.40 \pm 3.84$ ) asociado a la presencia de carotenoides, a comparación del extracto de granada con mucílago que obtuvo el valor más bajo ( $-8.31 \pm 0.66$ ).

**Tabla 4.** Caracterización fisicoquímica de la granada, plátano deshidratado, plátano fresco y granada con mucílago.

Muestra	Humedad (%)	pH	% Acidez	Ácido predominante	SST (° Brix)	$L^*$	$a^*$	$b^*$
<b>Granada</b>	$8.76 \pm 0.27^c$ (polvo)	$4.01 \pm 0.17^c$ (extracto)	$0.64 \pm 0.00^a$ (extracto)	Ácido cítrico	$16.00 \pm 0.00^c$ (extracto)	$54.96 \pm 4.26^c$	$11.32 \pm 0.98^a$ (polvo)	$3.36 \pm 0.688^c$
<b>Granada con mucílago</b>	--	$5.31 \pm 0.02^a$ (extracto)	$0.64 \pm 0.00^a$ (extracto)	Ácido cítrico y ácido alfa-linolénico	$11.00 \pm 1.82^d$ (extracto)	$57.13 \pm 1.89^c$	$2.57 \pm 0.31^d$ (extracto)	$-8.31 \pm 0.66^d$
<b>Plátano fresco</b>	$74.08 \pm 0.61^a$ (rodajas)	$5.18 \pm 0.05^{ab}$ (extracto)	$0.03 \pm 0.00^c$ (extracto)	Ácido málico	$20.83 \pm 0.91^b$ (extracto)	$73.18 \pm 3.80^b$	$4.40 \pm 0.35^c$ (rodajas)	$18.40 \pm 3.84^a$
<b>Plátano deshidratado</b>	$12.43 \pm 1.46^b$ (polvo)	$5.12 \pm 0.07^b$ (extracto)	$0.16 \pm 0.00^b$ (extracto)	Ácido málico	$75.00 \pm 2.73^a$ (extracto)	$83.39 \pm 2.32^a$	$5.81 \pm 0.30^b$ (polvo)	$6.65 \pm 0.514^b$

Promedio  $\pm$  desviación estándar. Superíndices de letras diferentes por columna indican diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ).

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos de la determinación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de las materias primas que fueron utilizadas. Se puede observar que

la granada registró el valor más alto de capacidad antioxidante ( $33.55 \pm 2.79$  mg Trolox/100 mL), lo que se asocia a su elevado contenido de compuestos fenólicos y antocianinas, metabolitos secundarios con reconocida actividad captadora de radicales libres (Zhao y Yuan, 2021). En contraste, la incorporación de mucílago de linaza disminuyó significativamente la capacidad antioxidante ( $17.14 \pm 1.08$  mg Trolox/100 mL). Los compuestos fenólicos pueden interactuar con otras moléculas, como los polisacáridos presentes en el mucílago, uniéndose a sus estructuras mediante interacciones hidrofóbicas y de hidrógeno. Esta interacción puede reducir su biodisponibilidad para la cuantificación. En un estudio realizado por Mustafa *et al.* (2009) reportaron valores de 418.3 mg Trolox/100 mL, aunque ellos utilizaron jugo de granada.

En cuanto al contenido de compuestos fenólicos, la granada con mucílago presentó un valor significativamente mayor ( $8.59 \pm 0.75$  mg EAG/100 mL) a comparación de la granada sola ( $6.20 \pm 0.55$  mg EAG/100 mL). Este incremento podría atribuirse a la presencia de compuestos fenólicos propios del mucílago, que se suman a los de la granada (Xu *et al.*, 2020).

El contenido de flavonoides mostró una tendencia similar, con valores más altos en la granada con mucílago ( $3.14 \pm 0.24$  mg catequina/100 mL) en comparación con la granada sin mucílago ( $1.93 \pm 0.18$  mg catequina/100 mL). Sin embargo, este aumento en flavonoides no se tradujo en una mayor capacidad antioxidante, lo que respalda la idea de que la actividad antioxidante no depende únicamente de la concentración de estos compuestos, sino también de su estructura, sinergias y biodisponibilidad (Shahidi y Ambigaipalan, 2015). En un estudio realizado por Carreño *et al.* (2015) reportaron valores de 22.28 mg catequina/100 mL para el extracto de granada, siendo resultados diferentes a los obtenidos en el presente estudio, debiéndose a las condiciones de extracción.

El contenido de antocianinas mostró que la granada presentó el valor más alto ( $44.68 \pm 1.56$  mg cianidina/100 g), seguido por la granada con mucílago ( $33.93 \pm 3.10$  mg cianidina/100 g). La reducción observada podría deberse a la degradación parcial de pigmentos por cambios en pH o por interacciones con fibra y proteínas presentes en el mucílago, que pueden afectar la estabilidad de las antocianinas (Castañeda-Ovando *et al.*, 2009).

**Tabla 5.** Determinación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de extracto de granada, granada con mucílago, plátano fresco y deshidratado.

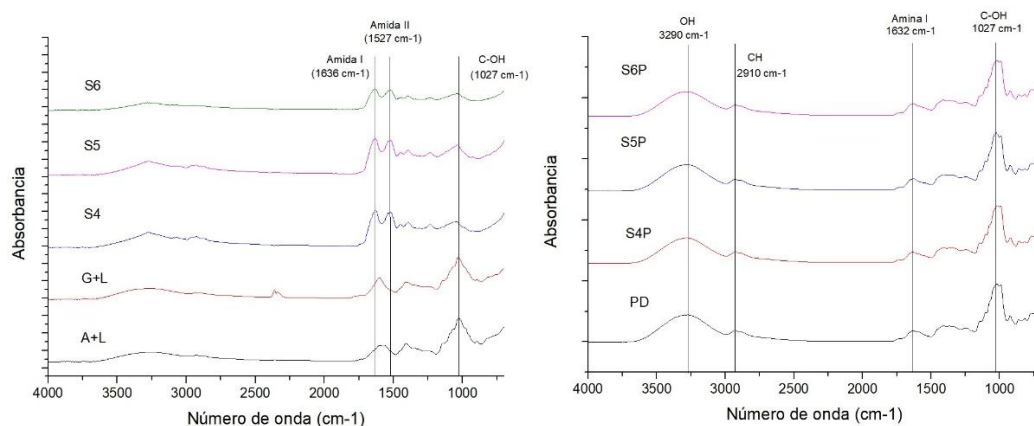
Muestra	Capacidad antioxidante (mg Trolox/100 mL)	Compuestos fenólicos (mg EAG/100 mL)	Flavonoides (mg catequina/100 mL)	Antocianinas (mg cianidina/100 g)
<b>Granada</b>	33.55 ± 2.79 <sup>a</sup>	6.20 ± 0.55 <sup>b</sup>	1.93 ± 0.18 <sup>b</sup>	44.68 ± 1.56 <sup>a</sup>
<b>Granada con mucílago</b>	17.14 ± 1.08 <sup>b</sup>	8.59 ± 0.75 <sup>a</sup>	3.14 ± 0.24 <sup>a</sup>	39.93 ± 3.10 <sup>b</sup>
<b>Plátano fresco</b>	0.22 ± 0.01 <sup>c</sup>	2.29 ± 0.22 <sup>c</sup>	0.06 ± 0.00 <sup>c</sup>	ND
<b>Plátano deshidratado</b>	1.22 ± 0.13 <sup>c</sup>	0.19 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.04 ± 0.00 <sup>c</sup>	ND

Promedio ± desviación estándar. Subíndices de letras diferentes por columna indican diferencia estadística significativa  $p < 0.05$ . ND: no determinado.

## 9.2 Evaluación por espectroscopia FT-IR (micro-FTIR) para la detección de mucílago.

La espectroscopía FT-IR permitió identificar la presencia de compuestos característicos del mucílago de linaza tanto en rodajas de plátano impregnadas como en los sistemas fermentativos. En los espectros correspondientes a los sistemas fermentativos (Figura 7 izquierda), se observan bandas relevantes en  $1636\text{ cm}^{-1}$  (Amida I) y  $1527\text{ cm}^{-1}$  (Amida II), indicativas de estructuras proteicas o nitrogenadas asociadas a compuestos del mucílago. Asimismo, la señal en  $1027\text{ cm}^{-1}$ , correspondiente al grupo C–OH, es una clara evidencia de la presencia de D-galactosa, L-arabinosa y D-xilosa, principales componentes del mucílago (Puligundla y Lim, 2022). En la muestra “granada con linaza” (G+L) es posible observar el pico en la onda  $1027\text{ cm}^{-1}$  correspondiente al grupo funcional del mucílago (grupo hidroxilo). La muestra “agua con linaza” (A+L) mostró de igual manera el pico en la onda  $1027\text{ cm}^{-1}$  por lo que es posible apreciar que la granada no afecta en la extracción del mucílago de linaza. En los espectros correspondientes a las rodajas de plátano impregnadas (Figura 7 derecha), las bandas en  $1027\text{ cm}^{-1}$  (C–OH) y  $1632\text{ cm}^{-1}$  (Amida I) siguen siendo visibles, aunque con algunas variaciones de intensidad. Sin embargo, los picos máximos alcanzados para el grupo C-OH también corresponden a la presencia del almidón del plátano, pues en éste número de onda también es posible detectar al almidón, por lo que se infiere que como en los sistemas acuosos fue posible detectar el mucílago, éste se impregnó en las rodajas de plátano, por lo

tanto, los picos son más grandes debido probablemente a la suma del almidón del plátano y el mucílago. Los resultados entre el control (plátano deshidratado) y las rodajas impregnadas demuestran que la impregnación y fermentación permiten la retención de los componentes del mucílago en las rodajas de plátano, lo cual es de interés para aplicaciones funcionales, nutricionales o tecnológicas del producto final.

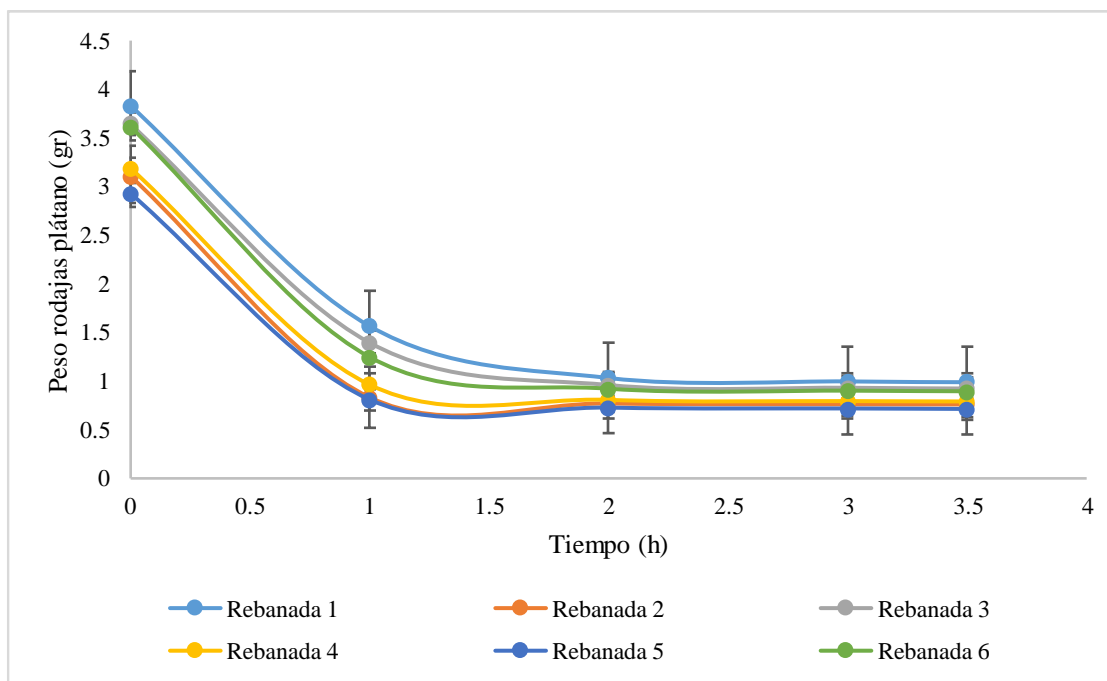


**Figura 7.** Detección de mucílago de linaza en rodajas de plátano impregnadas y en sistemas fermentativos.

### 9.3 Determinación de tiempo de secado de rodajas de plátano.

La Figura 8 muestra el tiempo de secado de las rodajas de plátano frescas. Como se puede observar, después de 60 min, se observó una disminución de peso de aproximadamente 2 g con respecto al peso inicial de las rodajas de plátano. Entre una y dos horas, las rodajas tuvieron otra disminución de peso ( $\pm 0.5$  g). Finalmente, entre las 2 y 3.5 h ya no es posible observar una reducción de peso en las rodajas, alcanzando peso constante. La pérdida de peso se debe a la pérdida de agua por la transferencia de calor y evaporación, pues el aire caliente aumenta la temperatura de la rodaja, lo que provoca que el agua contenida en la superficie y dentro de la rodaja se convierta en vapor. Un estudio similar fue el realizado por Carrillo-Carrillo *et al.* (2019) quienes secaron rodajas de plátano de  $3.50 \pm 0.1$  cm de espesor y se introdujeron en un secador solar directo de acrílico, ellos reportan una temperatura de  $38.89 \pm 5.63$  °C y un tiempo de 6 h para alcanzar un peso constante. En el presente estudio fue

menos tiempo el que se utilizó, ya que las rodajas de plátano eran de menor espesor y la temperatura fue de 70°C.

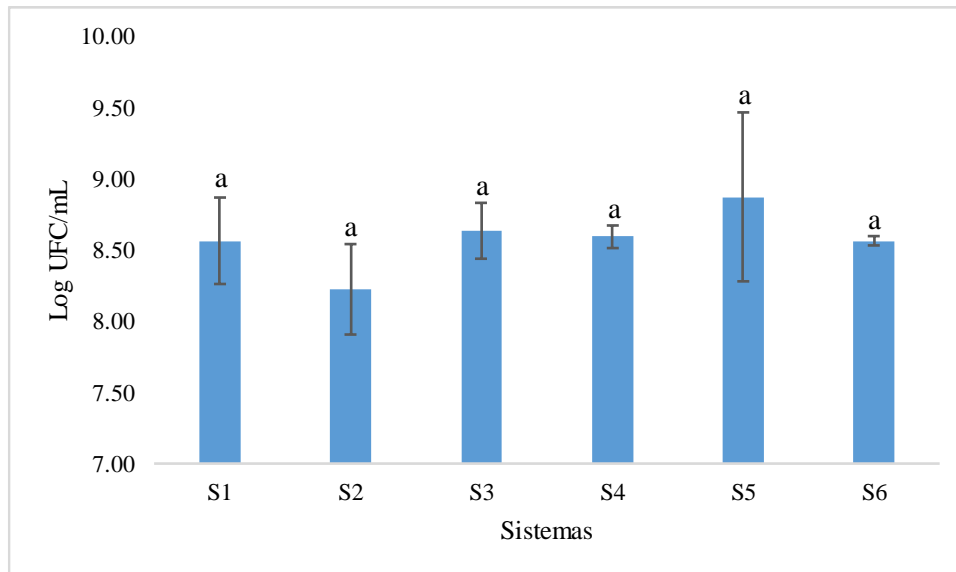


**Figura 8.** Evaluación tiempo de secado de rodajas de plátano.

#### 9.4 Recuento de probióticos en mezclas de sistemas fermentativos.

La Figura 9 muestra los resultados obtenidos del recuento de la población microbiana de la mezcla de lactobacilos después de 24 h de la fermentación en los diferentes sistemas. Se observa que entre los sistemas no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ), siendo que alcanzaron una población microbiana de hasta más de  $10^8$  UFC/mL. Los sistemas tienen en común aislado de soja, la cual es rica en proteínas, carbohidratos, ácidos insaturados e isoflavonas. Sus proteínas al ser hidrolizadas liberan aminoácidos y péptidos pequeños que son fuentes directas de nitrógeno para los lactobacilos. Además de proteínas, el aislado de soja contiene oligosacáridos como la rafinosa y estaquiosa, que actúan como prebióticos y los péptidos derivados de la proteína de soja tienen propiedades antioxidantes que pueden proteger a los lactobacilos del daño por estrés oxidativo (Mateos-Aparicio *et al.*, 2008). En un estudio realizado por Niyibituronsa *et al.*, (2019) utilizaron leche de soja con la mezcla

de *L. plantarum*, *L. acidophilus*, *L. reuteri*, *L. rhamnosus* y *L. casei*, obteniendo valores de  $10^8$  UFC/mL a las 24 h a  $30^\circ\text{C}$ , siendo resultados similares a los obtenidos en este estudio.

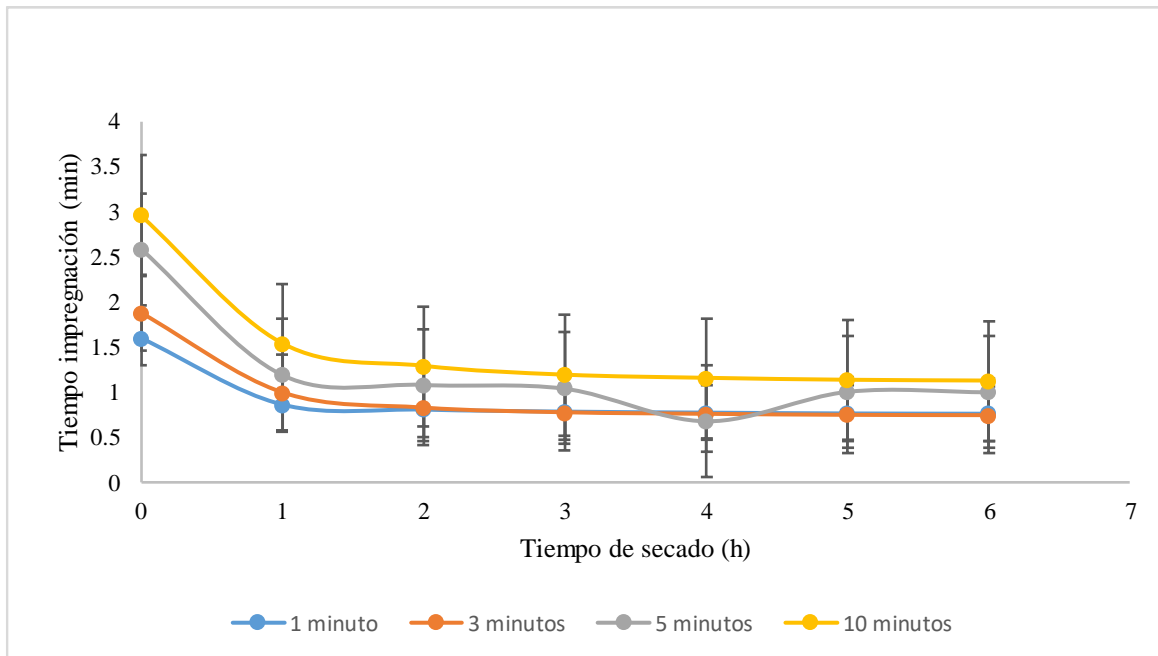


**Figura 9.** Recuento de la población microbiana de la mezcla de lactobacilos durante el proceso de fermentación después de 24 h. Letras diferentes indican diferencia significativa ( $p > 0.05$ ).

### 9.5 Determinación de tiempo de impregnación y posterior secado de rodajas de plátano.

Se puede observar en la Figura 10 que durante la primera hora el peso de todas las rodajas disminuyó considerablemente y aquellas impregnadas con la solución 5, durante 1 min, a partir de las 2 h comenzó a mantener un peso constante. A partir de las 3 h ya no se observó un descenso en el peso de las rebanadas de plátano impregnadas con 1 y 3 min, a comparación de las que fueron impregnadas por 5 y 10 min, las cuales siguieron disminuyendo su peso y después de las 5 horas comenzaron a alcanzar un peso constante. En la impregnación de 1 min, la cantidad de líquido absorbido es menor y se concentra más en la superficie, lo que facilita un secado rápido, en contraste con la impregnación de 10 min, que introduce más humedad en el alimento, lo que requiere más tiempo para alcanzar un peso constante. Un estudio realizado por Barreto y Faria (2019) en el que impregnaron plátanos con agua, una solución de metabisulfito de sodio y una solución con ácido cítrico y ácido ascórbico durante 10 min, tardaron 24 h a una temperatura de  $65^\circ\text{C}$  para deshidratar las rodajas de plátano,

siendo mucho menor el tiempo empleado en este estudio, dado que se utilizó menos tiempo de impregnación.

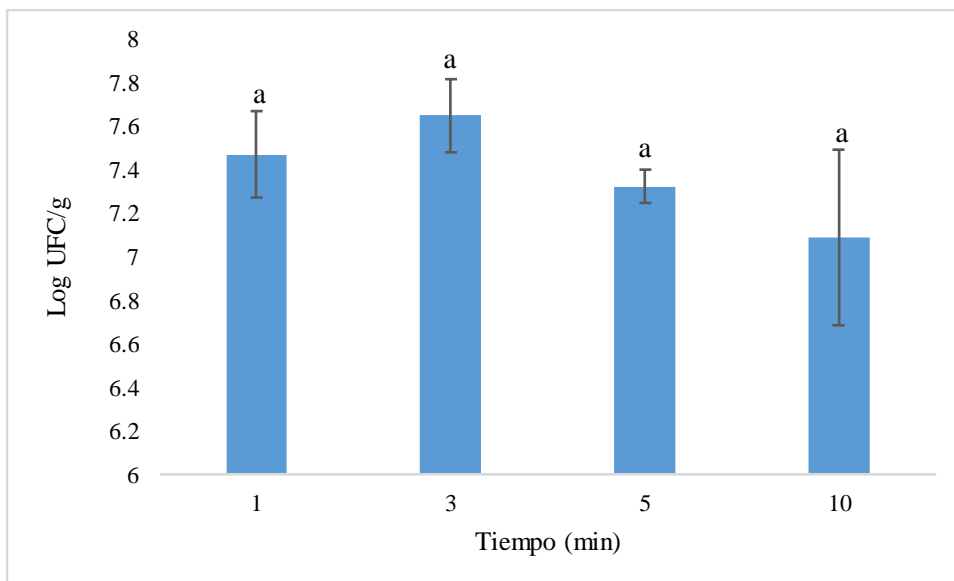


**Figura 10.** Evaluación de tiempo de impregnación y secado de rodajas de plátano.

### 9.6 Evaluación de la supervivencia de los lactobacilos después del tiempo de secado en rodajas de plátano.

En la Figura 11 se observa la supervivencia de los cuatro lactobacilos (*L. casei*, *L. rhamnosus*, *L. acidophilus* y *L. reuteri*) después de haber sido impregnados y secados en las rodajas de plátano. Se observa que los lactobacilos se mantuvieron en un rango de 7.2 a 7.7 Log UFC/g posterior a la deshidratación, sin mostrar diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los tiempos de impregnación. Estos resultados indican que el tiempo de impregnación no ejerció un efecto determinante sobre la viabilidad de los probióticos. Valores superiores a 7 Log UFC/g resulta relevante, ya que se considera que las concentraciones mayores a 6 Log UFC/g son suficientes para que un alimento pueda ejercer un efecto benéfico en el consumidor (Tripathi y Giri, 2014). Hasta el momento no hay estudios en el que hayan impregnado probióticos en rodajas de plátano seco, sin embargo, un estudio realizado por Vega-Gálvez *et al.* (2018), impregnaron *Lactobacillus casei* en bayas de murta deshidratadas (también

conocidas como murtillo o guayaba chilena) y tuvieron recuentos de  $10^7$  UFC/g con 15 min de impregnación, siendo que en este estudio se alcanzó la misma población con solo 1 min de impregnación.



**Figura 11.** Recuento de probióticos después de impregnar a diferentes tiempos y deshidratar en rodajas de plátano. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa ( $p > 0.05$ ).

### 9.7 Evaluación del efecto de almacenamiento a temperatura ambiente sobre las características fisicoquímicas de rodajas de plátano impregnadas y deshidratadas.

La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica de las rodajas de plátano impregnadas con los diferentes sistemas y deshidratadas a los días 0 y 60 de almacenamiento. La caracterización fisicoquímica de las rodajas de plátano impregnadas y deshidratadas mostraron variaciones significativas ( $p < 0.05$ ) en función del sistema utilizado y el tiempo de almacenamiento. El contenido de humedad disminuyó notablemente en la mayoría de las muestras tras el secado, con valores iniciales entre 22.57 y 26.84 %, y un aumento posterior a los 60 días en algunos tratamientos, especialmente en aquellos con inulina y mucílago, lo que podría atribuirse a la higroscopicidad (capacidad de algunas sustancias o materiales de absorber humedad del medio circundante) de estos compuestos, favoreciendo la retención de agua en el producto final (Sáyago-Ayerdi *et al.*, 2021).

El pH presentó ligeras variaciones durante el almacenamiento en la mayoría de los tratamientos, siendo más notable en las formulaciones con granada, lo que puede estar relacionado con la presencia de ácidos orgánicos y polifenoles (Sánchez-Maldonado *et al.*, 2020).

El porcentaje de acidez mostró ligeros incrementos, particularmente en el tratamiento con soya, granada, mucílago e inulina, posiblemente debido a la liberación de ácidos (Fawole y Opara, 2016).

En cuanto a los sólidos solubles totales (SST), se observó que las formulaciones con mayor adición de sólidos solubles (soya, granada y prebióticos) tendieron a mantener éste parámetro a lo largo del almacenamiento, lo que puede deberse a la concentración de azúcares y compuestos solubles durante el secado y a una posible redistribución de la humedad interna (López-Malo y Palou, 2021).

Los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) mostraron cambios significativos en la luminosidad y tonalidad. La disminución en el valor  $L^*$  en la mayoría de los tratamientos después de 60 días indica un oscurecimiento del producto, fenómeno que podría estar relacionado con reacciones de pardeamiento no enzimático, como la reacción de Maillard, así como la degradación de pigmentos naturales como antocianinas y carotenoides (Castañeda-Ovando *et al.*, 2009). En particular, las muestras con granada presentaron mayores valores de  $a^*$ , evidenciando la influencia de las antocianinas sobre el color rojo (Castañeda-Ovando *et al.*, 2009).

Finalmente, la actividad de agua ( $a_w$ ) al inicio del almacenamiento fue entre 0.38 y 0.44, lo que favorece la estabilidad microbiológica del producto al limitar el crecimiento de la mayoría de los patógenos y mohos (López-Malo y Palou, 2021).

**Tabla 6.** Caracterización fisicoquímica de rodajas de plátanos impregnadas y deshidratadas días 0 y 60.

Rodajas impregnadas	Tiempo almacenamiento (días)	Humedad (%)	pH	% Acidez	SST (°Brix)	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>a<sub>w</sub></i>
<b>Soya</b>	0	25.32 ± 0.62 <sup>b</sup>	5.37 ± 0.25 <sup>a</sup>	0.15 ± 0.00 <sup>b</sup>	57.50 ± 2.73 <sup>a</sup>	26.62 ± 3.51 <sup>b</sup>	14.50 ± 1.20 <sup>a</sup>	37.82 ± 5.37 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.01 <sup>a</sup>
	60	31.23 ± 4.49 <sup>a</sup>	5.05 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.16 ± 0.00 <sup>a</sup>	57.50 ± 0.00 <sup>a</sup>	45.21 ± 11.36 <sup>a</sup>	9.98 ± 1.50 <sup>b</sup>	10.55 ± 2.36 <sup>b</sup>	0.39 ± 0.00 <sup>b</sup>
<b>Soya y granada</b>	0	25.38 ± 0.65 <sup>b</sup>	5.35 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.18 ± 0.01 <sup>b</sup>	60.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	39.45 ± 9.37 <sup>a</sup>	14.35 ± 3.11 <sup>a</sup>	26.77 ± 3.69 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.00 <sup>a</sup>
	60	30.52 ± 0.85 <sup>a</sup>	5.06 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.19 ± 0.00 <sup>a</sup>	57.50 ± 2.73 <sup>b</sup>	43.48 ± 12.15 <sup>b</sup>	11.67 ± 2.74 <sup>b</sup>	8.82 ± 3.07 <sup>b</sup>	0.40 ± 0.00 <sup>b</sup>
<b>Soya, granada e inulina</b>	0	22.97 ± 0.94 <sup>b</sup>	5.22 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.17 ± 0.00 <sup>a</sup>	59.99 ± 0.91 <sup>a</sup>	44.55 ± 21.80 <sup>a</sup>	8.33 ± 3.73 <sup>b</sup>	12.58 ± 30.46 <sup>b</sup>	0.42 ± 0.00 <sup>a</sup>
	60	34.10 ± 0.26 <sup>a</sup>	5.15 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.17 ± 0.00 <sup>a</sup>	58.75 ± 1.36 <sup>b</sup>	44.42 ± 14.0 <sup>b</sup>	11.51 ± 2.79 <sup>a</sup>	19.49 ± 16.13 <sup>a</sup>	0.38 ± 0.00 <sup>b</sup>
<b>Soya, granada y mucílago</b>	0	26.84 ± 1.24 <sup>a</sup>	5.36 ± 0.17 <sup>a</sup>	0.15 ± 0.00 <sup>a</sup>	58.75 ± 1.36 <sup>b</sup>	27.65 ± 8.19 <sup>b</sup>	12.21 ± 2.66 <sup>b</sup>	30.90 ± 7.07 <sup>b</sup>	0.43 ± 0.00 <sup>b</sup>
	60	32.96 ± 0.26 <sup>b</sup>	5.10 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.15 ± 0.00 <sup>a</sup>	60.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	37.99 ± 3.44 <sup>a</sup>	10.87 ± 3.98 <sup>a</sup>	4.81 ± 5.26 <sup>a</sup>	0.39 ± 0.00 <sup>a</sup>
<b>Soya, granada, mucílago e inulina</b>	0	24.03 ± 3.34 <sup>b</sup>	5.35 ± 0.19 <sup>a</sup>	0.15 ± 0.00 <sup>b</sup>	60.00 ± 0.00 <sup>b</sup>	35.78 ± 7.64 <sup>a</sup>	11.65 ± 1.33 <sup>b</sup>	27.49 ± 2.63 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.00 <sup>a</sup>
	60	30.90 ± 0.08 <sup>a</sup>	5.10 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.23 ± 0.01 <sup>a</sup>	61.25 ± 1.36 <sup>a</sup>	35.44 ± 10.33 <sup>b</sup>	14.20 ± 4.47 <sup>a</sup>	6.66 ± 6.78 <sup>b</sup>	0.39 ± 0.00 <sup>b</sup>
<b>Soya, mucílago e inulina</b>	0	22.57 ± 2.68 <sup>b</sup>	5.22 ± 0.16 <sup>b</sup>	0.15 ± 0.00 <sup>b</sup>	59.58 ± 0.46 <sup>a</sup>	38.03 ± 5.16 <sup>b</sup>	11.48 ± 2.47 <sup>b</sup>	27.72 ± 3.06 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.00 <sup>a</sup>
	60	31.98 ± 0.87 <sup>a</sup>	5.05 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.17 ± 0.00 <sup>a</sup>	56.25 ± 1.36 <sup>b</sup>	41.41 ± 8.63 <sup>a</sup>	13.57 ± 2.43 <sup>a</sup>	4.79 ± 3.87 <sup>b</sup>	0.38 ± 0.00 <sup>b</sup>
<b>Agua</b>	0	25.91 ± 0.24 <sup>b</sup>	5.21 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.14 ± 0.00 <sup>b</sup>	57.49 ± 0.91 <sup>b</sup>	32.85 ± 4.59 <sup>b</sup>	12.35 ± 2.26 <sup>a</sup>	32.96 ± 4.67 <sup>a</sup>	0.38 ± 0.0 <sup>a</sup>
	60	30.73 ± 2.22 <sup>a</sup>	5.06 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.15 ± 0.00 <sup>a</sup>	60.00 ± 2.73 <sup>a</sup>	50.40 ± 4.83 <sup>a</sup>	9.43 ± 2.05 <sup>b</sup>	10.29 ± 7.06 <sup>b</sup>	0.34 ± 0.00 <sup>b</sup>

Promedio ± desviación estándar. Subíndices de letras diferentes por día indican diferencia estadística significativa  $p < 0.05$  respecto al almacenamiento.

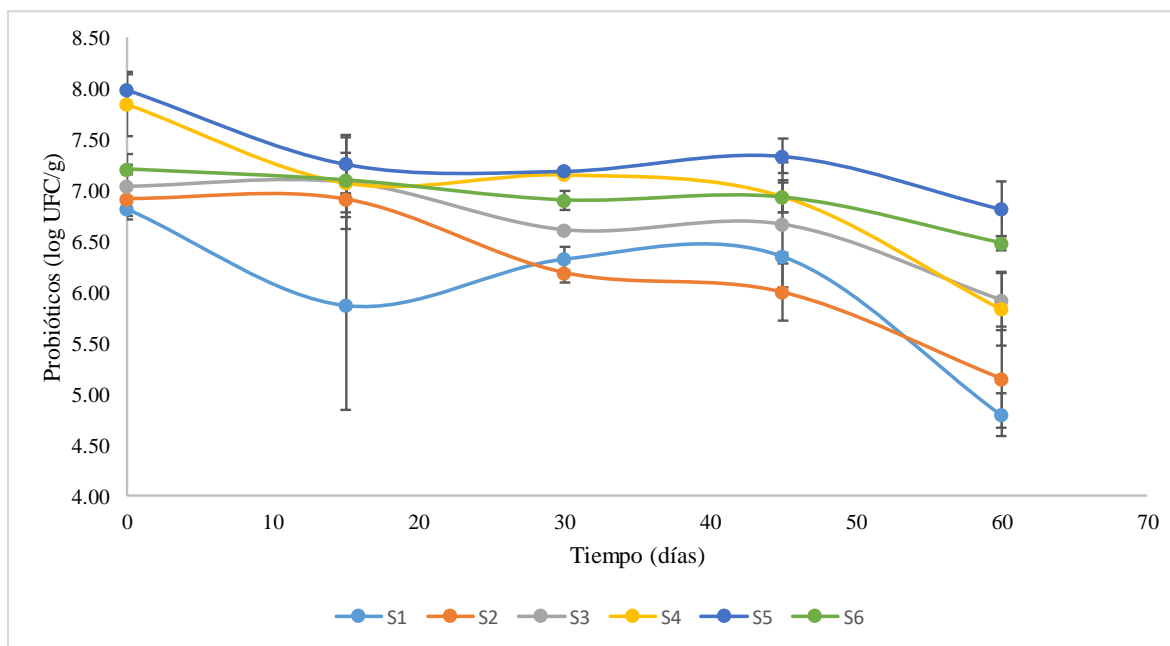
## 9.8 Evaluación de la estabilidad de los probióticos durante el almacenamiento.

En la Figura 12 se muestra la estabilidad de los probióticos impregnados en las rodajas de plátano durante el almacenamiento de los diferentes sistemas. Se puede observar que entre los seis sistemas al tiempo 0 no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ). Por otra parte, se observa que los sistemas 4 y 5 presentaron una mayor supervivencia de probióticos, alcanzando una población de  $1 \times 10^8$  UFC/g, y los sistemas 1 y 2 los que presentaron una menor supervivencia ( $1 \times 10^7$  UFC/g). Para el día 60 los sistemas 1, 2, 3 y 4 no presentaron diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) mientras que el sistema 1 fue el que presentó menor recuento de probióticos ( $1 \times 10^4$  UFC/g). También se puede observar que el sistema 5 presentó mayor supervivencia de probióticos, teniendo una población de  $1 \times 10^7$  UFC/g. Los probióticos sobreviven durante el almacenamiento a temperatura ambiente por la adición de la inulina, que sirvió como prebiótico. La inulina es un polisacárido no digerible que los probióticos pueden metabolizar como fuente de energía (Quitral *et al.*, 2018). El mucílago de linaza es rico en polisacáridos con alta capacidad de retención de agua, lo que crea una barrera protectora alrededor de las células probióticas, disminuyendo la pérdida de viabilidad por desecación (Villa-Uvidia *et al.*, 2020) ayudando a mantener a los probióticos estables. Finalmente, la granada contiene polifenoles que ayudan a reducir el daño oxidativo de los probióticos. Un estudio realizado por Flores-Andrade *et al.* (2018) reportaron la sobrevivencia de *Lactobacillus rhamnosus* en rodajas de plátano liofilizadas, el cual permaneció estable durante el período de almacenamiento de 20 a 28 días a  $25^{\circ}\text{C}$ , siendo que en este estudio la sobrevivencia de lactobacilos durante el almacenamiento a temperatura ambiente fue de 60 días.

La Internacional Asociación Científica de Probióticos y Prebióticos (ISAPP), establece que, para obtener un efecto benéfico por parte de los probióticos, se debe consumir diariamente alrededor de  $1 \times 10^9$  UFC/g

(Hill *et al.*, 2014). De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, se sugiere consumir aproximadamente 10 g de rodajas de plátano deshidratadas e impregnadas para alcanzar la ingesta diaria de probióticos recomendada. En adición, un estudio reciente hecho

por Hill *et al.* (2023) indican que un alimento contiene una alta carga de probióticos cuando se tiene una población mayor a  $1 \times 10^7$  UFC/g.

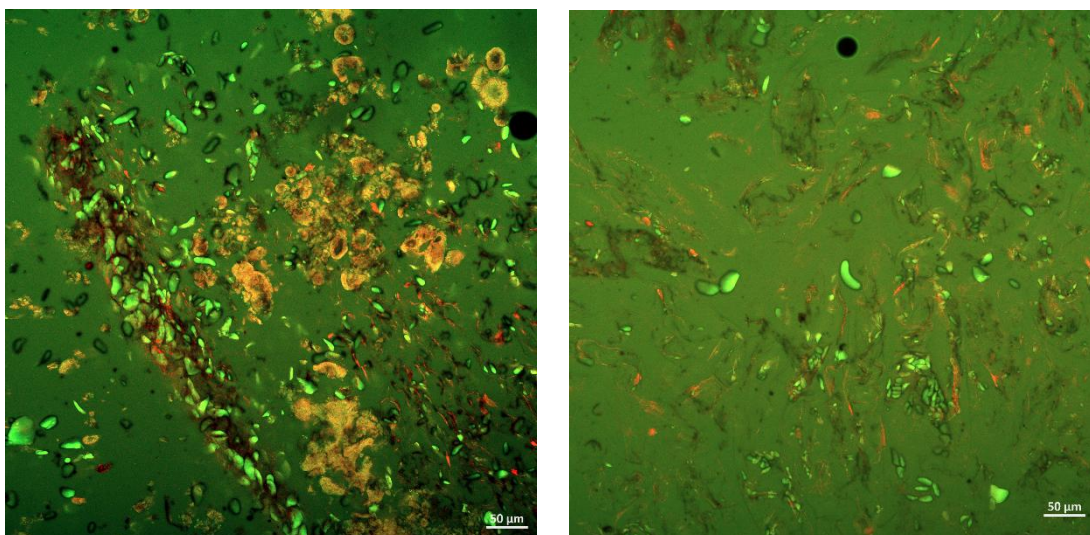


**Figura 12.** Estabilidad de probióticos durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

### 9.9 Microscopia confocal de barrido de rodajas de plátano.

La Figura 13 muestra las microscopias confocales de barrido de plátanos impregnados con lactobacilos y deshidratados después de 60 días de almacenamiento a temperatura ambiente. Como fue posible observar en el recuento microbiano al día 60 se alcanzó una población de  $1 \times 10^7$  UFC/g, corroborando con las micrografías, se puede observar la supervivencia de los lactobacilos en el almacenamiento (pequeños puntos verdes). El almacenamiento a temperatura ambiente afecta la supervivencia de los microorganismos, sin embargo, los compuestos fenólicos de la granada ayudan a proteger a los lactobacilos del daño oxidativo, la inulina es un polisacárido (fibra dietética) que actúa como prebiótico, lo que significa que es una fuente de carbono ideal para el metabolismo de los lactobacilos y finalmente el mucílago que tiene una alta capacidad de retención de agua, que también ayuda como barrera física que protege a las bacterias del estrés ambiental. En un estudio realizado por Hernández-Carranza *et al.* (2023) demostraron la supervivencia de los lactobacilos mediante micrografías confocales en películas a base de suero fermentado teniendo un recuento de

$1 \times 10^8$  UFC/mL después de 14 días de almacenamiento, siendo que en este estudio fueron 60 días de almacenamiento.



**Figura 13.** Microscopías confocales de barrido de rodajas de plátano impregnadas con *L. acidophilus*, *L. rhamnosus*, *L. casei* y *L. reuteri* después de 60 días de almacenamiento.

### **9.10 Evaluación de compuestos antioxidantes de las rodajas de plátano impregnadas durante el almacenamiento.**

La Figura 14a muestra el efecto del almacenamiento a temperatura ambiente durante 60 días sobre la capacidad antioxidante de rodajas de plátano impregnadas con diferentes mezclas fermentativas. En general, se observó una disminución de la actividad antioxidante en todas las rodajas evaluadas al comparar el día 0 con el día 60. Las rodajas impregnadas con los sistemas 4 y 5 destacaron inicialmente (día 0) por presentar los valores más altos de capacidad antioxidante (1600 mg Trolox/100 g) sin diferencias significativas entre ellas ( $p > 0.05$ ) teniendo en común la soya, granada y mucílago. Las rodajas impregnadas con el sistema 7 fueron las que presentaron menor capacidad antioxidante, siendo que solo contenía agua. Tras 60 días, todas las rodajas sufrieron una reducción en la capacidad antioxidante. Las rodajas del sistema 5 y 6 son las que obtuvieron valores más altos (808 y 738 mg Trolox/100 g respectivamente) a comparación de las demás rodajas impregnadas, no teniendo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre ellas. Por el contrario, las rodajas impregnadas con los sistemas

4 y 7 mostraron los valores más bajos (245 y 226 mg Trolox/100 g respectivamente) en la capacidad antioxidante tras el almacenamiento.

Estos resultados concuerdan con estudios previos que indican que la estabilidad antioxidante depende no solo del tipo y concentración de los compuestos bioactivos, sino también de la interacción entre componentes de la matriz, el tipo de procesamiento y las condiciones de almacenamiento (Shahidi y Ambigaipalan, 2015). El mantenimiento o pérdida de capacidad antioxidante puede tener implicaciones directas en la vida útil funcional del producto y su impacto potencial como alimento funcional o nutracéutico.

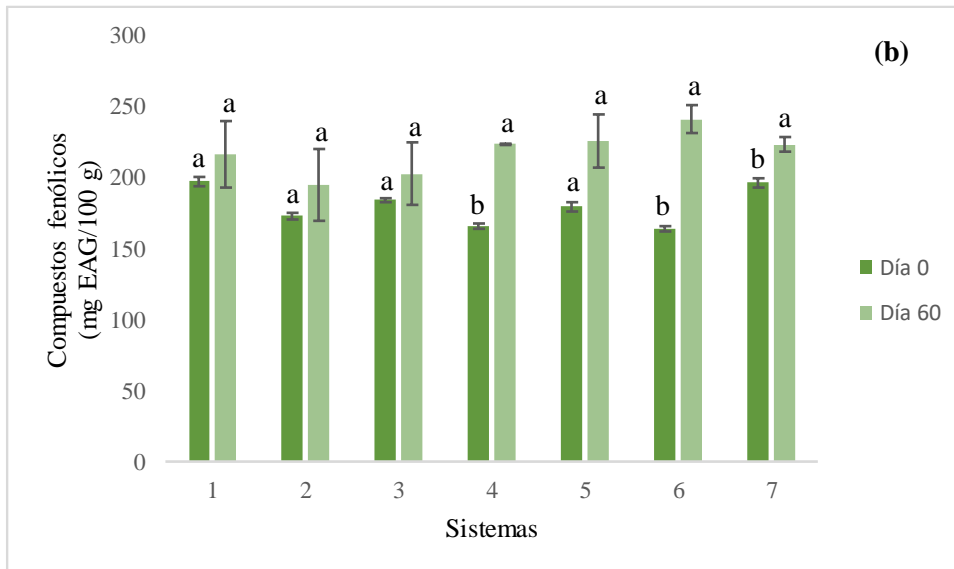
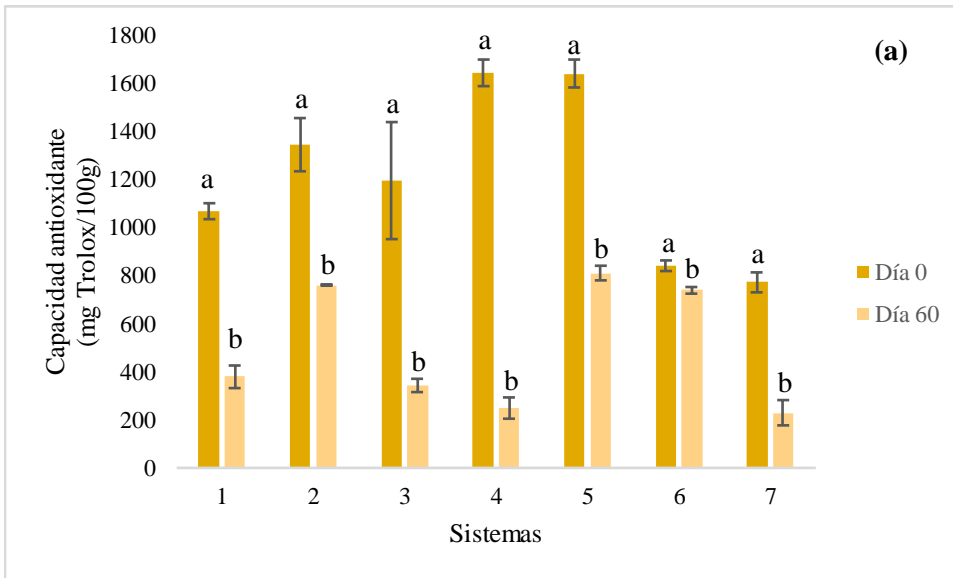
La Figura 14b muestra el contenido de compuestos fenólicos totales en siete sistemas de rodajas de plátano impregnadas, evaluado al inicio del almacenamiento (día 0) y después de 60 días. Los resultados evidencian diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) entre sistemas y también se observa diferencia entre el tiempo de almacenamiento, lo que indica que la formulación del sistema y el almacenamiento influyen en la estabilidad o liberación de estos compuestos bioactivos en las rodajas de plátano. En general, se observa una tendencia al aumento de los compuestos fenólicos totales al día 60 en todas las rodajas. Este comportamiento puede explicarse por una mayor liberación de compuestos fenólicos ligados durante el almacenamiento, posiblemente debido a reacciones de hidrólisis enzimática o reestructuración de la matriz alimentaria, tal como ha sido reportado en frutas mínimamente procesadas y sistemas fermentados (Hur *et al.*, 2014). Las rodajas del sistema 6 mostraron el mayor incremento, pasando de aproximadamente 165 mg EAG/100 g a más de 240 mg EAG/100 g. Este aumento podría atribuirse a la presencia de ingredientes funcionales como el mucílago o la inulina, que podrían ayudar a proteger los compuestos fenólicos durante el almacenamiento y favorecer su liberación progresiva (Shahidi y Ambigaipalan, 2015). De manera similar, las rodajas de los sistemas 4 y 5 también mostraron incrementos importantes en el contenido fenólico, lo que sugiere que estas formulaciones presentan una buena estabilidad antioxidante a lo largo del tiempo de almacenamiento. Por el contrario, las rodajas del sistema 2 no presentaron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre día 0 y día 60, manteniéndose en niveles ligeramente por debajo de los 200 mg EAG/100 g, lo que indica una menor capacidad de liberar o preservar compuestos fenólicos durante el almacenamiento. Cabe destacar que todos los sistemas alcanzaron valores de compuestos fenólicos superiores

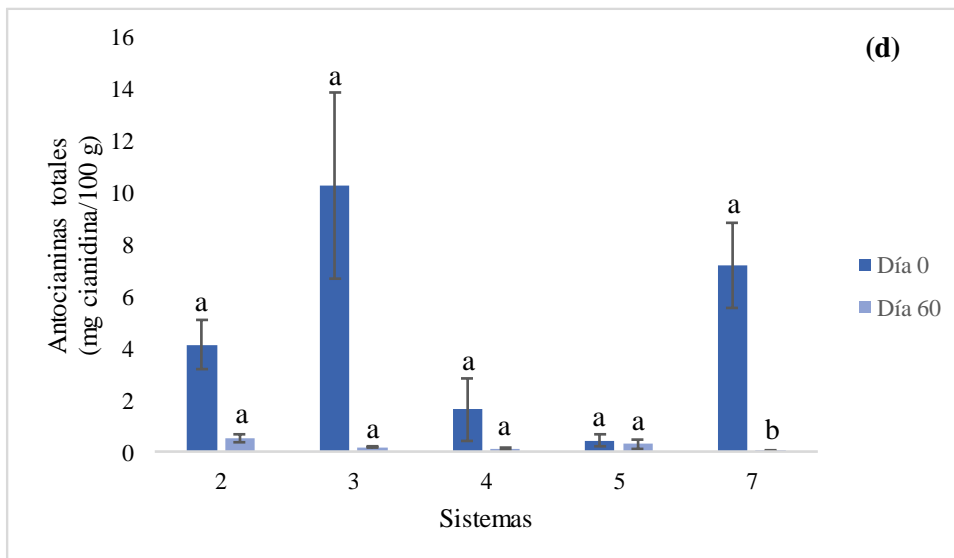
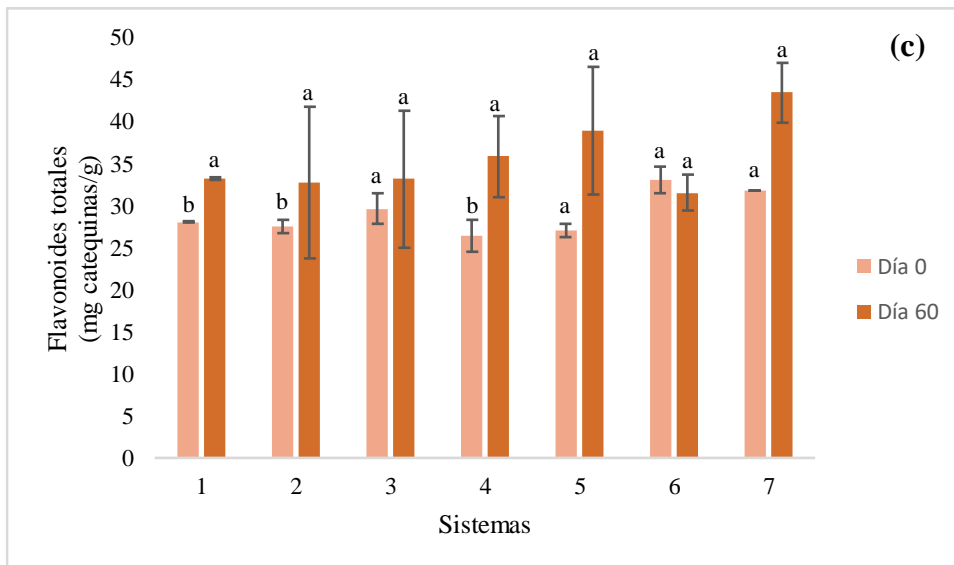
a 200 mg EAG/100 g. La estabilidad y posible liberación de compuestos fenólicos durante el almacenamiento ha sido documentada en productos con matrices ricas en fibra soluble o en sistemas fermentados, donde procesos enzimáticos continúan actuando incluso tras la fase activa de elaboración (Cai *et al.*, 2006). En conjunto, estos resultados refuerzan la idea de que el diseño de sistemas funcionales basados en ingredientes como soya, mucílago de linaza, inulina y extractos vegetales puede promover una mayor estabilidad o incluso incremento de compuestos fenólicos durante el almacenamiento, lo que es altamente favorable para el desarrollo de productos con valor agregado y propiedades antioxidantes prolongadas (Dávalos *et al.*, 2004).

La Figura 14c presenta el comportamiento del contenido de flavonoides totales en las rodajas de plátano impregnadas, evaluadas al día 0 y tras 60 días de almacenamiento. Los resultados indican una tendencia general al incremento en los niveles de flavonoides, habiendo diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ). Se observa que los valores promedio aumentaron en todas las rodajas. Esto sugiere que los flavonoides presentes en las matrices analizadas son relativamente estables durante el almacenamiento, o bien que podrían estar siendo liberados progresivamente desde estructuras celulares por efectos como la relajación de la matriz alimentaria, la despolimerización o la acción de enzimas residuales (Shahidi y Ambigaipalan, 2015). Entre las muestras analizadas, las rodajas del sistema 7 mostraron el contenido más alto de flavonoides al día 60 ( $43.45 \pm 3.58$  mg catequina/g), con un incremento respecto al valor inicial ( $31.74 \pm 0.01$  mg catequina/g). Esta representa la mayor variación observada en el estudio, lo que puede estar relacionado a que durante el almacenamiento los flavonoides aumentan en el plátano deshidratado por la liberación de compuestos ligados, la actividad enzimática residual y la concentración por pérdida de humedad (Hur *et al.*, 2014). Rodajas impregnadas con los sistemas 2, 4 y 5 también mostraron incrementos en el contenido de flavonoides totales, lo que podría ser indicativo de cierta liberación o transformación química de compuestos fenólicos conjugados hacia formas más libres o detectables durante el almacenamiento, como se ha descrito en productos mínimamente procesados o impregnados con extractos vegetales (Hur *et al.*, 2014). Cabe resaltar que ningún sistema mostró una reducción significativa en los niveles de flavonoides, lo que sugiere que las condiciones de almacenamiento utilizadas fueron efectivas para preservar la estabilidad de estos compuestos. Este comportamiento es especialmente deseable en

productos funcionales, ya que los flavonoides no solo contribuyen a la capacidad antioxidante, sino que también tienen implicaciones positivas en la salud humana por sus propiedades antiinflamatorias, cardioprotectoras y neuroprotectoras (Panche *et al.*, 2016).

La Figura 14d muestra el comportamiento del contenido de antocianinas totales en las rodajas de plátano impregnadas con los sistemas 2, 3, 4, 5 y 7 evaluados al inicio del almacenamiento (día 0) y después de 60 días. Las antocianinas, pigmentos fenólicos pertenecientes al grupo de los flavonoides, son altamente valoradas por sus propiedades antioxidantes, pero también son compuestos lábiles, sensibles a factores como la luz, el oxígeno, el pH y la temperatura (He y Giusti, 2010). En general, se observa una disminución marcada y significativa del contenido de antocianinas en todas las rodajas al comparar los valores del día 0 con los del día 60. Esta reducción puede atribuirse a la degradación natural de estos compuestos durante el almacenamiento, lo cual ha sido ampliamente documentado en productos vegetales deshidratados o mínimamente procesados (Reyes y Cisneros-Zevallos, 2007). Las rodajas del sistema 3 presentaron el valor inicial más alto, con más de 10 mg cianidina/100 g, sin embargo, al día 60, el contenido se redujo a valores inferiores a 1 mg/100 g. Las rodajas del sistema 7 también mostraron un contenido inicial elevado, seguido por una reducción significativa al día 60. Este comportamiento se repitió en las rodajas de los sistemas 2, 4 y 5, aunque con concentraciones iniciales más bajas. Cabe destacar que, aunque las diferencias estadísticas entre algunas rodajas no son significativas, la tendencia general apunta a una pérdida considerable de antocianinas en todas las rodajas evaluadas. Este resultado es coherente con estudios previos que destacan que las antocianinas, a diferencia de otros flavonoides o polifenoles, presentan una estabilidad limitada durante el almacenamiento a temperatura ambiente, especialmente en matrices con actividad de agua moderada (Castañeda-Ovando *et al.*, 2009). Durante el almacenamiento, las antocianinas pueden oxidarse fácilmente en presencia de oxígeno, especialmente si el envase no es hermético. La oxidación es catalizada por enzimas residuales como la polifenoloxidasas (Sandilova *et al.*, 2006). También la exposición a la luz durante el almacenamiento, incluso indirecta, puede degradar las antocianinas por fotooxidación, reduciendo su intensidad de color (Bakowska-Barczak, 2005).





**Figura 14.** Efecto de las condiciones de almacenamiento durante 60 días a temperatura ambiente sobre la capacidad antioxidante (a), compuestos fenólicos (b), flavonoides totales (c) y antocianinas totales (d) en rodajas de plátano impregnadas con mezclas de sistemas fermentativos y deshidratadas. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre días de almacenamiento ( $p > 0.05$ ).

### 9.11 Evaluación sensorial rodajas de plátano.

Las Tabla 7 presenta los resultados obtenidos de la evaluación sensorial realizada a las rodajas de plátano impregnadas y deshidratadas en el día 0 y 60, evaluando atributos como olor, color, sabor, textura y aceptación general. Las muestras evaluadas incluyeron tres formulaciones: control 1 (agua, sistema 7), control 2 (aislado de soya, sistema 1) y el sistema que obtuvo mejores resultados (mezcla de soya, granada, mucílago de linaza e inulina, sistema 5). En todos los atributos evaluados, los resultados mostraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) respecto a los días de almacenamiento. Este comportamiento sugiere una pérdida gradual de las características organolépticas originales del plátano conforme avanza el tiempo.

En cuanto al olor en el día 0, las puntuaciones estuvieron equilibradas entre las tres formulaciones, con una ligera preferencia por las rodajas impregnadas con agua (ni me gusta ni me disgusta). Las rodajas impregnadas con aislado de soya y la mezcla de compuestos obtuvieron puntuaciones similares (4.86 – 4.82 respectivamente), lo que indica que la incorporación de ingredientes como el mucílago o la inulina no introdujo olores indeseables, como ha sido reportado en algunas aplicaciones con extractos vegetales (Hur *et al.*, 2014). Para el día 60, los resultados muestran una aceptación similar entre las tres muestras (me gusta poco). Las diferencias estadísticas no fueron significativas ( $p < 0.05$ ), indicando que las percepciones del olor son comparables entre las muestras, lo que podría atribuirse a la neutralidad aromática de plátano.

Respecto al color en el día 0, se observó una distribución casi equitativa entre las tres formulaciones (ni me gusta ni me disgusta), lo cual indica que la mezcla de compuestos y el aislado de soya no provocaron cambios visuales perceptibles que afectaran la aceptación. Esto es importante, considerando que el color es uno de los atributos más críticos para la aceptación inicial de productos mínimamente procesados (Deliza y MacFie, 1996). Para el día 60 las muestras a base de aislado de soya y la mezcla de componentes fueron superiores a las muestras impregnadas con agua (me gusta poco) habiendo una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

En términos de sabor y textura en el día 0 las formulaciones también recibieron puntuaciones similares (ni me gusta ni me disgusta), lo que indica que la incorporación de componentes funcionales como la inulina y el mucílago no alteró la percepción sensorial negativa del alimento. Este resultado concuerda con estudios previos que reportan que componentes como la inulina pueden integrarse en alimentos sin afectar negativamente el sabor o la sensación en boca (Niness, 1999). En el día 60, el sabor de las rodajas para las tres muestras presenta una ligera preferencia aquellas que fueron impregnadas con agua, sin embargo, no presentan diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), lo cual sugiere que el sabor en general fue aceptable entre las muestras (me gusta poco). Para el atributo de textura, se observó una aceptación uniforme entre las tres muestras evaluadas (me gusta poco). Estos resultados refuerzan la idea de que la textura de las muestras no presenta diferencias sensoriales significativas que puedan influir en la preferencia del consumidor a pesar del almacenamiento.

Finalmente, la aceptación general en el día 0 fue similar entre las muestras (ni me gusta ni me disgusta), lo que sugiere que la combinación propuesta tiene un potencial viable para las rodajas de plátano, sin comprometer la calidad sensorial desde el punto de vista del consumidor. Para el día 60, la aceptación general refleja un comportamiento similar (me gusta poco) entre las muestras evaluadas con diferencias estadísticamente no significativas ( $p < 0.05$ ). Esto sugiere que las tres formulaciones fueron percibidas como equivalentes en términos de aceptación general.

En un estudio realizado por Sousa *et al.*, (2006) evaluaron la aceptabilidad general de muestras de plátano deshidratado, evaluando a 52 consumidores utilizando una escala hedónica de 9 puntos, siendo 1 “me disgustó muchísimo” y 9 “me gustó muchísimo”. En los resultados se puede observar que la mayoría de los consumidores calificaron con un 6 “me gusta ligeramente” las muestras evaluadas, comparando con este estudio, los resultados obtenidos fueron favorables. Por otra parte, en un estudio realizado por Rani *et al.*, (2021) hicieron un deshidratado de okra, también conocida como quimbombó, gombo o quingombó, la cual es una verdura de color verde parecido a un pimiento verde. Ellos hicieron una evaluación sensorial con panelistas semi entrenados, evaluando atributos como apariencia, color, textura y sabor a okra deshidratado a diferentes tiempos de almacenamiento, utilizando una escala hedónica de 9 puntos. Los autores obtuvieron valores de 8 (me gusta mucho) para

el color, 8 para la textura, 8 para el sabor, 8 para la aceptación general y 8 para la apariencia a los 2 meses de almacenamiento.

**Tabla 7.** Evaluación sensorial 0 y 60 días.

Sistema	Almacenamiento					
	(días)	Olor	Color	Sabor	Textura	Aceptación general
1	0	4.86 ± 1.26 <sup>a</sup>	4.86 ± 1.30 <sup>a</sup>	4.95 ± 1.50 <sup>a</sup>	4.74 ± 1.46 <sup>a</sup>	4.96 ± 1.29 <sup>a</sup>
	60	3.43 ± 1.13 <sup>b</sup>	3.50 ± 1.19 <sup>b</sup>	3.21 ± 1.56 <sup>b</sup>	3.42 ± 1.40 <sup>b</sup>	3.12 ± 1.31 <sup>b</sup>
5	0	4.82 ± 1.14 <sup>a</sup>	4.75 ± 1.14 <sup>a</sup>	4.85 ± 1.31 <sup>a</sup>	4.46 ± 1.25 <sup>a</sup>	4.96 ± 1.03 <sup>a</sup>
	60	3.42 ± 0.97 <sup>b</sup>	3.57 ± 1.20 <sup>b</sup>	3.18 ± 1.38 <sup>b</sup>	3.43 ± 1.35 <sup>b</sup>	3.12 ± 1.57 <sup>b</sup>
7	0	4.97 ± 1.07 <sup>a</sup>	4.81 ± 1.26 <sup>a</sup>	5.18 ± 1.20 <sup>a</sup>	4.56 ± 1.30 <sup>a</sup>	5.05 ± 1.84 <sup>a</sup>
	60	3.38 ± 1.09 <sup>b</sup>	3.04 ± 1.10 <sup>b</sup>	3.35 ± 1.50 <sup>b</sup>	3.39 ± 1.42 <sup>b</sup>	3.25 ± 1.24 <sup>b</sup>

Promedio ± desviación estándar. Subíndices de letras diferentes por día indican diferencia estadística significativa  $p < 0.05$  respecto al almacenamiento.

## 10. CONCLUSIONES

- El polvo de granada es un producto con altos valores antioxidantes.
- En las formulaciones desarrolladas para realizar los sistemas fermentativos fue posible demostrar que los probióticos pueden fermentar en sistemas a base de aislado de soya, extracto de granada, inulina y mucílago de linaza, sin embargo, las mezclas de todos estos compuestos hicieron posible la supervivencia de los probióticos.
- El tiempo de deshidratación en rodajas de plátano aumenta con tiempos más prolongados de impregnación, ya que tiempos más largos introducen más humedad en el interior del plátano. Además, no hay diferencia significativa con el recuento de probióticos entre 1 y 10 min de impregnación, por lo que con 1 min fue posible impregnar los compuestos bioactivos, antioxidantes y probióticos sin utilizar más de 5 h para volver a deshidratar las rodajas de plátano.
- Fue posible mantener la supervivencia de los probióticos en todos los sistemas durante el almacenamiento.
- El sistema 5 presentó mayor estabilidad, obteniendo una población de  $1 \times 10^7$  UFC/g, siendo que con una pequeña porción de plátanos deshidratados (aproximadamente 10 g) es posible alcanzar la ingesta diaria recomendada de probióticos.
- Las rodajas de plátano presentaron una disminución de actividad de agua desde el día 0 hasta el día 60 de almacenamiento, esto indica un efecto positivo del almacenamiento en la reducción de la actividad enzimática y el riesgo microbiano.
- En general la aceptación sensorial de las rodajas de plátano después de 60 días de almacenamiento fue buena, concluyendo que el almacenamiento no afectó las percepciones sensoriales de las rodajas de plátano.

## 11. RECOMENDACIONES

- Realizar una simulación gastrointestinal para evaluar la viabilidad de las bacterias ácido lácticas
- Realizar estudios “*in vivo*” para probar las rodajas de plátano impregnadas y ver el efecto que pudieran tener en enfermedades como la Diabetes mellitus, pues es la segunda enfermedad que causa muertes en México.
- Utilizar otras matrices alimentarias que estén disponibles todo el año, para ver si pudieran ser viables como el plátano e impregnarlas con el sistema que presentó mejores resultados.

## 12. REFERENCIAS

1. Abdel-Ghany, T.M., Ganash, M., Alawlaqi, M.M. y Al-Rajhi., A. (2019). *Antioxidant, antitumor, antimicrobial activities evaluation of Musa paradisiaca L. pseudostem exudate cultivated in Saudi Arabia*. Bio Nano Science, 9, 172-178.
2. Acevedo, S. A., Carrillo, Á. J. D, López, E. F. y Grande-Tovar, C. D. (2023). *Recovery of banana waste-loss from production and processing: a contribution to a circular economy*. Molecules, 26(17), 5282–5313.
3. Aguirre-García, M., Hernández-Carranza, P., Cortés-Zavaleta, O., Ruíz-Espinosa, H., Ochoa-Velasco, C. E. y Ruiz-López, I. I. (2020). *Mass transfer analysis of bioactive compounds in apple wedges impregnated with beetroot juice: A 3D modelling approach*. Journal of Food Engineering, 282, 110003.
4. Akbarpour, V., Hemmati, K. y Sharifani, M. (2009). *Physical and chemical properties of pomegranate (Punica granatum L.) fruit in maturation stage*. Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 6 (4), 411-416.
5. Akl, E.M., Abdelhamid, S.M., Wagdy, S.M. y Salama, H.H. (2020). *Manufacture of functional fat-free cream cheese fortified with probiotic bacteria and flaxseed mucilage as a fat replacing agent*. Nutrition and Food Science, 16, 1393-1403.
6. Aparicio-Fernández, X., Vega-Ahuatzin, A., Ochoa-Velasco, C. E., Cid-Pérez, S., Hernández-Carranza, P., y Ávila-Sosa, R. (2018). *Physical and antioxidant characterization of edible films added with red prickly pear (Opuntia ficus-indica L.) cv. San Martín peel and/or its aqueous extracts*. Food and Bioprocess Technology, 11, 368–379.
7. Archana, A. y Lekshmi, G. (2019). *Mass transfer characters during osmo dehydration of red banana (Musa spp.)*. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8 (4), 2924-29-28.
8. Arias, J., Quispe, M. y Arcata-Maquera, E. (2024). *Perspectivas en el desarrollo y consumo de alimentos funcionales y su promoción en la salud: una revisión de alcance*. Ingeniería Investiga, 6, 2708-3039.
9. Asoso, O., Akharaiyi, F.C. y Animba, L. (2016). *Antibacterial activities of plain (Musa paradisiaca) peel and fruit*. Der Pharmacia Lettre, 8, 5-11.

10. Asuquo, E.G. y Udobi, C.E. (2016). *Antibacterial and toxicity studies of the ethanol extract of Musa paradisiaca leaf*. Cogent Biology, 2, 121-130.
11. Bakowska-Barczak, A.M. (2005). *Acylated anthocyanins as stable, natural food colorants – a review*. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 14 (2), 107-116.
12. Barnes, L.L., Dhana, K., Liu, X., Carey, V.J., Ventrelle, J., Johnson, K., Hollings, C.S., Bishop, L., Laranjo, N. y Stubbs, B.J. (2023). *Trial of the MIND diet for prevention of cognitive decline in older persons*. The New England Journal of Medicine, 389, 602-611.
13. Barreto, T. y Faria, M. (2019). *Production, physical, chemical and sensory evaluation of dried banana (Musa Cavendish)*. Emirates Journal of Food and Agriculture, 31 (2), 102-108.
14. Bellary, A.N., Indiramma, A.R., Prakash, M., Sowbhagya, H.B. y Rastogi, N.K. (2017). *Effect of storage conditions and packaging materials on quality parameters of curcuminoids impregnated coconut and raw banana slices*. Journal of Food Processing and Preservation, 41, 1-10.
15. Bellary, A.N. y Rastogi, N.K. (2016). *Ways and means for the infusion of bioactive constituents in solid foods*. Food Science and Nutrition, 56, 1126-1145.
16. Bhushan, S., Kalia, K., Sharma, M., Singh, B. y Ahuja, P. S. (2008). *Processing of apple pomace for bioactive molecules*. Critical Reviews in Biotechnology, 28, 285–296.
17. Brown, L., Caligiuri, S., Brown, D. y Pierce, G. (2018). *Clinical trials using functional foods provide unique challenges*. Functional Foods, 45, 38-233.
18. Byakika, S., Mukisa, I.M., Byaruhanga, Y.B. y Muyanja, C. (2019). *A review of criteria and methods for evaluating the probiotic potential of microorganisms*. Food Reviews International, 35, 427–466.
19. Cai, Y., Luo, Q., Sun, M. y Corke, H. (2006). *Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer*. Life Sciences, 74(17), 2157-2184.
20. Carreño, J., Pérez, Z., Pérez, E., Paéz, G. y Araujo, K. (2015). *Evaluación fisicoquímica y fitoquímica de granada (Punica granatum L.)*. Revista Tecnocientífica URU, 6, 47-55.

21. Carrillo-Carrillo, M., Castorena-Alemán, J., García-Jiménez, F. y García-González, J. (2019). *Dehydration of banana (Musa paradisiaca) by means of solar radiation in a direct dryer*. Revista de Sistemas Experimentales, 6 (19), 19-23.
22. Castañeda-Ovando, A., De Lourdes Pacheco-Hernández, M., Páez-Hernández, M.E. Rodríguez, J.A. y Galán-Vidal, C.A. (2009). *Chemical studies of anthocyanins: a review*. Food Chemistry, 113 (4), 859-871.
23. Cereceres-Aragón, A., Rodrigo-García, J., Álvarez-Parrilla, E. y Rodríguez-Tadeo, A. (2019). *Consumption of phenolic compounds in the elderly population*. Nutrición Hospitalaria, 36(2), 470-478.
24. Chala, K. y Yetenayet, T. (2018). *Assessment of banana fruit handling practices and associated fungal pathogens in Jimma town market, southwest Ethiopia*. Food Science and Nutrition, 6, 609–616.
25. Cook, N. y Samman, S. (2016). *Chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources*. Journal of Nutritional Biochemistry, 7, 66-76.
26. Correa, M., Mesomo, M.C., Pianoski, K.E., Torres, Y.R. y Corazza, M.L. (2016). *Extract of inflorescences of Musa paradisiaca L. using supercritical CO<sub>2</sub> and compressed propane*. The Journal of Supercritical Fluids, 113, 128-135.
27. Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M. y Mattei, J. (2018). *The role of polyphenols in human health and food systems: a mini-review*. Frontiers in Nutrition, 5, 81-87.
28. Darbandi, A., Asadi, A., Ari, M.M., Ohadi, E., Talebi, M., Zadeh, M.H., Emamie, A.D., Ghanavati, R. y Kakanj, M. (2021). *Bacteriocins: properties and potential use as antimicrobials*. Journal of Clinical Laboratory Analysis, 36, 24-32.
29. Daun, J., Barthet, V., Chornick, T. y Duguid, S. (2003). *Structure, composition, and variety development of flaxseed*. Flaxseed in Human Nutrition, 2, 1-40.
30. Dávalos, A., Gómez-Cordovéz, C. y Bartolomé, B. (2004). *Extending applicability of the oxygen radical absorbance capacity (ORAC-Fluorescein) assay*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52(1), 48-54.
31. Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S.J., Berenjian, A. y Ghasemi, Y. (2019). *Prebiotics: definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications*. Foods, 8, 92.

32. De las Cagigas, A. y Blanco, J. (2012). *Prebióticos y Probióticos, una relación beneficiosa*. Revista Cubana de Alimentación y Nutrición, 16(1), 8-63.
33. Deliza, R., y MacFie, H.J.H. (1996). *The generation of sensory expectation by external cues and its effect on sensory perception and hedonic ratings: A review*. Journal of Sensory Studies, 11 (2), 103-128.
34. Derakhshan, Z., Ferrante, M., Tadi, M., Ansari, F., Heydari, A., Hosseini, M., Conti, G. y Sadrabad, E. (2018). *Antioxidant activity and total phenolic content of ethanolic extract of pomegranate peels, juice and seeds*. Food and Chemical Toxicology, 114, 108–111.
35. Diawara, M., Boukhers, I., Portet, K., Duchamp, O., Morel, S., Boudard, F., Traore, L., Michel, A., Dhuique, C. y Poucheret, P. (2023). *Comparative evaluation of the antioxidant and anti-inflammatory properties of Musa cavendish and Musa paradisiaca pulp and peel extracts from Guinea*. Journal of Drug Delivery and Therapeutics, 13 (8), 18-28.
36. Dirección General de Normas. (1986). *Alimentos-Determinación de humedad en productos alimenticios (NMX-F-083-1986)*. Diario Oficial de la Federación.
37. El-Aziz, M.A., Haggag, H.F., Kaluoubi, M.M., Hassan, L.K., El-Sayed, M.M. y Sayed, A.F. (2015). *Physical properties of ice cream containing cress seed and flaxseed mucilages compared with comercial guar gum*. International Journal of Dairy Science, 10, 160-172.
38. Fawole, O.A., y Opara, U.L (2016). *Stability of total phenolic concentration and antioxidant capacity of extracts from pomegranate co-products subjected to in vitro digestión*. BMC Complementary and Alternative Medicine, 16 (1), 358.
39. Fekete, M., Lehoczki, A., Kryczyk-Poprawa, A., Zábó, V., Tamás Varga, J., Bálint, M., Fazekas-Pongor, V., Csípö, T., Rzasa-Duran, E. y Varga, P. (2025). *Functional food in modern nutrition science: mechanisms, evidence and public health implications*. Nutrients, 17, 2153.
40. Feng, P., Zhao, S., Zhang, Y. y Li, E. (2023). *A review of probiotics in the treatment of autism spectrum disorders: perspectives from the gut–brain axis*. Frontiers in Microbiology, 14, 11-23.

41. Fernandes, I., Faria, A., Calhau, C., de Freitas, V. y Mateus, N. (2014). *Bioavailability of anthocyanins and derivatives*. Journal of Functional Foods, 7, 54–66.
42. Figuerola, F., Muñoz, O. y Estévez, A. (2008). *La linaza como fuente de compuestos bioactivos para la elaboración de alimentos*. Agro Sur, 36 (2), 49-58.
43. Fijan, S. (2014). *Microorganisms with claimed probiotic properties: An overview of recent literature*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 11, 4745–4767.
44. Flores-Andrade, E., Rascón, M.P., Huerta-Vera, K., Pascual-Pineda, L.A., Contreras-Oliva, A., Castillo-Morales, M., Bonilla, E. y González-Morales, I. (2018). *Osmotic dehydration assisted impregnation of Lactobacillus rhamnosus in banana and effect of water activity on the storage stability of probiotic in the freeze-dried product*. Food Science and Technology, 92, 490-496.
45. Gao, X., Ohlander, M., Jeppsson, N., Bjork, L., y Traljkovski, V. (2004). Changes in antioxidant effects and their relationship to phytonutrients in fruits of sea L., (*Hippophae rhamnoides* L) during maturation Buckthorn. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48, 1485-1490.
46. Gibson, G.R., Hutkins, R., Sanders, M.E., Prescott, S.L., Reimer, R.A., Salminen, S.J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K.S., Cani, P.D. y Verbeke, K. (2017). *Expert consensus document: the International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics*. Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology, 14, 491-502.
47. Girardin, M. y Seidman, E.G. (2011). *Indications for the use of probiotics in gastrointestinal diseases*. Journal of Internal Medicine, 29,574-587.
48. Granato, D., Barba, F., Kovacevic, D., Lorenzo, J., Cruz, A. y Putnik, P. (2020). *Functional foods: product development, technological trends, efficacy testing, and safety*. Annual Review of Food Science and Technology, 11, 93-118.
49. Hall, C., Tulbek, M. y Xu, Y. (2006). *Flaxseed*. Advances in Food and Nutrition Research, 51, 2-99.
50. He, J. y Giusti, M.M. (2010). *Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties*. Food Science and Technology, 1, 87-163.

51. Hernández-Carranza, P., Avila-Zarco, K.C., Beristain-Bauza, S.C., Ramírez-López, C., Ruiz-López, I.I. y Ochoa-Velasco, C.E. (2025). *Evaluation of antioxidant-rich fruit extracts to improve the bioactive compounds of apple slices*. *Neutraceuticals*, 5, 18.
52. Hernández-Carranza, P., Fierro-Corona, G., Tapia-Maruri, D., Ruiz-Martínez, I., Ávila-Reyes, S.V., Ruiz-López, I.I. y Ochoa-Velasco, C.E. (2023). *Bioactive edible films based on LAB-Fermented whey solution and potato starch: chracterization and storage behavior*. *Food and Bioprocess Technology*, 16, 3045-3056.
53. Hernández-Carranza, P., Heredia-Soberanes, K., Ruiz-López, I. I. y Ochoa-Velasco, C. E. (2022). *Effect of impregnation-osmodehydration with Hibiscus sabdariffa extracts on the bioactive compounds and sensory acceptance of apple wedges: Fresh, convective dried, and stored*. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, e17110.
54. Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G.R., Merenstein, D.J., Pot, B. Morelli, L., Canani, R., Flint, H.J., Salminen, S., Calder, P. y Sanders, M.E. (2014) *The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic*. *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*, 11, 506-514.
55. Hill, C., Tancredi, D.J., Cifelli, C.J., Slavin, J.L., Gahche, J., Marco, M.L., Hutkins, R., Fulgoni, V.L., Merenstein, D. Sanders, M.E. (2023). *Positive health outcomes associated with live microbe intake from foods, including fermented foods, assessed using the NHANES database*. *The Journal of Nutrition*, 153, 1143-1149.
56. Hinojosa-Gómez, J., Martín-Hernández, C., Heredia, J., León-Félix, J., Osuna-Enciso, T. y Muy-Rangel, M. (2020). *Anthocyanin induction by drought stress in the calyx of roselle cultivars*. *Molecules*, 25, 155-165.
57. Hosry, L., Bou-Mitri, C., Bou, M., Abou, M., Farhat, A., Hayek, J., Bou, J. y Bou-Maroun, E. (2023). *Phytochemical composition, biological activities and antioxidant potential of pomegranate fruit, juice and molasses: A review*. *Food Bioscience*, 55, 103-134.
58. Huerta-Vera, K., Flores-Andrade, E., Contreras-Oliva, A., Villegas-Monter, A., Chavez-Franco, S., Arévalo-Galarza, M.L. (2023). *Incorporation of bioactive*

- compounds in fruit and vegetables products through osmotic dehydration: a review.* Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 14, e2936.
59. Hur, S.J., Lee, S.Y., Kim, Y.C. Choi, I. y Kim, G.B. (2014). *Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods.* Food Chemistry, 160, 346-356.
60. Islam, S.U. (2016). *Clinical uses of probiotics.* Medicine (Baltimore), 4, 95-105.
61. Jiménez-Hernández, J., Estrada-Bahena, E.B., Maldonado-Astudillo, Y.I., Talavera-Mendoza, O., Arámbula-Villa. G. y Azuara, E. (2017). *Osmotic dehydration of mango with impregnation of inulin and piquin-pepper oleoresin.* Food Science and Technology, 79, 609-615.
62. Jones, K. H. y Senft, J. A. (1985). *An improved method to determine cell viability by simultaneous staining with fluorescein diacetate propidium iodide.* The Journal of Histochemistry and Cytochemistry, 33, 77-79.
63. Julian-Loeza, A.P., Santos-Sánchez, N.F., Valadez-Blanco, R., Sánchez-Guzmán, B.S. y Salas-Coronado, R. (2011). *Chemical composition, color, and antioxidant activity of the three varieties of Annona diversifolia Safford fruits.* Industrial Crops and Products, 34, 1262-1268.
64. Kanniappan, N., Roy, A., Ganapathy, D. y Sheeba, P. (2018). *Plant remedies for peptic ulcer.* Journal of Pharmacy Research, 12, 25-29.
65. Kharchoufi, S., Licciardello, F., Siracusa, L., Muratore, G., Hamdi, M. y Restuccia, C. (2018). *Antimicrobial and antioxidant features of 'Gabsi' pomegranate peel extracts.* Industrial Crops and Products, 111, 345-352.
66. Khoo, H., Azlan, A., Tang, S. y Lim, S. (2017). *Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits.* Food & Nutrition, 61, 136-177.
67. Khoozani, A., Birch, J. y Bekhit, A. (2019). *Production, application and health effects of banana pulp and peel flour in the food industry.* Journal Food Science Technology, 56 (2), 548-559.
68. Kishk, Y.F.M., Elsheshetawy, H.E. y Mahmoud, E.A.M. (2011). *Influence of isolated flaxseed mucilage as a non-starch polysaccharide on noodle quality.* International Journal of Science Technology, 46, 661-668.

69. Korus, J., Witczak, T., Ziobro, R. y Juszcak, L. (2015). *Linseed (Linum usitatissimum L.) mucilage as a novel structure forming agent in gluten-free bread*. Food Science and Technology, 62, 257-264.
70. Lai, K.W., How, Y.H., Ghazali, H.M. y Pui, L.P. (2021). *Preliminary evaluation of potential prebiotic capacity of selected legumes and seed mucilage on the probiotic strain Lactobacillus rhamnosus GG*. Journal of Molecular Biology and Biotechnology, 29, 60-72.
71. Lansky, E.P. y Newman, R.A. (2007). *Punica granatum (pomegranate) and its potential for prevention and treatment of inflammation and cáncer*. Journal of Ethnopharmacology, 109 (2), 177-206.
72. Lee, D.S. y Robertson, G.L. (2022). *Shelf-life estimation of packaged dried foods as affected by choice of moisture sorption isotherm models*. Journal of Food Processing and Preservation, 46(3).
73. Li, L., Ma, P., Nirasawa, S. y Liu, H. (2024). *Formation, immunomodulatory activities and enhancement of glucosinolates and sulforaphane in broccoli sprouts: a review for maximizing the health benefits to human*. Food Science and Nutrition, 64, 7118-7148.
74. López-Malo, A. y Palou, E. (2021). *Influence of water activity on microbial stability*. Water activity in foods: Fundamentals and applications, 69-94.
75. Louis, P., Flint, H.J. y Michel, C. (2016). *How to manipulate the microbiota: prebiotics*. Advances in Experimental Medicine and Biology, 902, 119-142.
76. Luna, A. (2006). *Valor nutritivo de la proteína de soya*. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 14 (36), 29-34.
77. Luna-Guevara, M.L., Jiménez- González, O., Luna- Guevara, J.J., Hernández-Carranza, P. y Ochoa-Velasco, C.E. (2014). *Quality parameters and bioactive compounds of red tomatoes (Solanum lycopersicum L.) cv Roma VF at different postharvest conditions*. Journal of Food Research, 3, 8-18.
78. Lorenc, F., Jarošová, M. y Bedrníček, J. (2023). *Recent trends in food and dietary applications of flaxseed mucilage: a mini review*. International Journal of Food Science and Technology, 59 (4), 2111-2121.

79. Ma, T., Shen, X., Shi, X., Sakandar, H., Quan, K., Li, Y., Jin, H., Kwok, L., Zhang, H. y Sun, Z. (2023). *Targeting gut microbiota and metabolism as the major probiotic mechanism. An evidence-based review*. Trends Food Science Technology, 138, 178–198.
80. MacFarlane, S., MacFarlane, G.T. y Cummings J.H. (2006). *Prebiotics in the gastrointestinal tract*. Alimentary Pharmacology and Therapeutics, 24, 701-714.
81. Mateos-Aparicio, I., Redondo-Cuenca, A., Villanueva-Suárez, M. y Zapata-Revilla, M. (2008). *La soja, una fuente prometedora para la salud*. Nutrición Hospitalaria, 23 (4), 305-312.
82. Mazziotta, C., Tognon, M., Martini, F., Torreggiani, E. y Rotondo, J.C. (2023). *Probiotics mechanism of action on immune cells and beneficial effects on human health*. Cells, 12 (1), 184-192.
83. Meier, R. y Gassull, M.A. (2004). *Consensus recommendations on the effects and benefits of fibre in clinical practice*. Clinical Nutrition Supplements, 1, 73-80.
84. Merecz-Sadowka, A., Sitarek, P., Kowalczyk, T., Zajdel, K., Jecek, M., Pawel, N. y Zajdel, R. (2023). *Food anthocyanins: Malvidin and its glycosides as promising antioxidant and anti-inflammatory agents with potential health benefits*. Nutrients, 15, 2-25.
85. Mustafa, C., Yasar, H. y Durmaz, G. (2008). *Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measure by four methods*. Food Chemistry, 112 (3), 721-726.
86. Negash, A.W. y Tsehai, B.A. (2020). *Current applications of bacteriocin*. International Journal of Microbiology, 2, 437-442.
87. Niness, K.R. (1999). *Inulin and oligofructose: What are they?* The Journal of Nutrition, 129 (7), 1402-1406.
88. Nirumand, M.c., Hajialyani, M., Rahimi, R., Farzaei, M.H., Zingue, S., Nabavi, S.M. y Bish-Ayee, A. (2018). *Dietary plants for the prevention and management of kidney stones: preclinical and clinical evidence and molecular mechanisms*. International Journal of Molecular Sciences, 19 (3), 765-771.
89. Niyibituronsa, M., Onyango, A., Gaidashova, S., Imathiu, S., Boevre, M., Leenknecht, D., Saeger, S., Vermeir, P. y Raes, K. *The growth of different probiotic*

- microorganisms in soymilk from different soybean varieties and their effects on anti-oxidant activity and oligosaccharide content.* Journal of Food Research, 8 (1), 41-51.
90. Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994, Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos.
91. Nuñez, H., Retamal, R., Jaques, A., Pinto, M., Valencia, P., Valdenegro, M., Ramirez, C., Almonacid, S. y Córdova, A. (2025). *Impact of advanced impregnation technologies on the bioactivity, bioaccessibility, and quality of a hydrolyzed collagen-enriched apple snack.* Foods, 14, 817.
92. Oliveira, G. y González, I. (2007). *Probióticos y prebióticos en la práctica clínica,* Nutrición Hospitalaria, 22, 26-34.
93. Omer, H., Abdel-Magid, S. y Awadalla, I. (2019). *Nutritional and chemical evaluation of dried pomegranate (Punica granatum L.) peels and studying the impact of level of inclusion in ration formulation on productive performance of growing Ossimi lambs.* Bulletin of the National Research Centre, 43, 1–10.
94. OMS. (2022). *Non communicable diseases.*
95. Panche, A.N., Diwan, A.D. y Chandra, S.R. (2016). *Flavonoids: An overview.* Journal of Nutritional Science, 5, e47.
96. Puligundla, P. y Lim, S. (2022). *A review of extraction techniques and food applications of flaxseed mucilage.* Foods, 11, 1677.
97. Quiceno, M., Giraldo, G. y Villamizar, R. (2014). *Physical-chemical characterization of plain (Musa paradisiaca sp. AAB, Simmonds) for industrialization.* UGCiencia, 20, 48-54.
98. Quitral, V., Torres, M., Velásquez, M. y Bobadilla, M. (2018). *Inulin effect in human satiety.* Perspectivas en Nutrición Humana, 20 (1), 79-89.
99. Ramos-Morales, M., Aguirre-García, M., Cortés-Zavaleta, O., Ruiz-Espinosa, H., Estévez-Sánchez, K., Ochoa-Velasco, C.E. y Ruiz-López, I.I. (2024). *Improving the bioactive content in honeydew melon by impregnation with Hibiscus extract/sucrose solutions: a coupled mass transfer analysis.* Food and Bioproducts Processing, 144, 1-12.

100. Rani, J., Shelke A.R., Bansal, B. y Gautam, V. (2021). *Effect of processing and storage on the physicochemical composition and quality of fresh, canned and dehydrated okra fruits*. *Materials Today: Proceedings*, 45, 4410-4416.
101. Ranjitha, J., Bhuvaneshwari, G., Terdal, D. y Kavya, K. (2018). *Nutritional composition of fresh pomegranate peel powder*. *International Journal of Chemical Studies*, 6 (4), 692-696.
102. Reyes, L.F. y Cisneros-Zevallos, L. (2007). *Electron-beam ionizing radiation stress effects on mango fruit (*Mangifera indica* L.). Antioxidant constituents before and during postharvest storage*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 6132-6139.
103. Rodgers, S. (2016). *Minimally processed functional foods: technological and operational pathways*. *Food Science*, 81 (10) 472-481.
104. Rodríguez-Campos, S.V., Hernández-Carranza, P., Ávila-Sosa, R., Ruiz-López, I.I., y Ochoa-Velasco, C.E. (2022). *Effect of natural extracts addition on antioxidant, color, and sensory properties of avocado (*Persea americana* cv. criollo sp.) puree*. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 2623–2634.
105. Saier, M.H. y Mansour, J.N.M. (2005). *Probiotics and prebiotics in human health*. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*, 10, 22-25.
106. Sánchez-Maldonado, A.F., Schieber, A. y Gänzle, M.G. (2020). *Antimicrobial activity of phenolic acids against *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* is mediated by disruption of the outer membrane*. *International Journal of Food Microbiology*, 144 (1), 118-125.
107. Sandilova, E., Stintzing, F.C. y Carle, R. (2006). *Thermal degradation of acylated and nonacylated anthocyanins*. *Journal of Food Science*, 71 (8) C504-C512.
108. Saravanan, K. y Aradhya, S. (2011). *Polyphenols of pseudostem of different banana cultivars and their antioxidant activities*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 3613-3623.
109. Saubenova, M., Oleinikova, Y., Rapoport, A., Maksimovich, S., Yermekbay, Z. y Khamedova, E. (2024). *Bioactive peptides derivated from whey proteins for health and functional beverages*, *Fermentation*, 10, 359.

110. Sáyago-Ayerdi, S.G., Arranz, S., Serrano, J. y Goñi, I. (2021). *Dietary fiber content and associated antioxidant compounds in Roselle (Hibiscus sabdariffa L.) products*. Food Chemistry, 365, 130509.
111. Sebastian, J. (2017). *Revisión del papel de los probióticos en la patología gastrointestinal del adulto*. Gastroenterología y Hepatología, 40 (6), 417-429.
112. Shahidi, F. y Ambigaipalan, P. (2015). *Phenolic and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects-A review*. Journal of Functional Foods, 18, 820-897.
113. Shamla, L. y Nisha, P. (2017). *Acrylamide formation in plantain (Musa paradisiaca) chips influenced by different ripening stages: a correlation study with respect reducing sugars, amino acids and phenolic content*. Food Chemistry, 222, 53.60.
114. Shao, Y., Hu, Z. y Yang, J. (2015). *Encapsulation of anthocyanins in polysaccharide-based matrices and its application in food products: a review*. Food Hydrocolloids, 51, 437-445.
115. Shruthi, D. (2018). *Medicinal uses of banana (Musa paradisiaca)*. Drug Invention Today, 12, 104-107.
116. Shukla, A., Shukla, R.S. Das, C. y Goud, V.V. (2019). *Gingerols infusion and multi-step process optimization for enhancement of color, sensory and functional profiles of candied mango*. Food Chemistry, 300, 125195.
117. Sigurdson, G., Tang, P. y Giusti, M. (2018). *Cis-Trans configuration of coumaric acid acylation affects the spectral and colorimetric properties of anthocyanins*. Molecules, 23, 598.
118. Singh, B., Singh, J.P., Kaur, A. y Singh, N. (2016). *Bioactive compounds in banana and their associated health benefits-a review*. Food Chemistry, 206, 1-11.
119. Soccol, C.R., Rosa, M. y Prado, M. (2014). *Probiotics for oral and vulvovaginal candidiasis*. Journal of Microbial and Biochemical Technology, 7, 11-20.
120. Sousa, W.A., Pitombo, R.N.M., Da Silva, M.A.A.P. y Marsaioli, Jr. A. (2006). *Sensory evaluation of dried bananas obtained from air dehydration assisted by*

- microwaves*. *Advances in Microwaver and Radio Frequency Processing*, 3 (7), 289-302.
121. Sullivan, A. y Seidman, E.G. (2005). *Probiotics and gastrointestinal diseases*. *Journal of Internal Medicine*, 257, 78-92.
122. Suri, K., Singh, B., Kaur, A., Yadav, M.P. y Singh, N. (2020). *Influence of microwave roasting on chemical composition, oxidative stability and fatty acid composition of flaxseed (*Linum usitatissimum L.*) oil*. *Food Chemistry*, 326, 126974.
123. Tripathi, M.K. y Giri, S.K. (2014). *Probiotic functional foods: survival of probiotics during processing and storage*. *Journal of Functional Foods*, 9, 225-241.
124. Tufail, T., Basharat, S., Ijaz, A., Ain, H., Abid, F., Azhar, S., Sharif, M., Iftikhar, F., Nisar, T., Noreen, S. y Sikander, S. (2020). *Nutritional and physicochemical characterization of soymilk*. *International Journal of Biosciences*, 16 (5), 256-264.
125. Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L., Rodríguez, A. y Stucken, K. (2018). *Drying kinetics of probiotic-impregnated murta (*Ugni molinae T.*) berries*. *Journal of Food Science and Technology*, 56 (1), 103-113.
126. Vijayakumar, S. Presanna, K. y Vijayalakshmi, N.R. (2017). *Therapeutic effects of gold nanoparticles synthesized using *Musa paradisiaca* peel extract against multiple antibiotic resistant *Enterococcus faecalis* biofilms and human lung cancer cells*. *Microbial Pathogenesis*, 102, 173-183.
127. Vilaplana, M. (2007). *Antioxidantes presentes en los alimentos. Vitaminas, minerales y suplementos*. *Ambito Farmaceutico Nutrición*, 26(10), 79-86.
128. Villa-Uvidia, D., Osorio-Rivera, M. y Villacis-Venegas, N. (2020). *Extracción, propiedades y beneficios de los mucílago*s. *Dominio de las Ciencias*, 6 (2), 503-524.
129. Vu, H.T., Scarlett, C.J. y Vuong, Q.V. (2018). *Phenolic compounds within banana peel and their potential uses: a review*. *Journal of Functional Foods*, 40, 238-248.
130. Xu, X., Hellebois, T., Fortuin, J., Shaplov, A.S., Gaiani, C. y Soukoulis, C. (2020). *Structure conformation, physicochemical and reological properties of*

- flaxseed gums extracted under alkaline and acidic conditions*. International Journal of Biological Macromolecules, 192, 1217-1230.
131. Yadav, M.K., Kumari, I., Singh, B., Sharma, K.K. y Tiwari, S.K. (2022). *Probiotics, prebiotics and synbiotics: safe options for next-generation therapeutics*. Applied Microbiology and Biotechnology, 106, 505–521.
  132. Yang, J.S., Kim, J., Hahn, J. y Choi, Y.J. (2021). *Development of flaxseed gum/konjac glucomannan with agar as gelling agents with enhanced elastic properties*. Food Science Biotechnology, 32 (2), 181-192.
  133. Yang, K., Xu, R., Xu, X. y Guo, Q. (2022). *Role of flaxseed gum and whey protein microparticles in formulating low-fat model mayonnaises*. Foods, 11, 282.
  134. Yang, X., Feng, M.Q., Sun, J., Xu, X.L. y Zhou, G.H. (2017). *The influence of flaxseed gum on the retrogradation of maize starch*. International Journal of Food Science and Technology, 52, 2654-2660.
  135. Ye, Q., Georges, N. y Selomulya, C. (2018). *Microencapsulation of active ingredients in functional foods: from research stage to comercial food products*. Trends Food Science Technology, 78, 79-167.
  136. Yen, C.H., Tseng, Y.H., Kuo, Y.W., Lee, M.C., Chen y H.L. (2011). *Long-term supplementation of isomalto-oligosaccharides improved colonic microflora profile, bowel function, and blood cholesterol levels in constipated elderly people-a placebo-controlled, diet-controlled trial*. Nutrition, 27, 445-450.
  137. Yilmaz, F.M. y Bilek, S.E. (2017). *Natural colorant enrichment apple tissue with black carrot concéntrate using vacuum impregnation*. International Journal of Food Science and Technology, 52, 1508-1516.
  138. Yusof, N., Hanida, S. y Mat, H. (2023). *Antioxidant and antimicrobial activities of pisang berangan (Musa paradisiaca) pulp and peel extracts*. Journal of Agrobiotechnology, 14 (2), 71-82.
  139. Zendeboodi, F., Khorshidian, N., Mortazavian, A.M. y Da Cruz, A.G. (2020). *Probiotic: conceptualization form a new approach*, 32, 103-123.
  140. Zhang, Z., Li, X., Sang, S., McClements, D.J., Chen, L., Long, J., Jiao, A., Jin, Z. y Qiu, C. (2022). *Polyphenols as plant-based neutraceuticals:health effects, encapsulation, nano-delivery, and application*. Foods, 11, 2189.

141. Zhao, X. y Yuan, Z. (2021). *Anthocyanins from pomegranate (Punica granatum L.) and their role in antioxidant capacities in vitro*. *Chemistry & Biodiversity*, 18, e2100399.