



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Estudio comparativo del efecto del tiempo y medio de maceración rico en probióticos sobre las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de tres matrices vegetales liofilizadas a base de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), papa nativa (*Solanum tuberosum* L.) y zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft)

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previa a la obtención del Título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Jhonatan Paul Quispe Saca

Tutor: Dr. Carlos Santiago Moreno Miranda

Ambato – Ecuador

Julio - 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. Carlos Santiago Moreno Miranda

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 04 de junio del 2026.

Dr. Carlos Santiago Moreno Miranda

18XXXXXX42

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jhonatan Paul Quispe Saca, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Jhonatan Paul Quispe Saca

05XXXXXXX93

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Jhonatan Paul Quispe Saca

05XXXXXXX93

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Presidente del Tribunal

Dra. Jacqueline de las Mercedes Ortiz Escobar

18XXXXXX53

Dra. Liliana Patricia Acurio Arcos

18XXXXXX88

Ambato, 19 de junio de 2026

DEDICATORIA

A Dios, por guiar cada uno de mis pasos, iluminar mi camino y nunca desampararme en los momentos más difíciles. Gracias por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la fe necesarias para seguir adelante, por cuidarme siempre y permitirme convertirme en una mejor persona.

A mi madrecita, Margarita Saca. Gracias por ser la mujer que siempre ha estado a mi lado, por brindarme tu amor incondicional y creer en mí incluso cuando yo dudaba. Gracias por enseñarme a jamás rendirme ante las dificultades, por inculcarme mis valores, la perseverancia, la fe y la fuerza para seguir luchando por mis sueños. Tus consejos, sacrificios y apoyo han sido la guía que me permitió llegar hasta aquí.

A mi querida hermana, Diana Saca. Gracias por nunca dejarme solo, por ser ese lugar seguro al que siempre puedo volver, por acompañarme y apoyarme siempre, incluso en los momentos más difíciles de nuestras vidas. Admiro profundamente tu perseverancia, dedicación y el enorme esfuerzo que haces cada día. Gracias por tus sabios consejos, por creer en mí y recordarme siempre la persona que soy y la que puedo llegar a ser. Tú y mi madre han sido, y siempre serán, los pilares fundamentales de mi vida. A mi sobrinito Mateito, cuya llegada llenó nuestro hogar de más alegría, amor y felicidad. Eres una luz en nuestras vidas y una motivación más para seguir adelante.

También quiero dedicar este logro a mí mismo, por nunca rendirme, por mantenerme firme a pesar de las dificultades y los malos momentos. Gracias por seguir adelante con constancia, perseverancia y fe en mí y mis capacidades, incluso cuando el camino parecía imposible. Todo el esfuerzo realizado durante esta etapa me ha traído hasta aquí, y hoy entiendo que cada sacrificio valió la pena.

Jhonatan Quispe

AGRADECIMIENTO

A mi familia, en especial a mis tíos Fernando, Norma y José, por acompañarme en cada etapa de mi vida, por su apoyo incondicional y por brindarme los ánimos necesarios cuando más los necesitaba. Su apoyo, confianza y cariño han sido una de mis mayores fortalezas a lo largo de este camino. También agradezco a mi padre, Manuel Quispe, por brindarme su apoyo pese a las circunstancias de la vida.

A mis amigos y a todas las personas que conocí durante esta bonita etapa de mi vida, en especial a Fer, Karen, Esthefi, Jos, Lili y Evelin. Agradezco infinitamente su compañía, apoyo y ayuda incondicional a lo largo de este proceso. Gracias por cada momento compartido, por las risas, las salidas, los días felices y también por aquellos momentos difíciles que enfrentamos juntos. Su presencia hizo esta etapa mucho más especial y llevadera. Siempre tendrán un lugar muy especial en mi corazón.

Agradezco a mi tutor Dr. Carlos Moreno por su guía, paciencia y acompañamiento durante este proceso académico. Sus conocimientos y sugerencias fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de este trabajo. Gracias por su apoyo y compromiso a lo largo de este camino.

Finalmente, agradezco a los docentes de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, así como a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a mi formación profesional y personal. Gracias por compartir sus conocimientos, experiencias y enseñanzas, y por dejar una huella positiva en mi vida. Cada aprendizaje y cada experiencia vivida durante esta etapa han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

Jhonatan Quispe

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes de la investigación.....	1
1.1.1. Justificación.....	1
1.1.2. Consumo de alimentos funcionales.....	2
1.1.3. Alimentos de origen vegetal.....	2
1.1.3.1. El camote (<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.).....	2
1.1.3.2. La papa nativa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	4
1.1.3.3. La zanahoria blanca (<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft)	5
1.1.4. Fermentación y microorganismos de interés en alimentos.....	6

1.1.4.1. Fermentación en alimentos	6
1.1.4.2. Bebidas fermentadas	6
1.1.4.3. Probióticos	7
1.1.5. Maceración en alimentos.....	8
1.1.6. Liofilización	9
1.2. Objetivos.....	10
1.2.1. Objetivo general	10
1.2.2. Objetivos específicos.....	10
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....	11
2.1. Materiales	11
2.2. Métodos	11
2.2.1. Analizar el efecto del tiempo y el medio de maceración sobre el pH, color y textura en las matrices vegetales liofilizadas de camote (<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.), papa nativa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) y zanahoria blanca (<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft)	11
2.2.1.1. Diseño experimental	11
2.2.1.2. Obtención de la materia prima	12
2.2.1.3. Acondicionamiento de la materia prima	12
2.2.1.4. Protocolo de maceración de las matrices vegetales	13
2.2.1.5. Procedimiento de liofilización	13
2.2.1.6. Determinación gelatinización del almidón	15
2.2.1.7. Determinación del pH	15
2.2.1.8. Determinación del color.....	15
2.2.1.9. Determinación de textura.....	15

2.2.2. Determinar el mejor tratamiento de cada matriz vegetal mediante un análisis sensorial ...	15
2.2.2.1. Evaluación sensorial	15
2.2.3. Evaluar la viabilidad de microorganismos probióticos y las propiedades fisicoquímicas del mejor tratamiento de cada matriz vegetal.....	16
2.2.3.1. Viabilidad de microorganismos probióticos	16
2.2.3.2. Análisis microbiológicos de calidad e inocuidad.....	16
2.2.3.3. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y nutricionales	17
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
3.1. Análisis y discusión de los resultados	21
3.1.1. Análisis del efecto del tiempo y el medio de maceración sobre el pH, color y textura en las matrices vegetales liofilizadas de camote (<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.), papa nativa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) y zanahoria blanca (<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft).....	21
3.1.1.1. Determinación de la gelatinización del almidón.....	21
3.1.1.2. Análisis del efecto del tiempo y el medio de maceración sobre el pH, color y textura de las matrices vegetales liofilizadas	21
3.1.2. Determinación del mejor tratamiento de cada matriz vegetal mediante un análisis sensorial	27
3.1.3. Evaluación de la viabilidad de microorganismos probióticos y las propiedades fisicoquímicas del mejor tratamiento de cada matriz vegetal	38
3.1.3.1. Propiedades fisicoquímicas de los mejores tratamientos	38
3.1.3.2. Composición proximal de los mejores tratamientos	39
3.1.3.3. Análisis de la viabilidad de microorganismos probióticos	41
3.1.3.4. Análisis de criterios microbiológicos de calidad e inocuidad.....	42
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
4.1 Conclusiones.....	44

4.2 Recomendaciones	44
BIBLIOGRAFÍA.....	45
ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de estudio.....	11
Tabla 2. Tratamientos de estudio	11
Tabla 3. pH de las tres matrices vegetales sometidas a maceración y liofilización	21
Tabla 4. Parámetros de color de las matrices vegetales sometidas a maceración y liofilización.....	23
Tabla 5. Fracturabilidad (N) de las tres matrices vegetales liofilizadas.....	25
Tabla 6. Comparaciones múltiples de los atributos sensoriales en la matriz de camote mediante la prueba de Friedman y Wilcoxon.....	27
Tabla 7. Comparaciones múltiples de los atributos sensoriales en la matriz de papa nativa mediante la prueba de Friedman y Wilcoxon.....	31
Tabla 8. Comparaciones múltiples de los atributos sensoriales en la matriz de zanahoria blanca mediante la prueba de Friedman y Wilcoxon	35
Tabla 9. Contenido de humedad y actividad de agua del tratamiento con mayor aceptación sensorial en cada matriz vegetal.....	38
Tabla 10. Composición proximal del tratamiento con mayor aceptación sensorial en cada matriz vegetal.....	39
Tabla 11. Recuento de bacterias ácido-lácticas en las matrices vegetales liofilizadas	41
Tabla 12. Análisis microbiológicos de calidad y seguridad.....	42
Tabla 13. Lista de recursos materiales empleados en la investigación	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variedades de camote (<i>Ipomoea batatas</i>).	3
Figura 2. Variedades de papa nativa del Ecuador.	4
Figura 3. Zanahoria blanca (<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft).	5
Figura 4. Procedimiento de obtención de las matrices vegetales liofilizadas.	14
Figura 5. Imágenes microscópicas de la gelatinización del almidón en matrices vegetales crudas y escaldadas.	59
Figura 6. Preparación de las matrices vegetales liofilizadas.	59
Figura 7. Análisis del pH, color y textura de las matrices vegetales.	60
Figura 8. Análisis sensorial de las matrices vegetales liofilizadas.	60
Figura 9. Siembra microbiológica de las muestras en placas MicroFast y CompactDry.	60
Figura 10. Viabilidad de microorganismos probióticos (bacterias ácido-lácticas)	61
Figura 11. Análisis microbiológicos de calidad y seguridad.	61
Figura 12. Análisis fisicoquímicos de humedad, actividad de agua y cenizas.	62
Figura 13. Análisis fisicoquímicos de fibra dietética, proteína y grasa (LACONAL).	63

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Lista de recursos materiales empleados en la investigación.....	57
ANEXO 2. Imágenes microscópicas de la gelatinización del almidón en matrices vegetales crudas y escaldadas	58
ANEXO 3. Preparación de las matrices vegetales liofilizadas.....	59
ANEXO 4. Análisis del pH, color y textura de las matrices vegetales.....	60
ANEXO 5. Análisis sensorial de las matrices vegetales liofilizadas.....	60
ANEXO 6. Análisis microbiológico de los mejores tratamientos.....	60
ANEXO 7. Análisis fisicoquímicos de los mejores tratamientos.....	62
ANEXO 8. Hojas de evaluación sensorial.....	64

RESUMEN EJECUTIVO

La creciente demanda de alimentos saludables ha impulsado el interés por tecnologías que mejoren la calidad y funcionalidad de productos vegetales. El presente estudio evaluó la influencia de la maceración previa a la liofilización de camote, papa nativa y zanahoria blanca en kéfir de agua o kombucha durante 48, 96 y 144 horas. La metodología incluyó análisis físicoquímicos, microbiológicos, determinación de la viabilidad de bacterias ácido-lácticas y evaluación sensorial de aceptación de los vegetales evaluados. Los resultados evidenciaron que el tiempo y el medio de maceración influyeron en la disminución del pH, reducción del pardeamiento enzimático y modificaciones favorables en la textura. Sensorialmente, los tratamientos macerados en kéfir de agua presentaron mayor aceptabilidad. En camote y papa nativa destacaron los tratamientos de 144 horas, mientras que en zanahoria blanca sobresalieron los de 48 horas. Los mejores tratamientos presentaron bajos contenidos de humedad y actividad de agua, condiciones que favorecen su estabilidad y conservación. Asimismo, mostraron un perfil nutricional caracterizado por el predominio de carbohidratos y fibra dietética. Microbiológicamente, se garantizó la inocuidad de los productos y se obtuvieron recuentos viables de bacterias ácido-lácticas después de la liofilización. Se concluye que la maceración previa a la liofilización mejora la estabilidad, inocuidad y conservación de bacterias ácido-lácticas en las matrices vegetales evaluadas. Este estudio aporta evidencia sobre la integración de maceración y liofilización como estrategia tecnológica para el desarrollo potencial de alimentos vegetales funcionales.

Palabras claves:

Maceración, probióticos, liofilización, fermentación, camote, papa nativa, zanahoria blanca.

ABSTRACT

The growing demand for healthy foods has driven interest in technologies that improve the quality and functionality of plant products. This study evaluated the influence of maceration prior to freeze-drying of sweet potato, native potato, and white carrot in water kefir or kombucha for 48, 96, and 144 hours. The methodology included physicochemical and microbiological analyses, determination of lactic acid bacteria viability, and sensory evaluation of the vegetables' acceptance. The results showed that maceration time and medium influenced the decrease in pH, reduction of enzymatic browning, and favorable modifications in texture. Sensory-wise, the treatments macerated in water kefir showed greater acceptability. The 144-hour treatments stood out in sweet potato and native potato, while the 48-hour treatments were the most successful in white carrot. The best treatments exhibited low moisture content and water activity, conditions that favor their stability and preservation. They also showed a nutritional profile characterized by a predominance of carbohydrates and dietary fiber. Microbiologically, the safety of the products was ensured, and viable counts of lactic acid bacteria were obtained after freeze-drying. It is concluded that maceration prior to freeze-drying improves the stability, safety, and preservation of lactic acid bacteria in the evaluated plant matrices. This study provides evidence for the integration of maceration and freeze-drying as a technological strategy for the potential development of functional plant-based foods.

Keywords:

Maceration, probiotics, freeze-drying, fermentation, sweet potato, native potato, white carrot.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

1.1.1. Justificación

El consumo de alimentos procesados ha crecido significativamente a nivel mundial hasta integrarse en la dieta diaria (**Trumbo et al., 2024**). En Ecuador, la demanda de estos productos es elevada, aproximadamente el 86% de la población los adquiere al menos una vez por semana (**Jácome et al., 2023**). No obstante, estos alimentos suelen contener altos niveles de azúcares, sodio, grasas y aditivos. Debido a estos componentes, poseen una alta densidad energética y una reducida calidad nutricional. En consecuencia, su ingesta frecuente incrementa el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y metabólicas (**Almoraie et al., 2021**).

Frente a esta situación, ha surgido un creciente interés por el desarrollo de alimentos de origen vegetal con mejores perfiles nutricionales y funcionales que respondan a las nuevas tendencias de consumo (**Baker et al., 2022**). En este contexto, la región andina dispone de recursos agrícolas con elevado valor nutricional, entre ellos el camote, la papa nativa y la zanahoria blanca. Sin embargo, estas materias primas continúan siendo poco aprovechadas en la transformación alimentaria, pese a su potencial para el desarrollo de productos con valor agregado (**Leidi et al., 2018**). Asimismo, las limitaciones en el manejo postcosecha, el almacenamiento y la comercialización afectan su estabilidad y restringen su disponibilidad (**Luziatelli et al., 2020**).

Como alternativa para potenciar el valor de estos vegetales, la maceración en kéfir de agua o kombucha puede favorecer la incorporación de compuestos de interés y microorganismos beneficiosos. Por su parte, la liofilización permite reducir el contenido de agua y mejorar la estabilidad del producto (**Auquiñivin Silva et al., 2020**). La combinación de ambos procesos representa una estrategia prometedora para la obtención de alimentos vegetales con características diferenciadas. No obstante, existe escasa información sobre el efecto de la maceración en medios fermentados previa a la liofilización. En especial, se desconoce cómo la interacción entre ambos procesos influye en las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de estas matrices vegetales.

Considerando lo anterior, la presente investigación busca aportar evidencia científica sobre la aplicación conjunta de estos procesos en el camote, papa nativa y zanahoria blanca. Los resultados contribuirán al aprovechamiento de materias primas andinas subutilizadas y servirán de base para el desarrollo de alimentos vegetales con mayor valor agregado.

1.1.2. Consumo de alimentos funcionales

Los consumidores en la actualidad priorizan el consumo de productos que aporten beneficios adicionales a la salud (Sgroi et al., 2024). En este contexto, han cobrado relevancia los alimentos funcionales. Según Fuentes et al. (2015), estos se definen como productos que contienen compuestos bioactivos naturales, como la fibra dietética, o sustancias provenientes de suplementos. Asimismo, incluyen ingredientes derivados incorporados a alimentos convencionales, tales como los prebióticos. Actualmente, los componentes funcionales más utilizados en la industria son los probióticos, prebióticos, minerales y vitaminas (Saldaña Cejudo et al., 2020).

1.1.3. Alimentos de origen vegetal

Los alimentos de origen vegetal en especial los tubérculos y raíces como el camote, la papa nativa y la zanahoria blanca, cobran gran relevancia en el desarrollo de alimentos saludables. Esto debido a que poseen un alto contenido de carbohidratos principalmente en forma de almidón, el cual actúa como una fuente esencial de energía. También contienen niveles importantes de fibra dietética, un elemento clave para la salud digestiva y la regulación metabólica (Chandrasekara & Josheph Kumar, 2016). Bajo esta perspectiva los alimentos derivados de estos vegetales pueden considerarse funcionales. Esto se debe a su aporte de componentes nutricionales como la fibra dietética y compuestos bioactivos, tales como vitaminas, minerales y metabolitos secundarios (Knez et al., 2022).

1.1.3.1. El camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)

1.1.3.1.1. Taxonomía y características botánicas

El camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), conocido también como batata o boniato, pertenece a la familia Convolvulaceae. Este género agrupa entre 600 y 800 especies distintas. Morfológicamente, es una planta dicotiledónea de hábito enredador y carácter herbáceo perenne. Destaca por desarrollar raíces tuberosas de gran tamaño y alto valor nutritivo. Además, posee hojas lobuladas y flores de tonalidad violácea (Escobar-Puentes et al., 2022).

Las raíces tuberosas engrosadas representan la fracción más consumida, debido a su capacidad de almacenar almidón y azúcares que le otorgan su sabor dulce característico. Además de las raíces, las hojas, los tallos jóvenes y los brotes también son aptos para la alimentación humana (Escobar-Puentes et al., 2022). Por otro lado, la piel y la pulpa presentan una amplia variabilidad cromática, con tonalidades que abarcan desde el blanco hasta el morado (Alam, 2021).



Figura 1. Variedades de camote (*Ipomoea batatas*).

1.1.3.1.2. Distribución geográfica y producción

Su origen se dio en la región tropical de América. En Ecuador su cultivo se da desde el nivel del mar hasta los 3200 m s.n.m. Su producción se da principalmente en regiones de la Costa y Amazonia, aunque también se produce en ciertas zonas de la Sierra (**Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2024**). Este cultivo es producido principalmente por pequeños agricultores en superficies reducidas. Se registraron aproximadamente 1147 hectáreas cultivadas y una producción de 3613 toneladas métricas. La mayor participación correspondió a la Costa ecuatoriana con el 47 %, seguida de la Sierra con el 42 % y la Amazonía con el 11 % (**Rosell et al., 2024**).

1.1.3.1.3. Composición nutricional

Rosell et al. (2024) destaca la composición nutricional de la pulpa de camote (100 g en base seca) con un contenido principalmente de carbohidratos en forma de almidón (79,10 g), fibra dietética (15,8 g), proteínas (2,33 g), grasa cruda (0,51 g) y cenizas (2,06 g). Este tubérculo también aporta micronutrientes esenciales como potasio, calcio, hierro y vitaminas del complejo B, C y provitamina A en forma de β -caroteno.

Además, contiene compuestos bioactivos como carotenoides y diversos polifenoles como las antocianinas. Estas sustancias poseen actividad antioxidante y determinan la coloración de la pulpa. En particular, las variedades naranjas presentan un mayor contenido de β -caroteno. Por el contrario, las variedades moradas destacan por su alta concentración de antocianinas (**Alam, 2021**).

1.1.3.1.4. Beneficios para la salud

El consumo de camote contribuye a prevenir enfermedades cardiovasculares, metabólicas y degenerativas, como el cáncer. Este potencial se debe a su capacidad antioxidante y a su bajo contenido de grasas saturadas, sodio y colesterol. Asimismo, su aporte de vitamina A favorece la salud visual y fortalece el sistema inmunológico. Por estas propiedades, este tubérculo se posiciona como un alimento funcional que promueve la salud y la longevidad (**Amagloh et al., 2021**).

1.1.3.2. La papa nativa (*Solanum tuberosum* L.)

1.1.3.2.1. Taxonomía y características botánicas

La papa nativa (*Solanum tuberosum* L.) pertenece a la familia Solanaceae y se clasifica dentro del género *Solanum*. Es una planta herbácea perenne que produce tubérculos con una amplia diversidad de formas y colores. Sus variedades cultivadas se caracterizan por estar libres de modificaciones genéticas humanas. Esto se debe a que son híbridos desarrollados exclusivamente mediante cruces naturales entre diferentes tipos de papas (Pallo et al., 2021).

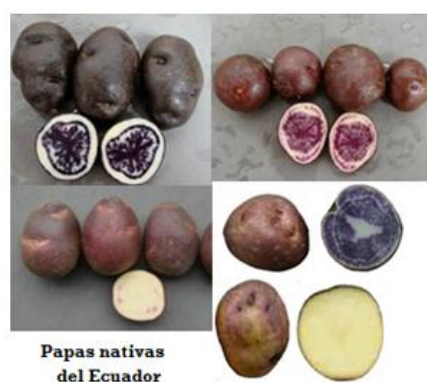


Figura 2. Variedades de papa nativa del Ecuador.

1.1.3.2.2. Distribución geográfica y producción

Este cultivo es originario de las regiones altas andinas, tras un proceso de domesticación iniciado hace 8000 años. En Ecuador, se produce sobre los 3000 m s. n. m. No obstante, su situación actual es crítica debido a la escasa oferta y demanda entre productores y consumidores. Existen diversas variedades, tales como la Uvilla, Carrizo y Leona Negra. Su producción se destina principalmente al autoconsumo, debido a que están profundamente arraigadas en las costumbres de las comunidades rurales andinas (Monteros et al., 2005).

1.1.3.2.3. Composición nutricional

La papa nativa presenta una composición proximal en la variedad leona negra (100 g en base seca) de principalmente carbohidratos en forma de almidón (85,93 g), fibra (2,49 g), proteínas (7,37 g), grasa (0,28 g) y cenizas (3,94 g). Las diferentes variedades presentan una diversidad de pigmentaciones en cáscara y pulpa, que oscilan entre tonalidades amarillas, rojas y moradas. Estas coloraciones son el resultado de una alta concentración de compuestos fitoquímicos. En particular, los carotenoides generan los tonos amarillos y naranjas, mientras que los compuestos fenólicos, como las antocianinas, producen las tonalidades rojas y moradas (Monteros et al., 2005).

1.1.3.2.4. Beneficios para la salud

Los diferentes compuestos bioactivos poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas. Su concentración aumenta en las variedades con coloraciones más intensas, lo cual potencia sus efectos funcionales. Asimismo, el consumo de papa nativa beneficia la salud cardiovascular. Esto se debe a que sus antioxidantes neutralizan eficazmente los radicales libres (Guerrero et al., 2015).

1.1.3.3. La zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft)

1.1.3.3.1. Taxonomía y características botánicas

La zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) también conocida como arracacha, es una planta herbácea caulescente que pertenece a la familia Apiaceae. Se trata de un tubérculo con raíz comestible que tiene una forma cónica, la cual puede tener diversos colores siendo la más común el color blanco (Mariuxi et al., 2025).

Esta planta se caracteriza por ser altamente perecedera, pues su deterioro inicia apenas una semana después de la cosecha. Debido a esta condición, su producción en el país se realiza únicamente en pequeñas cantidades (Mazón et al., 1996). Adicionalmente, el cultivo enfrenta problemas fitosanitarios como plagas y pudrición de las raíces. Por otro lado, la falta de conocimiento sobre sus formas de preparación constituye otra limitante significativa para su expansión en el mercado nacional (Higuera & Prado, 2013).



Figura 3. Zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft).

1.1.3.3.2. Distribución geográfica y producción

La arracha se domestica en la región Andina, la cual es cultivada en climas cálidos y templados en varias zonas de la región (Mazón et al., 1996). En Ecuador, su cultivo se da desde los 700 a 3600 m s.n.m en los valles interandinos principalmente. La producción en el país oscila entre las 12.000 y 24.000 toneladas al año. Sin embargo, del volumen total producido, solo una pequeña proporción se destina al consumo humano (Quilapanta & Frutos, 2018).

1.1.3.3. Composición nutricional

Su composición proximal (por cada 100 g en base seca) consiste principalmente en carbohidratos en forma de almidón de fácil digestión (86,30 g), proteínas (5,15 g), fibra (3,05 g), grasa (0,48) y cenizas (4,12 g). Este tubérculo también aporta calcio y niveles elevados de fósforo y potasio. Además, su valor nutricional se incrementa por la presencia de ácidos fenólicos y altas concentraciones de hierro (**Mazón et al., 1996**).

1.1.3.4. Beneficios para la salud

El consumo de este alimento favorece la salud digestiva y el aporte energético. Esto se debe a la fácil hidrólisis y alta biodisponibilidad de su almidón, cuyos gránulos de pequeño diámetro facilitan la acción enzimática durante la digestión. Asimismo, su contenido de minerales esenciales (Ca, P y Fe) y compuestos fenólicos contribuye al mantenimiento fisiológico en niños y adultos mayores. Por estas razones, la zanahoria blanca se posiciona como un ingrediente funcional de alta calidad (**Coral & Gallegos, 2015**).

1.1.4. Fermentación y microorganismos de interés en alimentos

1.1.4.1. Fermentación en alimentos

Praveen & Brogi (2025) describen la fermentación como un proceso biotecnológico en el cual microorganismos, como bacterias y levaduras, transforman compuestos orgánicos. Principalmente, convierten los azúcares en metabolitos como ácidos, alcoholes y gases. Este proceso destaca por mejorar la conservación de los alimentos, modificar sus características sensoriales y generar compuestos de interés. En el caso de las matrices vegetales, la fermentación induce cambios tanto en su composición como en su estructura (**Saranraj et al., 2019**). En consecuencia, estas transformaciones influyen directamente en propiedades del alimento como en el sabor, textura y estabilidad del producto final.

1.1.4.2. Bebidas fermentadas

Las bebidas fermentadas se han producido desde la antigüedad. Su clasificación puede ser por la procedencia de las materias primas o por el tipo de fermentación. Se distinguen 2 grandes grupos las bebidas fermentadas las lácteas y las vegetales. Las bebidas fermentadas vegetales a su vez se pueden subdividir en productos a base de cereales, frutas y hierbas donde se puede encontrar al kéfir de agua y la kombucha (**Paramithiotis et al., 2024**). Estas bebidas se caracterizan por ser medios simbióticos ricos en microorganismos beneficiosos como bacterias y levaduras (**La Torre et al., 2025**).

1.1.4.2.1. Kéfir de agua

El kéfir de agua es una bebida fermentada ligeramente ácida, afrutada y efervescente. Se obtiene por la fermentación de una solución de sacarosa por medio de los gránulos de kéfir a la cual se le puede añadir frutas frescas o secas (**Pavlečić et al., 2024**). Presenta un tipo de fermentación mixta, principalmente láctico-alcohólica y acética. Su microbiota está compuesto principalmente por bacterias ácido-lácticas y levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*. Estos microorganismos generan metabolitos como ácido láctico y acético, etanol, CO₂, manitol, vitaminas del complejo B y aminoácidos (**Bozkir et al., 2024**).

Además, presenta un contenido alcohólico generalmente inferior al 1% y concentraciones de ácido láctico que pueden alcanzar hasta el 2% dependiendo del tiempo de fermentación (**Bozkir et al., 2024**). Diversos estudios le atribuyen efectos funcionales potenciales como actividad prebiótica, antimicrobiana e inmunomoduladora (**Vargas & Ruiz, 2024**).

1.1.4.2.2. Kombucha

La kombucha es una bebida fermentada de sabor ácido y ligeramente efervescente producida por la fermentación de té endulzado con un consorcio simbiótico de bacterias y levaduras (SCOBY) (**Harrison & Curtin, 2021**). Presenta un tipo de fermentación mixta entre alcohólica y acética, donde las levaduras producen etanol y CO₂. Mientras que las bacterias acéticas producen ácido acético y otros ácidos orgánicos (**Jayabalan et al., 2014**).

Además, se generan metabolitos bioactivos como vitaminas B y C, aminoácidos, minerales y polifenoles con actividad antioxidante, antiinflamatoria y antimicrobiana (**Harrison & Curtin, 2021**). En esta bebida predominan bacterias acéticas del género *Komagataeibacter*, además de levaduras como las del género *Saccharomyces*, presentan también, aunque en menor cantidad bacterias lácticas (**Selvaraj & Gurumurthy, 2022**).

1.1.4.3. Probióticos

Los probióticos son un tipo de sustancia bioactiva. Actualmente, se definen como "microorganismos vivos que cuando se administran en cantidades adecuadas confieren un beneficio para la salud del huésped" (**FAO, 2006**). Para aportar estos beneficios, los microorganismos utilizados deben clasificarse como GRAS (Generalmente Reconocidos como Seguros). Esta categoría garantiza que su consumo no representa riesgos para la salud humana ni causa enfermedades (**Gul & Durante-Mangoni 2024**).

Plaza-Díaz et al. (2019) indican que los probióticos actúan principalmente mediante la modulación de la microbiota intestinal y el refuerzo de la barrera epitelial. Además, estos microorganismos producen sustancias antimicrobianas y regulan el sistema inmunitario del huésped. Por su parte, **Mazziotta et al.**

(2023) señalan que compiten con patógenos por nutrientes y sitios de unión, reducen el pH intestinal y estimulan las defensas naturales. En este contexto, las bacterias ácido-lácticas (BAL) destacan como uno de los principales tipos de microorganismos probióticos (Gul & Durante-Mangoni, 2024).

1.1.4.3.1. Bacterias ácido-lácticas

Las bacterias ácido-lácticas (BAL) son microorganismos Gram positivos y no esporulantes, entre los cuales sobresale el género *Lactobacillus* (Mozzi, 2016). Estas bacterias se clasifican en dos grupos según su metabolismo: homofermentativos y heterofermentativos. Los primeros producen principalmente ácido láctico. Por el contrario, los segundos generan una mayor variedad de compuestos, como etanol y dióxido de carbono (Mokoena, 2017).

Estas bacterias presentan una alta tolerancia a condiciones adversas, como el pH bajo y concentraciones elevadas de sal (Y. Wang et al., 2021). Debido a esta resistencia, su desempeño es óptimo en los procesos fermentativos. Asimismo, su estatus GRAS permite que la industria alimentaria las utilice para mejorar la estabilidad y optimizar las características sensoriales de los productos (Ayivi et al., 2020). En ciertos casos, este uso también incrementa el valor nutricional del alimento. Se debe considerar que algunas cepas manifiestan propiedades probióticas con efectos favorables para la salud (Y. Wang et al., 2021).

1.1.5. Maceración en alimentos

La maceración es una operación de transferencia de masa en la que un sólido entra en contacto con un líquido (Sharma et al., 2018). El objetivo de este proceso es extraer o incorporar compuestos solubles. Su mecanismo principal es la difusión, mediante la cual los solutos se desplazan desde el interior del sólido hacia el líquido. Este movimiento ocurre en función de los gradientes de concentración presentes en la estructura (Jha & Sit, 2022).

Radziejewska-Kubzdela et al. (2014) plantean que la mayoría de estos sistemas presentan una migración de compuestos desde el sólido hacia el líquido. Este flujo permite la liberación de sustancias como azúcares, pigmentos y compuestos fenólicos. No obstante, el proceso también puede ocurrir en sentido inverso. En este caso, el líquido transfiere componentes hacia el sólido, tales como sales, ácidos o compuestos aromáticos. Este fenómeno es conocido como impregnación (Jha & Sit, 2022).

Por su parte Farooq et al. (2022) señalan que la eficiencia de este proceso depende de variables como el tamaño de partícula, la temperatura, el tiempo de contacto y la naturaleza del solvente. Estos factores influyen directamente en la velocidad de difusión y en la solubilidad de los compuestos. Desde una perspectiva tecnológica, la maceración permite modificar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales

del alimento (**Grzelczyk et al., 2024**). En consecuencia, su aplicación puede favorecer la mejora del sabor, olor, color, textura y la estabilidad del producto final.

1.1.6. Liofilización

La liofilización es una de las técnicas de conservación de alimentos más destacadas en la actualidad. Su propósito es eliminar el agua de la matriz mediante la sublimación del hielo, proceso que se realiza bajo condiciones de baja presión y temperatura controlada (**Coşkun et al., 2024**). Según destaca **Bhatta et al. (2020)** esta técnica reduce significativamente el deterioro térmico del alimento. En consecuencia, permite preservar de manera óptima sus características fisicoquímicas y sensoriales originales. El procedimiento se desarrolla principalmente en tres etapas:

1. **Congelación:** El producto se enfría a temperaturas bajas para convertir el agua en hielo. Esta etapa es crucial, ya que el tamaño y la distribución de los cristales de hielo influyen en la estructura final del producto (**Kasper & Friess, 2011**).
2. **Secado primario (sublimación):** Bajo condiciones de vacío, el hielo se sublima, es decir pasa directamente de un estado sólido a el estado gaseoso (vapor) sin pasar por el estado líquido. En esta etapa se elimina la mayor parte del agua presente en el alimento (**Nowak & Jakubczyk, 2020**).
3. **Secado secundario (desorción):** Se elimina el agua residual ligada a la matriz del alimento mediante un aumento gradual de la temperatura, reduciendo la actividad de agua a niveles que garantizan la estabilidad del producto (**Nowak & Jakubczyk, 2020**).

Este proceso permite conservar compuestos sensibles al calor, mantener la estructura del alimento y prolongar su vida útil (**Bhatta et al., 2020**). Esta tecnología es muy usada en productos que requieren alta calidad en términos de estabilidad y rehidratación tales como vegetales y frutas (**Coşkun et al., 2024**). Estas características la convierten en una tecnología clave en el desarrollo de productos alimenticios a partir de recursos vegetales.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Comparar el efecto del tiempo y medio de maceración rico en probióticos sobre las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de tres matrices vegetales liofilizadas a base de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), papa nativa (*Solanum tuberosum* L.) y zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft).

1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar el efecto del tiempo y el medio de maceración sobre el pH, color y textura en las matrices vegetales liofilizadas de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), papa nativa (*Solanum tuberosum* L.) y zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft).
- Determinar el mejor tratamiento de cada matriz vegetal mediante un análisis sensorial.
- Evaluar la viabilidad de microorganismos probióticos y las propiedades fisicoquímicas del mejor tratamiento de cada matriz vegetal.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1. Materiales

El presente trabajo de titulación se llevó a cabo experimentalmente en los en los laboratorios académicos y Unidad Operativa de Investigación, de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato. En la Tabla 13 se detallan las materias primas, equipos, reactivos y recursos de software utilizados en el desarrollo de la investigación.

2.2. Métodos

2.2.1. Analizar el efecto del tiempo y el medio de maceración sobre el pH, color y textura en las matrices vegetales liofilizadas de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), papa nativa (*Solanum tuberosum* L.) y zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft)

2.2.1.1. Diseño experimental

Se empleo un Diseño en Bloques Completos Aleatorizados (DBCA) con arreglo factorial 2x3 dentro de cada bloque. Se considero al tipo de vegetal como un bloque, trabajando con 3 bloques: camote, papa nativa y zanahoria blanca. Los factores del estudio y tratamientos del estudio se presentan en la Tabla 1 y Tabla 2 respectivamente.

Tabla 1.

Factores de estudio

Factores de estudio	Niveles
Factor A: Medio de maceración	a1: Kéfir de agua
	a2: Kombucha
	b1: 48 h
Factor B: Tiempo de maceración	b2: 96 h
	b3: 144 h

Tabla 2.

Tratamientos de estudio

Número de tratamientos	Tratamiento	Descripción
T1	(a1) (b1)	Kéfir de agua. Tiempo de maceración 48 h
T2	(a1) (b2)	Kéfir de agua. Tiempo de maceración 96 h

T3	(a1) (b3)	Kéfir de agua. Tiempo de maceración 144 h
T4	(a2) (b1)	Kombucha. Tiempo de maceración 48 h
T5	(a2) (b2)	Kombucha. Tiempo de maceración 96 h
T6	(a2) (b3)	Kombucha. Tiempo de maceración 144 h
Ct	-	(Sin tratamiento)

Cada bloque recibió todas las combinaciones del arreglo factorial, lo que correspondió a seis tratamientos por bloque. Además, se incluyó una muestra control (Ct), la cual no fue sometida a ningún tratamiento por cada bloque. Se realizaron tres réplicas para cada tratamiento. El tiempo de inmersión seleccionado se basó en lo reportado por **De Paula et al. (2022)**.

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante un ANOVA, seguido de la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$). El propósito fue identificar diferencias significativas entre los tratamientos en función del pH, color y textura de las matrices vegetales.

2.2.1.2. Obtención de la materia prima

La materia prima vegetal empleada correspondiente a vegetales, se adquirió en mercados locales de la ciudad de Salcedo de la provincia de Cotopaxi. Las variedades seleccionadas fueron de camote “Morado”, papa nativa “Leona negra” y zanahoria blanca “Arracha”. En cuanto al estado de madurez se verificó mediante la selección de unidades con consistencia firme y sin señales de brotación.

Los medios de maceración se eligieron de la marca VITAFÉF y ECO VIDA, para el kéfir de agua y kombucha respectivamente. Se seleccionaron productos de procedencia orgánica que no hubieran sido sometidos a tratamientos térmicos. Esto con el fin de preservar la viabilidad de los microorganismos probióticos y asegurar una maceración eficiente de las matrices vegetales.

2.2.1.3. Acondicionamiento de la materia prima

- **Clasificación**

Se clasificó acorde a la forma y el tamaño manteniendo uniformidad. Además, se verificó la ausencia de daños físicos, químicos y biológicos, como afectaciones por plagas, presencia de mohos o cualquier indicio de deterioro.

- **Limpieza**

La limpieza de los vegetales se realizó según la metodología de la **(FAO, 2017)**. Los vegetales se lavaron con agua potable y cepillaron para remover tierra, como también residuos de pesticidas. Posteriormente, se efectuó el pelado mecánico con una peladora para eliminar la corteza.

- **Corte**

En el corte se utilizó una rebanadora comercial equipada con una cuchilla de 2,5 mm de espesor para obtener las rodajas de los vegetales, que se verificó con el uso de un calibrador Vernier. Esto aseguró la uniformidad en la difusión del medio de maceración y en la liofilización posterior.

- **Escaldado**

Para el escaldado, las rodajas de los vegetales se sumergieron en agua hirviendo (91 °C), siguiendo el protocolo de **Tigreros et al (2021)** para frutas y verduras. El tiempo de escaldado fue de 5 minutos para todas las matrices vegetales. Seguidamente, las muestras se enfriaron en agua helada para detener la cocción, minimizar la pérdida de nutrientes y facilitar su escurrido.

2.2.1.4. Protocolo de maceración de las matrices vegetales

Para la maceración de las matrices vegetales se siguió la metodología establecida por **Paramithiotis et al. (2022)** con modificaciones. En primer lugar, se pesaron 100 g de rodajas escaldadas por cada réplica. Posteriormente, las rodajas se colocaron en bolsas herméticas con los medios de maceración en una relación de 1:2 (m/V). Se aseguró una distribución uniforme para lograr una impregnación homogénea del medio, según lo establecido en la Tabla 2. La maceración se realizó a temperaturas de refrigeración (3 – 6 °C). Finalmente, las muestras maceradas se escurrieron, con el fin de eliminar el exceso del medio de maceración.

2.2.1.5. Procedimiento de liofilización

Las muestras vegetales maceradas se liofilizaron en un equipo “VirTis BenchTop Pro”, siguiendo las especificaciones del fabricante **(SP Scientific, 2014)**. En primer lugar, las rodajas vegetales se colocaron en tubos falcón asegurando una distribución uniforme. Después las muestras se congelaron en un ultracongelador a -80 °C por dos días. Posteriormente se colocaron las muestras en el liofilizador donde se verificó la estabilización del equipo a las condiciones recomendadas por el fabricante.

El proceso se desarrolló durante 24 horas mediante etapas de secado primario y secundario, orientadas a la eliminación progresiva del agua por sublimación y desorción. Finalmente, las muestras se retiraron del equipo y se envasaron en bolsas herméticas. Estas se almacenaron en un ambiente seco y fresco para

prevenir su rehidratación. El procedimiento de obtención de las matrices vegetales liofilizadas se muestra en la Figura 4.

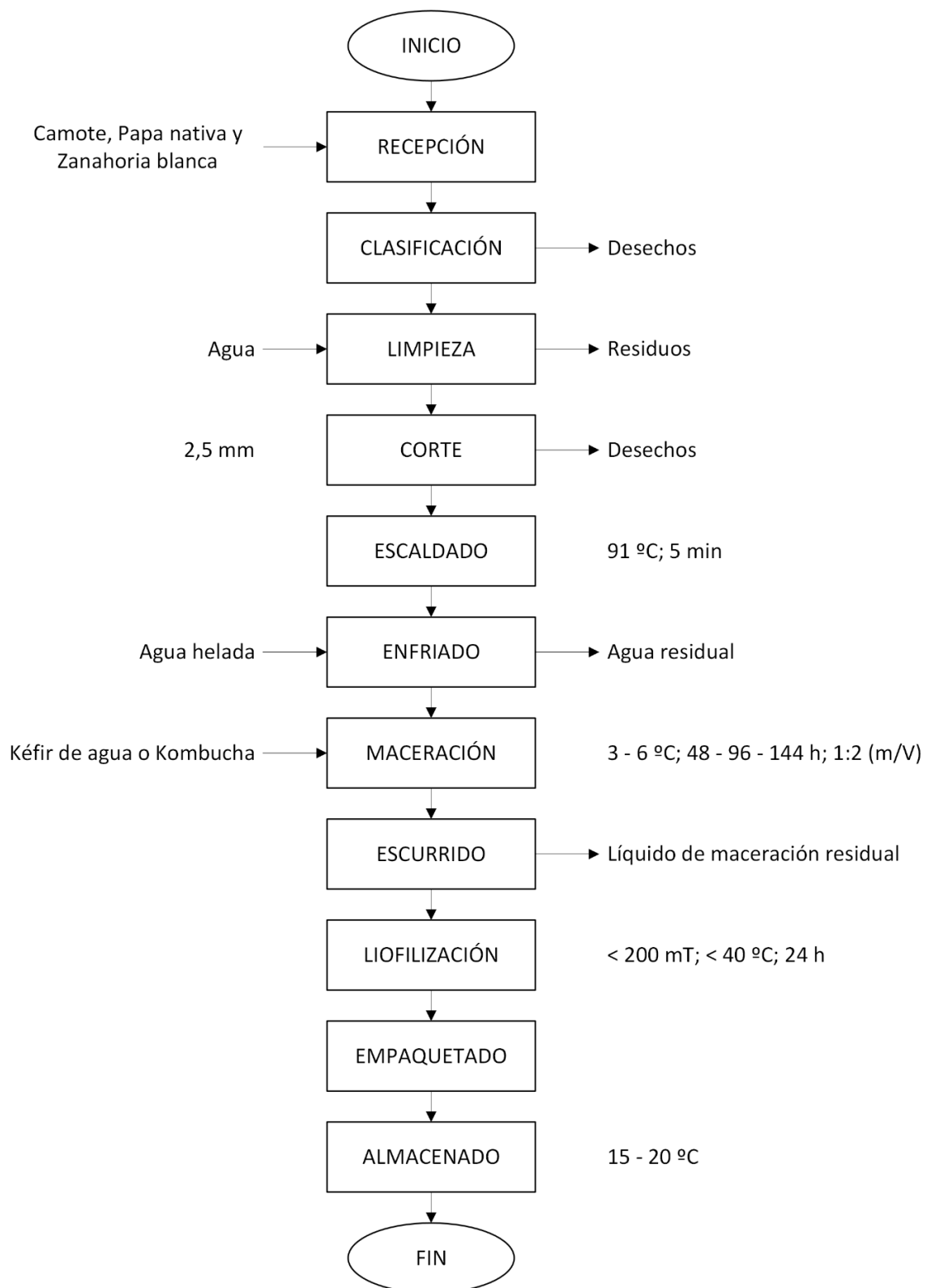


Figura 4. Procedimiento de obtención de las matrices vegetales liofilizadas.

2.2.1.6. Determinación gelatinización del almidón

La gelatinización del almidón en las matrices vegetales se evaluó mediante observación microscópica, según lo propuesto por **Brust et al. (2020)**. Para ello, se prepararon cortes finos de muestras crudas y escaldadas, los cuales se colocaron en portaobjetos. Posteriormente, se añadió una gota de Lugol y se cubrieron las placas con el cubreobjetos. La observación se realizó con el uso de un microscopio con un lente de aumento de 40X. Dicho procedimiento permitió confirmar la gelatinización del almidón mediante la observación de la pérdida de gránulos definidos en cada matriz vegetal.

2.2.1.7. Determinación del pH

El pH se determinó siguiendo la metodología establecida por la **NTE INEN 389** a partir de un extracto acuoso. Para ello, se preparó una suspensión homogénea mediante la mezcla de 10 g de muestra con 100 ml de agua destilada hasta obtener una fase líquida uniforme. Posteriormente, el extracto fue filtrado y se introdujo el electrodo de un potenciómetro previamente calibrado con soluciones buffer. Se registraron los valores de pH una vez se estabilizó la lectura del equipo.

2.2.1.8. Determinación del color

El color se determinó mediante el uso de un colorímetro “LOVIBOND”, siguiendo la metodología de **Moreno et al. (2021)** en el espacio SciLab. Se registraron los parámetros L* (luminosidad), a* (verde-rojo) y b* (azul-amarillo) a partir de tres lecturas en diferentes puntos de la superficie de cada muestra para minimizar el efecto de irregularidades propias del producto sólido.

2.2.1.9. Determinación de textura

Para la determinación de la textura se utilizó un texturómetro “Brookfield PRO CT3”. Inicialmente, se configuró el equipo a una velocidad de 2 m/s y se empleó una sonda TA39. Posteriormente, se realizaron diez réplicas independientes con el fin de obtener el parámetro de fracturabilidad, cuyos resultados se expresaron en Newtons (N).

2.2.2. Determinar el mejor tratamiento de cada matriz vegetal mediante un análisis sensorial

2.2.2.1. Evaluación sensorial

2.2.2.1.1. Conformación del panel

La prueba se llevó a cabo según la metodología recomendada por **Fiorentini et al. (2020)** con 30 catadores semi entrenados. Los panelistas se ubicaron en cabinas individuales bajo condiciones controladas de iluminación y sin presencia de olores extraños. A cada catador se le entregó una unidad

muestral de cada tratamiento, junto con una muestra control correspondiente a cada tipo de vegetal. Entre la evaluación de cada muestra, los catadores enjuagaron su paladar con agua mineral, con el propósito de evitar interferencias sensoriales.

2.2.2.1.2. Procedimiento de evaluación

Se realizó una prueba organoléptica de aceptación mediante una escala hedónica de 5 puntos (1: me disgusta mucho; 2: me disgusta; 3: ni me gusta ni me disgusta; 4: me gusta; 5: me gusta mucho), con el fin de evaluar los atributos de aroma, sabor, color, textura y aceptabilidad.

2.2.2.1.3. Análisis de datos

Los datos obtenidos se analizaron mediante pruebas no paramétricas, con el uso del software IBM SPSS Statistics. Se aplicaron pruebas de Friedman en primera instancia y Wilcoxon con un nivel de confianza del 95 % para identificar diferencias significativas y seleccionar el tratamiento con mayor preferencia sensorial para cada matriz vegetal.

2.2.3. Evaluar la viabilidad de microorganismos probióticos y las propiedades fisicoquímicas del mejor tratamiento de cada matriz vegetal

2.2.3.1. Viabilidad de microorganismos probióticos

La viabilidad de microorganismos probióticos se llevó a cabo mediante la cuantificación de bacterias ácido-lácticas. Se utilizaron placas MicroFast, las cuales emplean un medio de cultivo listo con tecnología de coloración microbiana para una rápida interpretación. Inicialmente, se preparó la muestra diluyendo 10 g de la matriz de cada vegetal en 90 ml de agua peptonada. Posteriormente, se homogenizó la muestra y se prepararon diluciones seriadas conforme a la norma NTE INEN 1529-2. Seguidamente se inoculó 1 ml de la dilución correspondiente en el centro de la placa. Se dejó caer la película superior lentamente verificando una distribución uniforme. Las placas se incubaron en posición horizontal a 36 ± 1 °C durante 48 horas. Finalmente, se realizó el conteo de colonias en placas que presentaban entre 30 y 300 UFC, identificando como bacterias ácido-lácticas a las colonias de color rojo, azul-verde o azul.

2.2.3.2. Análisis microbiológicos de calidad e inocuidad

Para evaluar la inocuidad y calidad higiénica de las matrices vegetales se realizó el recuento total de microorganismo, *E. coli*, coliformes totales, mohos y levaduras. Estos parámetros permiten verificar la eficacia del proceso de liofilización y el cumplimiento de las normativas de seguridad alimentaria. El análisis se llevó a cabo mediante el uso de las placas cromogénicas CompactDry (TC, EC y YM),

seleccionadas por su precisión y validación internacional, siguiendo la metodología establecida por el fabricante.

2.2.3.2.1. Recuento de aerobios mesófilos

El recuento de aerobios mesófilos (recuento total) se realizó utilizando placas CompactDry (TC), método validado por AOAC 010404. Inicialmente, se pesaron 10 g de muestra de cada matriz vegetal los cuales se diluyeron en 90 ml de agua peptonada. Posteriormente, la mezcla se homogenizó se prepararon diluciones seriadas siguiendo la metodología recomendada por la **NTE INEN 1529-2**. A continuación, se inoculó 1 ml de la dilución sobre la placa, se dejó absorber y se incubó en posición invertida a 35 ± 2 °C durante 48 ± 3 horas. Finalmente, se realizó el conteo de colonias desarrolladas, considerando las de color rojo y otras tonalidades según el sistema cromogénico del medio.

2.2.3.2.2. Determinación de *Escherichia coli* y coliformes totales

La cuantificación de *Escherichia coli* y Coliformes totales se llevó a cabo empleando placas CompactDry (EC), método validado por la AOAC 110403. En primer lugar, se preparó la muestra mediante la dilución de 10 g en 90 ml de agua peptonada, seguida de su homogenización y la elaboración de diluciones seriadas acorde a **NTE INEN 1529-2**. Seguidamente se inoculó 1 ml de la dilución en la placa y se incubó en posición invertida a 37 ± 1 °C durante 24 ± 2 horas. Finalmente se realizó la cuantificación de colonias identificando colonias azules como *E. coli*. Mientras que las colonias rojas, azules y moradas se consideraron coliformes totales.

2.2.3.2.3. Cuantificación de mohos y levaduras

El recuento de mohos y levaduras se efectuó utilizando placas CompactDry (YM), método validado por la AOAC 100401. Inicialmente, se preparó la muestra mediante la homogenización de 10 g de muestra en 90 ml de agua peptonada. Seguidamente, se preparó las diluciones seriadas según la **NTE INEN 1529-2**. Luego, se inoculó 1 ml de la dilución en la placa, se dejó absorber y se incubó en posición invertida a 25 ± 2 °C durante un periodo de 3 a 7 días. Finalmente, se realizó el conteo de colonias, identificando las levaduras como colonias de color blanco o azul y los mohos por su morfología filamentosa con aspecto algodonoso y pigmentaciones características.

2.2.3.3. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y nutricionales

2.2.3.3.1. Determinación de humedad

La determinación de humedad se realizó siguiendo la metodología establecida **Kett Moisture Tester (2020)**, utilizando una balanza infrarroja. Inicialmente, el equipo fue encendido y se dejó estabilizar

previamente conforme a las indicaciones del fabricante. Posteriormente, se pesó de 2 a 5 g de la muestra previamente homogenizada, distribuyeron de manera uniforme sobre el platillo del equipo tarado previamente. Finalmente, se cerró la tapa del equipo y se activó el proceso de secado. La balanza registró directamente el porcentaje de pérdida de masa, correspondiente al contenido de humedad.

2.2.3.3.2. Determinación de actividad de agua

La actividad de agua (a_w) se determinó utilizando un medidor de actividad de agua de la marca AQUALAB acorde con la metodología descrita por **Zhang et al. (2017)**. Inicialmente, el equipo se encendió y se dejó estabilizar durante aproximadamente 15 minutos. Posteriormente, se colocó una muestra representativa y homogénea de cada matriz vegetal de entre 2 y 5 g, asegurando de cubrir completamente el fondo de la cápsula de medición. La muestra se introdujo en la cámara del equipo y se selló herméticamente. Finalmente, el valor de actividad de agua se registró directamente una vez que el equipo mostró una lectura estable.

2.2.3.3.3. Determinación de grasa

La determinación del contenido de grasa se realizó en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos (LACONAL) mediante el método gravimétrico establecido por la **AOAC Ed. 22, 2023 2003.06**. Inicialmente, se pesó 1 g de muestra previamente deshidratada de cada matriz vegetal, la cual se colocó en dedales de celulosa para su extracción. Posteriormente, los dedales se introdujeron en un extractor tipo Soxhlet, utilizando vasos con 50 ml de hexano como solvente. El proceso incluyó una etapa de extracción por inmersión a 130 °C durante 4 horas, seguida de un lavado de 2 horas y una fase final de recuperación del solvente durante 30 minutos.

Una vez finalizada la extracción, los vasos se colocaron en una estufa para eliminar residuos de hexano y luego se enfriaron en un desecador hasta alcanzar peso constante. Finalmente, el contenido de grasa se determinó mediante la aplicación de la ecuación 1:

$$\% G = \frac{(W_2 - W_0)}{W_1}$$

(Ecuación 1)

Donde:

W_0 : Peso del vaso con grasa, g.

W_1 : Peso de la muestra, g.

W_2 : *Peso del vaso vacío, g.*

2.2.3.3.4. Determinación de proteína

El contenido de proteína se realizó mediante el método de **Dumas AOAC Ed. 22, 2023 990, 03**. En primer lugar, se pesaron 250 mg de muestra molida y homogeneizada de cada matriz vegetal los cuales se colocaron en cápsulas de estaño. Posteriormente, las muestras se introdujeron en un analizador elemental, donde se sometieron a combustión a alta temperatura en presencia de oxígeno. El nitrógeno liberado se cuantificó mediante un detector de conductividad térmica. El resultado calculado se expresó como proteína total.

2.2.3.3.5. Determinación de cenizas

Para la determinación de cenizas se siguió la metodología establecida en la norma **NTE INEN 520**. En primer lugar, se calentaron los crisoles a 550 °C durante 30 minutos en una mufla, transcurrido el tiempo se dejó enfriar en un desecador y peso los crisoles vacíos. Seguidamente se pesaron 3 g de muestra de cada matriz vegetal previamente homogeneizada y se colocó en cada crisol. Los crisoles se mantuvieron en la puerta de la mufla abierta durante 10 minutos y se calcinaron las muestras durante 4 horas hasta que se obtuvo una tonalidad blanca. Finalmente se dejó enfriar y peso las muestras. La determinación se realizó por duplicado y el contenido de cenizas se calculó mediante el uso de la ecuación 2:

$$\% Ce = \frac{100 (m_3 - m_1)}{(100 - H)(m_2 - m_1)} * 100$$

(Ecuación 2)

Donde:

$\% Ce$: *contenido de cenizas, en porcentaje de masa.*

m_1 : *masa del crisol vacío, (g).*

m_2 : *masa del crisol con la muestra, (g).*

m_3 : *masa del crisol con las cenizas, (g).*

H : *porcentaje de humedad en la muestra.*

2.2.3.3.6. Determinación de fibra dietética

La fibra dietética se determinó en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos (LACONAL) mediante el método enzimático-gravimétrico establecido por la **AOAC 985.29. Ed. 22, 2023**. Este procedimiento permitió cuantificar la fracción de fibra remanente tras la eliminación de los carbohidratos solubles, los cuales fueron hidrolizados a azúcares mediante la acción de reactivos en condiciones controladas de calentamiento.

2.2.3.3.7. Determinación de carbohidratos

El contenido de carbohidratos se realizó por la diferencia de valores obtenidos previamente de humedad, proteínas, grasas, fibra cruda y cenizas. Para ello, se restó la suma de estos componentes del valor total correspondiente al 100 %, aplicando la ecuación 3:

$$\% C = 100 \% - \% H - \% G - \% P - \% F.D - \% Ce$$

(Ecuación 3)

Donde:

% C: *Porcentaje de carbohidratos.*

% H: *Porcentaje de humedad.*

% G: *Porcentaje de grasa.*

% P: *Porcentaje de proteína.*

%F.D: *Porcentaje de fibra dietética.*

%Ce: *Porcentaje de cenizas.*

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

3.1.1. Análisis del efecto del tiempo y el medio de maceración sobre el pH, color y textura en las matrices vegetales liofilizadas de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), papa nativa (*Solanum tuberosum* L.) y zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft)

3.1.1.1. Determinación de la gelatinización del almidón

En la Figura 5 se observa la microestructura del almidón en camote (a), papa nativa (b) y zanahoria blanca (c) antes y después del escaldado. En las muestras crudas, los gránulos se presentan pequeños y definidos. No obstante, tras el escaldado, estos aumentaron de volumen y perdieron su morfología original debido a la gelatinización. De acuerdo con **Yan et al. (2024)** el proceso es inducido por el aumento de temperatura en presencia de agua, mismo que rompe los enlaces de hidrógeno y desorganiza la estructura semicristalina del almidón.

La aplicación de escaldado previo a la liofilización permite inactivar enzimas y estabilizar la matriz vegetal. También induce cambios estructurales que la liofilización no puede realizar al debido a que opera a bajas temperaturas (**Ciurzyńska et al., 2021**). En este sentido, la gelatinización previa favorece la disponibilidad y digestibilidad del almidón. Además de mejorar la calidad final del producto deshidratado.

3.1.1.2. Análisis del efecto del tiempo y el medio de maceración sobre el pH, color y textura de las matrices vegetales liofilizadas

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos del análisis del pH de las tres matrices vegetales después de la maceración y liofilización.

Tabla 3.

pH de las tres matrices vegetales sometidas a maceración y liofilización

Matriz vegetal (Etapas)	Tratamientos							p-valor
	Ct	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Camote (Macerado)	7,05 ± 0,06 ^a	5,62 ± 0,03 ^b	5,02 ± 0,04 ^d	4,84 ± 0,08 ^{de}	5,45 ± 0,10 ^b	5,23 ± 0,08 ^c	4,72 ± 0,09 ^c	< 0,001
Papa Nativa (Macerado)	6,91 ± 0,06 ^a	5,24 ± 0,01 ^c	5,05 ± 0,07 ^d	4,92 ± 0,03 ^d	5,49 ± 0,07 ^b	5,07 ± 0,09 ^{cd}	4,56 ± 0,08 ^e	< 0,001
Zanahoria Blanca (Macerado)	6,93 ± 0,05 ^a	5,68 ± 0,02 ^b	5,18 ± 0,03 ^d	4,74 ± 0,06 ^e	5,40 ± 0,04 ^c	5,21 ± 0,10 ^d	4,67 ± 0,04 ^e	< 0,001
Camote (Liofilizado)	6,84 ± 0,09 ^a	4,94 ± 0,13 ^{cd}	4,84 ± 0,07 ^{de}	4,69 ± 0,07 ^e	5,39 ± 0,07 ^b	5,13 ± 0,03 ^c	5,05 ± 0,03 ^c	< 0,001

Papa Nativa (Liofilizado)	6,84 ± 0,06 ^a	5,06 ± 0,02 ^d	4,95 ± 0,03 ^e	4,90 ± 0,02 ^e	5,46 ± 0,02 ^b	5,41 ± 0,03 ^b	5,17 ± 0,03 ^c	< 0,001
Zanahoria Blanca (Liofilizado)	6,79 ± 0,04 ^a	5,19 ± 0,05 ^c	5,14 ± 0,04 ^c	4,82 ± 0,05 ^e	5,34 ± 0,03 ^b	4,99 ± 0,05 ^d	4,75 ± 0,06 ^e	< 0,001

Nota. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos de cada matriz vegetal mediante la prueba de comparación de Tukey ($\alpha = 0,05$). Tratamientos: Ct (Control); T1, T2 y T3: Maceración en Kéfir de agua por 48, 96 y 144 h respectivamente; T4, T5 y T6: Maceración en Kombucha por 48, 96 y 144 h respectivamente.

Los resultados presentados en la Tabla 3 evidencian una disminución significativa ($p < 0,05$) del pH en las tres matrices vegetales evaluadas. Esta tendencia se acentuó conforme incrementó el tiempo de maceración, alcanzando los valores más bajos a las 144 h (T3 y T6). En el caso del pH de la papa nativa descendió de 6,91 en el control a 4,56 en el tratamiento T6, teniendo tendencias similares en las demás matrices vegetales.

Estos resultados confirman la acidificación del tejido vegetal, comportamiento atribuido principalmente a la difusión de ácidos orgánicos. Durante el proceso, el kéfir de agua produce predominantemente ácidos láctico y acético, mientras que la kombucha genera principalmente ácido acético (**La Torre et al., 2025**). En consecuencia, estos metabolitos se incorporan progresivamente al tejido vegetal en función del tiempo de inmersión reduciendo el pH.

La reducción del pH concuerda con lo reportado por **Kiczorowski et al. (2022)**, quienes registraron valores de 3,69 en la fermentación láctica de zanahoria tras siete días. Esta similitud evidencia que la maceración en medios activos induce una fermentación en los vegetales. En este contexto, el descenso del pH también actúa como un indicador característico de la actividad microbiana (**Leeuwendaal et al., 2022**). Además de la incorporación eficiente de solutos, resultado de la interacción entre el medio de maceración y las características físicas de cada vegetal. Por lo tanto, el proceso de maceración funcionó como una fermentación efectiva que modificó las propiedades de los tubérculos evaluados.

Después de la liofilización, el pH mantuvo la tendencia observada durante la maceración dentro de cada matriz. Este resultado indica que los compuestos no volátiles como los ácidos orgánicos permanecieron retenidos en la matriz seca. Un aspecto muy relevante desde el punto de vista tecnológico es que valores de pH cercanos a 4,6 como los obtenidos en los tratamientos T3 y T6 resultan altamente favorables, ya que limitan el crecimiento de microorganismos patógenos y deteriorantes (**Lima et al., 2023**). Esto contribuye a la inocuidad y estabilidad del producto durante el almacenamiento.

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de los parámetros de color (L*, a*, b*) de las tres matrices vegetales después de la maceración y liofilización.

Tabla 4.
Parámetros de color de las matrices vegetales sometidas a maceración y liofilización

Matriz Vegetal		Tratamientos						p-valor
(Etapas)		Ct	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Camote (Macerado)	L*	59,51 ± 2,89 ^a	48,31 ± 0,96 ^{bc}	53,59 ± 6,00 ^{abc}	51,84 ± 1,25 ^{abc}	46,06 ± 0,38 ^c	54,55 ± 4,91 ^{abc}	56,13 ± 1,7 ^{ab}
	a*	-2,87 ± 3,43 ^b	10,18 ± 0,44 ^a	8,59 ± 0,28 ^a	9,32 ± 0,11 ^a	7,12 ± 0,94 ^a	6,11 ± 2,27 ^a	7,49 ± 1,04 ^a
Papa Nativa (Macerado)	b*	1,88 ± 4,23 ^a	14,68 ± 1,70 ^a	13,43 ± 4,02 ^a	12,13 ± 1,56 ^a	14,07 ± 5,37 ^a	10,02 ± 0,72 ^{ab}	10,83 ± 2,64 ^{ab}
	L*	80,34 ± 1,94 ^a	57,12 ± 1,35 ^{cd}	58,18 ± 1,64 ^{cd}	54,46 ± 2,14 ^d	61,35 ± 0,59 ^{bc}	64,33 ± 1,06 ^b	59,9 ± 3,39 ^{bc}
Zanahoria Blanca (Macerado)	a*	-4,48 ± 0,74 ^c	0,31 ± 0,20 ^{ab}	0,01 ± 0,46 ^{ab}	1,17 ± 0,74 ^a	-0,85 ± 0,19 ^b	-0,88 ± 0,75 ^b	0,12 ± 0,35 ^{ab}
	b*	6,38 ± 2,30 ^{abc}	10,75 ± 0,76 ^a	9,19 ± 3,22 ^{ab}	4,15 ± 2,09 ^{bcd}	3,64 ± 1,31 ^{bcd}	2,04 ± 3,14 ^{cd}	-0,17 ± 0,47 ^d
Zanahoria Blanca (Macerado)	L*	67,43 ± 4,48 ^a	52,62 ± 3,43 ^d	53,60 ± 0,90 ^d	60,82 ± 1,67 ^{abc}	54,19 ± 1,76 ^{cd}	56,24 ± 1,64 ^{bcd}	61,77 ± 1,02 ^{ab}
	a*	-1,49 ± 0,61 ^c	1,84 ± 0,96 ^a	1,11 ± 0,08 ^{ab}	-0,07 ± 0,30 ^{bc}	0,72 ± 0,26 ^{ab}	0,10 ± 0,59 ^b	0,19 ± 0,52 ^b
Camote (Liofilizado)	b*	18,44 ± 2,77 ^a	15,37 ± 2,60 ^{ab}	12,47 ± 1,86 ^{abc}	10,88 ± 2,27 ^{bcd}	7,70 ± 0,85 ^{cd}	6,09 ± 2,12 ^d	8,52 ± 1,98 ^{cd}
	L*	30,67 ± 3,52 ^a	31,63 ± 0,45 ^a	31,84 ± 6,69 ^a	38,16 ± 2,38 ^a	37,85 ± 1,85 ^a	33,61 ± 0,26 ^a	37,89 ± 3,14 ^a
Papa Nativa (Liofilizado)	a*	4,40 ± 1,84 ^d	11,78 ± 1,02 ^{ab}	13,03 ± 2,44 ^a	14,33 ± 0,88 ^a	6,72 ± 1,28 ^{cd}	9,10 ± 0,59 ^{bc}	7,16 ± 0,61 ^{cd}
	b*	3,73 ± 2,71 ^{bc}	4,73 ± 0,93 ^{bc}	7,92 ± 2,55 ^{ab}	11,04 ± 0,50 ^a	7,10 ± 2,88 ^{ab}	0,67 ± 0,24 ^c	6,62 ± 1,26 ^{ab}
Zanahoria Blanca (Liofilizado)	L*	58,30 ± 2,35 ^{bc}	48,30 ± 0,42 ^d	57,61 ± 1,31 ^{bc}	62,41 ± 2,36 ^{ab}	53,88 ± 4,25 ^{cd}	64,12 ± 3,76 ^{ab}	66,85 ± 3,77 ^a
	a*	0,07 ± 1,61 ^c	4,53 ± 0,87 ^{ab}	6,54 ± 1,10 ^a	3,85 ± 2,30 ^{abc}	1,66 ± 1,49 ^{bc}	1,68 ± 0,41 ^{bc}	2,15 ± 2,20 ^{bc}
Zanahoria Blanca (Liofilizado)	b*	10,10 ± 1,95 ^c	17,30 ± 2,30 ^{abc}	21,33 ± 3,31 ^{ab}	20,97 ± 2,83 ^{ab}	13,85 ± 1,57 ^{bc}	22,57 ± 1,48 ^a	20,85 ± 5,05 ^{ab}
	L*	64,03 ± 6,12 ^a	61,42 ± 4,53 ^a	54,82 ± 2,99 ^{ab}	47,50 ± 3,82 ^b	63,64 ± 4,07 ^a	55,19 ± 2,87 ^{ab}	44,85 ± 0,42 ^b
	a*	1,43 ± 1,89 ^{bc}	3,84 ± 0,37 ^{abc}	4,90 ± 1,47 ^{ab}	1,32 ± 0,37 ^{bc}	0,74 ± 1,06 ^c	6,08 ± 2,10 ^a	6,84 ± 0,30 ^a
	b*	20,17 ± 1,23 ^a	22,36 ± 2,59 ^a	17,54 ± 3,81 ^a	7,64 ± 1,18 ^b	20,09 ± 2,22 ^a	10,61 ± 1,73 ^b	18,19 ± 0,76 ^a

Nota. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos de cada matriz vegetal mediante la prueba de comparación de Tukey ($\alpha=0,05$). Tratamientos: Ct (Control); T1, T2 y T3: Maceración en Kéfir de agua por 48, 96 y 144 h respectivamente; T4, T5 y T6: Maceración en Kombucha por 48, 96 y 144 h respectivamente.

Durante las etapas de maceración y liofilización, los parámetros de color L^* , a^* y b^* presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) como se muestra en la Tabla 4. En la maceración, la luminosidad (L^*) mostró un comportamiento diferencial. Mientras que en el camote y la zanahoria el descenso fue moderado, la papa nativa registró una disminución más marcada de 80,34 (Ct) a 54,46 (T3). Este oscurecimiento se asocia principalmente a la acción de la polifenoloxidasas sobre compuestos fenólicos, así como a modificaciones estructurales del tejido vegetal durante la maceración (**Bojer Rasmussen et al., 2021**). No obstante, los valores de L^* superiores a 50 en camote y zanahoria podrían indicar que los medios ácidos de kéfir y kombucha contribuyeron a limitar el pardeamiento enzimático.

En cuanto a la cromaticidad, los valores de a^* aumentaron en el camote de -2,87 a 10,18 en T1, lo que indica una mayor intensidad de tonos rojizos. Este cambio se relaciona con la presencia y liberación de antocianinas, pigmentos propios del camote morado, cuya coloración puede variar según el pH y las condiciones del procesamiento (**Vidal et al., 2018**). Por el contrario, en la zanahoria blanca se observó una disminución de b^* de 18,44 (Ct) a 6,09 (T5). Este comportamiento podría estar atribuido a la lixiviación de los pigmentos amarillos hacia el medio líquido, debido a la permeabilidad del tejido.

Después de la liofilización el camote presentó una reducción notable de la luminosidad en comparación con su estado macerado. Este fenómeno se atribuye a la concentración de sólidos resultante de la eliminación de agua (**Nowak & Jakubczyk, 2020**). No obstante, en las demás matrices mostraron valores de L^* relativamente estables después de su liofilización. Este hallazgo sugiere que la maceración podría ejercer un efecto protector contra el oscurecimiento excesivo durante el secado. Por otro lado, los valores de a^* y b^* permanecieron positivos y elevados. Esto indica que el secado a bajas temperaturas favorece la conservación de la intensidad cromática de los pigmentos naturales.

Estos resultados son comparables con los reportados en snacks vegetales tipo chips. En dichos productos, se han registrado valores de L^* entre 55,73 y 63,40, a^* entre 4,17 y 5,28 y b^* entre 18,78 y 18,84 (**Nemš et al., 2025**). En ese caso los valores obtenidos evidencian tonalidades claras con predominio de colores amarillos y rojizos. Aunque algunos tratamientos presentaron una menor luminosidad, los valores elevados de a^* y b^* indican una alta intensidad cromática. Esta característica compensa la percepción visual e influye positivamente en la aceptabilidad sensorial. En este sentido, los consumidores suelen asociar los colores intensos con una mayor naturalidad y calidad nutricional (**Kardas et al., 2024**).

En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos del análisis de la textura, mediante la fracturabilidad (N) de las tres matrices vegetales liofilizadas.

Tabla 5.

Fracturabilidad (N) de las tres matrices vegetales liofilizadas

Matriz Vegetal	Tratamientos							p-valor
	Ct	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Camote	12,15 ± 1,82 ^{ab}	15,1 ± 1,34 ^a	11,12 ± 1,91 ^{ab}	6,24 ± 4,47 ^b	9,64 ± 4,04 ^{ab}	11,58 ± 1,63 ^{ab}	11,38 ± 1,96 ^{ab}	0,046
Papa Nativa	8,69 ± 0,96	9,17 ± 3,70	9,25 ± 2,14	4,38 ± 1,59	8,71 ± 1,00	7,16 ± 2,56	7,54 ± 0,79	0.121
Zanahoria Blanca	6,42 ± 1,12 ^b	6,07 ± 2,22 ^b	5,91 ± 1,37 ^b	17,78 ± 0,92 ^a	9,87 ± 4,09 ^b	7,58 ± 2,66 ^b	6,22 ± 2,17 ^b	< 0,001

Nota. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos de cada matriz vegetal mediante la prueba de comparación de Tukey ($\alpha = 0,05$). Tratamientos: Ct (Control); T1, T2 y T3: Maceración en Kéfir de agua por 48, 96 y 144 h respectivamente; T4, T5 y T6: Maceración en Kombucha por 48, 96 y 144 h respectivamente.

Los resultados de fracturabilidad presentados en la Tabla 5 revelaron patrones diferenciados según la matriz vegetal. El hallazgo más relevante se observó en la zanahoria blanca, donde el tratamiento T3 alcanzó un valor de 17,78 N. Esta cifra fue significativamente superior ($p < 0,001$) al control y a los demás tratamientos. Este fenómeno se atribuye a los cambios estructurales inducidos por la maceración en un medio ácido. Dicho proceso puede modificar la organización de los polímeros de la pared celular (Bhatta et al., 2020). En consecuencia, se favorece la formación de una matriz más resistente tras la liofilización.

En el caso del camote, se observaron diferencias significativas ($p = 0,046$), aunque de menor magnitud que en la zanahoria blanca. Esto sugiere que su matriz es menos susceptible a los efectos del tratamiento. Tal comportamiento se asocia con la solubilización de las pectinas y el consecuente debilitamiento del tejido durante la maceración prolongada (Chigwedere et al., 2018). Por el contrario, la papa nativa no mostró diferencias significativas ($p = 0,121$), lo que indica una mayor estabilidad estructural. Esta resistencia se atribuye a su alto contenido de almidón, componente que contribuye a la formación de una matriz más estable tras el proceso de secado (Vásquez et al., 2017).

Se debe considerar que la fracturabilidad en productos liofilizados depende de la estructura porosa generada durante el secado y de la integridad celular propia de cada vegetal (Dziki, 2020). En este sentido, la maceración puede alterar la pared celular debido al medio ácido y la actividad microbiana. Estas modificaciones pueden influir directamente en la resistencia mecánica final del producto seco.

Estudios como el de **Lisiecka et al. (2023)** reportan valores de fracturabilidad entre 11,73 y 18,11 N en snacks de papa suplementados con zanahoria. Estos rangos son similares a los resultados obtenidos en la presente investigación. Desde una perspectiva sensorial, la fracturabilidad se relaciona directamente con la crocancia. Según **Lucas A et al. (2012)**, los valores altos se perciben como más crujientes, mientras que los valores bajos corresponden a texturas más ligeras. No obstante, los niveles extremos pueden ser desfavorables para la aceptabilidad del producto. Esto debido a que la fracturabilidad excesiva puede generar una dureza indeseada, mientras que una muy baja produce estructuras demasiado frágiles.

3.1.2. Determinación del mejor tratamiento de cada matriz vegetal mediante un análisis sensorial

En la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos de las comparaciones múltiples de los atributos sensoriales en la matriz de camote mediante la prueba de Friedman y Wilcoxon.

Tabla 6.

Comparaciones múltiples de los atributos sensoriales en la matriz de camote mediante la prueba de Friedman y Wilcoxon

Atributo	P-valor	Estadístico	T2-T1	T3-T1	T4-T1	T5-T1	T6-T1	Ct-T1	T3-T2	T4-T2	T5-T2	T6-T2	Ct-T2	T4-T3	T5-T3	T6-T3	Ct-T3	T5-T4	T6-T4	Ct-T4	T6-T5	Ct-T5	Ct-T6
Color	<0,001	Mediana 1	4	4	3	4	3	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3
		Mediana 2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3
		R ⁻	7	10	13	10	18	10	13	165	10	19	13	17	10	18	16	5	9	1	16	10	1
		Número de casos	12	14	4	12	4	6	12	5	10	3	7	5	11	4	10	16	4	9	3	7	13
		R ⁺	12	14	4	12	4	6	12	5	10	3	7	5	11	4	10	16	4	9	3	7	13
		E ⁼	11	6	13	8	8	14	5	9	10	9	10	8	9	8	4	9	17	20	11	13	16
Olor	0,272	Sig. Asin	0,241	0,515	0,061	0,650	0,010	0,609	0,724	0,014	0,539	0,003	0,112	0,018	0,506	0,002	0,186	0,039	0,134	0,013	0,011	0,390	0,002
		Mediana 1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		R ⁻	6	6	14	12	7	8	8	12	13	8	12	15	13	11	11	7	8	8	6	8	15
		Número de casos	9	7	8	7	9	6	7	5	6	5	7	5	6	9	8	11	13	12	11	10	10
		R ⁺	9	7	8	7	9	6	7	5	6	5	7	5	6	9	8	11	13	12	11	10	10
Sabor	0,004	E ⁼	15	17	8	11	14	16	15	13	11	17	11	11	11	10	11	12	9	10	13	12	5
		Sig. Asin	0,518	0,658	0,170	0,124	0,819	0,360	0,858	0,048	0,083	0,617	0,257	0,095	0,056	0,906	0,280	0,800	0,127	0,408	0,145	0,446	0,425
		Mediana 1	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
		R ⁻	8	6	8	10	12	6	5	13	11	12	10	14	10	17	14	7	11	3	11	5	6
		R ⁺	8	6	8	10	12	6	5	13	11	12	10	14	10	17	14	7	11	3	11	5	6

Número	R ⁺	11	15	8	9	6	10	10	6	8	5	5	1	2	1	2	7	5	8	6	8	12
de casos	E ⁼	11	9	14	11	12	14	15	11	11	13	15	15	18	12	14	16	14	19	13	17	12
Sig.Asín		0,498	0,040	0,508	0,563	0,115	0,915	0,162	0,304	0,357	0,022	0,655	0,006	0,038	0,001	0,003	0,868	0,206	0,285	0,310	0,452	0,089
Mediana 1	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mediana 2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
Textura																						
<0,001																						
Número	R ⁺	4	1	5	2	0	3	6	14	12	11	8	18	15	18	14	8	9	4	9	9	5
de casos	R ⁺	16	22	13	12	8	17	15	9	8	6	11	3	4	3	5	9	11	10	7	15	12
E ⁼	E ⁼	10	7	12	16	22	10	9	7	10	13	11	9	11	9	11	13	10	16	14	6	13
Sig.Asín		0,003	<0,001	0,091	0,079	0,010	0,001	0,014	0,102	0,305	0,123	0,787	<0,001	0,004	<0,001	0,009	0,655	0,938	0,117	0,893	0,316	0,082
Mediana 1	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mediana 2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
Aceptabilidad																						
<0,001																						
Número	R ⁺	5	3	9	8	6	8	3	11	12	9	10	19	18	19	17	7	6	3	5	4	5
de casos	R ⁺	7	19	7	4	3	13	17	6	7	5	8	1	1	1	1	5	8	10	7	13	10
E ⁼	E ⁼	18	8	14	18	21	9	10	13	11	16	12	10	11	10	12	18	16	17	18	13	15
Sig.Asín		0,248	0,001	0,617	0,197	0,564	0,414	0,005	0,248	0,124	0,182	0,909	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,439	0,973	0,367	0,439	0,115	0,227

Nota. Tratamientos: Ct (Control); T1, T2 y T3: Maceración en Kéfir de agua por 48, 96 y 144 h respectivamente; T4, T5 y T6: Maceración en Kombucha por 48, 96 y 144 h respectivamente.

El análisis sensorial del camote presentado en la Tabla 6 evidencia que las preferencias de los catadores no se concentran en un único tratamiento de forma absoluta. Sino que responden a tendencias asociadas al tiempo y medio de maceración. En este caso particularmente en los atributos de sabor, textura y aceptabilidad, donde existieron diferencias significativas ($p < 0,05$).

En el atributo color, la prueba de Friedman mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,001$). Los tratamientos T2 y T3 presentaron mayor aceptación, destacándose en las comparaciones pareadas de Wilcoxon frente a T4 y T6. Esta preferencia podría atribuirse a la acidificación moderada generada por el kéfir. **Zhu et al. (2022)** mencionan que la fermentación láctica del camote favorece la estabilidad de pigmentos sensibles al pH, como las antocianinas lo que puede contribuir a tener tonalidades más atractivas.

En el atributo olor, la prueba de Friedman no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,272$). Además, el elevado número de empates entre catadores indicó una baja capacidad de discriminación sensorial entre las muestras. Esto podría atribuirse a que los aromas generados durante la maceración no alcanzaron concentraciones superiores al umbral de percepción sensorial o se enmascararon entre sí.

En el atributo sabor, la prueba de Friedman mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,004$). El tratamiento T3 presentó mayor preferencia por parte de los catadores, lo cual también se evidenció en las comparaciones pareadas de Wilcoxon, donde mostró diferencias significativas frente a T1, T4, T5, T6 y Ct. Esta aceptación podría relacionarse con la maceración prolongada en el kéfir de agua. Según **Tavares et al. (2023)** esto favorece la producción de ácido láctico y puede reducir parcialmente la dulzura natural del camote. De esta manera se genera un perfil más equilibrado y agradable.

La textura mostró diferencias altamente significativas ($p < 0,001$), destacando una clara preferencia de los catadores por el tratamiento T3. Según la prueba de Wilcoxon, este tratamiento presentó una aceptabilidad superior y diferencias significativas en las comparaciones por pares frente a los tratamientos T1, T2, T4, T6 y Ct. Los resultados sugieren que los tiempos de maceración más prolongados favorecen el desarrollo de una textura blanda y agradable al paladar, la cual está reflejada en la fracturabilidad (6,24 N). De acuerdo con **Gangakhedkar et al. (2025)** reportan que la fermentación prolongada en vegetales modifica componentes de la pared celular, como pectinas y polisacáridos. Esto puede mejorar la percepción sensorial de la textura. No obstante, este efecto resulta favorable siempre que la fermentación producida por la maceración no genere un ablandamiento excesivo.

El análisis de aceptabilidad general mediante la prueba de Friedman reveló diferencias altamente significativas ($p < 0,001$), posicionando al tratamiento T3 como el de mayor agrado. La prueba de Wilcoxon corroboró esta tendencia, mostrando una preferencia superior de los catadores con diferencias significativas en todas las comparaciones pareadas frente a T1, T2, T4, T5, T6 y Ct. Como afirma **Maataoui et al. (2025)** la aceptación global no depende de un único atributo, sino de la interacción de otros. En este caso el sabor y textura, los cuales muestran tendencias similares por el tratamiento T3, teniendo una mediana de 4 (Me gusta mucho). En conjunto, los resultados sugieren una mayor preferencia por tratamientos de camote sometidos a tiempos prolongados de maceración en kéfir de agua. Sin embargo, esta tendencia no representó una preferencia absoluta entre todos los catadores.

En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos de las comparaciones múltiples de los atributos sensoriales en la matriz de papa nativa mediante la prueba de Friedman y Wilcoxon.

Tabla 7.

Comparaciones múltiples de los atributos sensoriales en la matriz de papa nativa mediante la prueba de Friedman y Wilcoxon

Atributo	P-valor	Estadístico	T2-T1	T3-T1	T4-T1	T5-T1	T6-T1	Ct-T1	T3-T2	T4-T2	T5-T2	T6-T2	Ct-T2	T4-T3	T5-T3	T6-T3	Ct-T3	T5-T4	T6-T4	Ct-T4	T6-T5	Ct-T5	Ct-T6
Color	<0,001	Mediana 1	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		Número R ⁻	9	0	5	3	6	3	0	7	3	7	4	12	10	11	12	5	7	6	7	4	7
		de R ⁺	8	17	11	14	14	13	18	13	15	14	15	3	4	6	4	8	11	8	6	3	8
		casos E ⁼	13	13	14	13	10	14	12	10	12	9	11	15	16	13	14	17	12	16	17	23	15
		Sig. Asin	0,685	<0,001	0,155	0,022	0,029	0,006	<0,001	0,118	0,006	0,009	0,004	0,052	0,152	0,110	0,108	0,206	0,268	0,165	0,782	1,000	0,830
		Mediana 1	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
		Número R ⁻	5	2	8	12	12	7	1	8	11	9	8	14	14	15	10	13	12	8	2	5	5
		de R ⁺	5	12	5	5	4	9	10	4	4	3	8	1	2	2	3	5	5	10	7	11	1
Olor	<0,001	casos E ⁼	20	16	17	13	14	14	19	18	15	18	14	15	14	13	17	12	13	12	21	14	14
		Sig. Asin	0,782	0,007	0,405	0,012	0,064	0,978	0,008	0,248	0,015	0,052	0,829	0,001	0,001	0,004	0,033	0,027	0,149	0,559	0,361	0,023	0,082
		Mediana 1	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	4
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
		Número R ⁻	5	2	8	12	12	7	1	8	11	9	8	14	14	15	10	13	12	8	2	5	5
		de R ⁺	5	12	5	5	4	9	10	4	4	3	8	1	2	2	3	5	5	10	7	11	1
		casos E ⁼	20	16	17	13	14	14	19	18	15	18	14	15	14	13	17	12	13	12	21	14	14
		Sig. Asin	0,782	0,007	0,405	0,012	0,064	0,978	0,008	0,248	0,015	0,052	0,829	0,001	0,001	0,004	0,033	0,027	0,149	0,559	0,361	0,023	0,082
		Mediana 1	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	4
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
Sabor	<0,001	Número R ⁻	6	1	6	6	8	6	2	14	9	15	13	18	15	17	17	2	9	8	9	12	11
		de R ⁺	19	21	12	13	11	12	11	4	6	8	5	1	1	2	0	8	6	10	4	8	12
		casos E ⁼	5	8	12	11	11	12	17	12	15	7	12	11	14	11	13	20	15	12	17	10	7
		Mediana 1	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	4
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
		Número R ⁻	6	1	6	6	8	6	2	14	9	15	13	18	15	17	17	2	9	8	9	12	11
		de R ⁺	19	21	12	13	11	12	11	4	6	8	5	1	1	2	0	8	6	10	4	8	12
		casos E ⁼	5	8	12	11	11	12	17	12	15	7	12	11	14	11	13	20	15	12	17	10	7
		Mediana 1	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	4
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3

	Sig.Asín	0,026	<0,001	0,451	0,097	0,263	0,157	0,010	0,027	0,152	0,135	0,106	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,145	0,928	0,314	0,617	0,904	0,695
Textura	Mediana 1	4	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3	4	4	4	4	3	4	3	4	4
	Mediana 2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3
	Número R-	6	6	9	6	7	9	4	12	5	8	12	19	8	12	13	3	7	6	17	12	8
	Número R+	12	18	12	19	12	13	10	4	15	8	9	3	9	4	5	16	9	13	2	7	10
casos E=	12	6	9	5	11	9	16	14	14	10	14	9	8	13	14	12	11	14	11	11	12	
Sig.Asín	0,043	0,002	0,783	0,001	0,257	0,071	0,166	0,033	0,150	0,342	0,662	0,010	0,883	0,055	0,058	0,001	0,473	0,086	0,003	0,077	0,545	
Aceptabilidad 0,130	Mediana 1	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3
	Mediana 2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3
	Número R-	4	7	11	7	11	6	10	13	7	14	10	13	7	10	8	4	10	7	15	8	5
	Número R+	11	12	7	12	9	8	8	3	7	3	6	9	9	7	8	13	6	11	6	6	8
casos E=	14	11	12	11	10	16	12	14	14	16	13	14	8	14	13	14	13	14	12	9	16	17
Sig.Asín	0,252	0,279	0,319	0,32	0,327	0,628	0,616	0,02	0,646	0,037	0,388	0,088	0,868	0,132	0,804	0,018	0,789	0,12	0,065	0,527	0,136	

Nota. Tratamientos: Ct (Control); T1, T2 y T3: Maceración en Kéfir de agua por 48, 96 y 144 h respectivamente; T4, T5 y T6: Maceración en Kombucha por 48, 96 y 144 h respectivamente.

El análisis sensorial de la papa nativa evidenciada en la Tabla 7. Se encontraron diferencias altamente significativas en el atributo de color, olor, sabor y textura ($p < 0,001$). Mientras que en la aceptabilidad general no se encontraron diferencias significativas ($p = 0,13$).

El análisis del atributo color mediante la prueba de Friedman reveló diferencias significativas ($p < 0,001$), con una marcada preferencia hacia los tratamientos T3, T5 y T6. La prueba de Wilcoxon corroboró este resultado, destacando la superioridad de estos tratamientos en las comparaciones por pares, especialmente frente a T1 y T2. Estos hallazgos sugieren que, si bien existen variaciones en el color, los cambios visuales no afectaron negativamente la percepción visual del producto. Este fenómeno se apoya en lo reportado por **Blessington et al. (2010)**, quienes señalan que los pigmentos fenólicos en tubérculos como la papa nativa mantienen una estabilidad relativa ante procesos de transformación moderados. Dicha estabilidad habría contribuido a preservar una apariencia visual atractiva tras el proceso de maceración y liofilización.

La evaluación del atributo olor mediante la prueba de Friedman reveló diferencias significativas ($p < 0,001$). El tratamiento T3 destacó como el preferido por los panelistas. Esto se confirmó en las comparaciones por pares de Wilcoxon frente a los demás grupos T1, T2, T4, T5, T6 y Ct, evidenciado por las diferencias significativas. Este resultado sugiere que la maceración prolongada podría generar una mayor concentración de compuestos aromáticos agradables en la matriz vegetal. En este sentido **Wang et al. (2025)** señalan que la fermentación de tubérculos puede incrementar la formación de compuestos aromáticos volátiles como ácidos y alcoholes que mejoran el perfil aromático.

El análisis del sabor reveló diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,001$), consolidando al T3 como la muestra de mayor aceptabilidad. De acuerdo con la prueba de Wilcoxon, este tratamiento fue el más preferido por los panelistas y presentó diferencias estadísticas marcadas en todas las comparaciones por pares (T1, T2, T4, T5, T6 y Ct). Estos resultados sugieren que los mayores tiempos de maceración en el medio fermentativo favorecieron cambios en el perfil organoléptico de la papa. Esto podría atribuirse a la producción de ácidos orgánicos y compuestos aromáticos derivados de la actividad microbiana, los cuales contribuyen a mejorar la percepción sensorial del producto.

En el atributo textura se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,001$), destacando T5 como el más preferido por los panelistas. La prueba de Wilcoxon mostró diferencias significativas frente a T1, T4 y T6. Este comportamiento podría atribuirse al efecto de la acidez de la kombucha sobre la estructura celular de la papa. En este caso la textura puede resultar más firme y con una fracturabilidad intermedia (7,16 N) respecto a los demás tratamientos. Según **Leahu et al. (2025)** una textura con resistencia moderada a la fracturabilidad puede percibirse como más agradables sensorialmente. Esto debido a que generan una sensación equilibrada entre firmeza y facilidad de masticación.

En la aceptabilidad general, la ausencia de diferencias significativas ($p = 0,13$) y el alto número de empates indican que los catadores no perciben diferencias globales marcadas entre tratamientos. Este comportamiento coincide con estudios sensoriales que indican que la aceptabilidad global depende de la integración de múltiples atributos sensoriales del producto (**Ayobami et al., 2023**). En síntesis, la papa nativa presentó una tendencia a tiempos de maceración más prolongados en kéfir de agua especialmente en el tratamiento T3 con una mediana de 4 (Me gusta), en los atributos de color, olor y sabor. Mientras que la textura puede beneficiarse de tratamientos en kombucha. Sin que esto genere una diferenciación clara en la aceptabilidad general.

En la Tabla 8 se evidencian los resultados obtenidos de las comparaciones múltiples de los atributos sensoriales en la matriz de zanahoria blanca mediante la prueba de Friedman y Wilcoxon.

Tabla 8.

Comparaciones múltiples de los atributos sensoriales en la matriz de zanahoria blanca mediante la prueba de Friedman y Wilcoxon

Atributo	P-valor	Estadístico	T2-T1	T3-T1	T4-T1	T5-T1	T6-T1	Ct-T1	T3-T2	T4-T2	T5-T2	T6-T2	Ct-T2	T4-T3	T5-T3	T6-T3	Ct-T3	T5-T4	T6-T4	Ct-T4	T6-T5	Ct-T5	Ct-T6
Color	<0,001	Mediana 1	3	3	4	4	3	4	3	4	4	3	4	4	4	3	4	4	3	4	3	4	4
		Mediana 2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3
		Número de	14	14	9	9	16	16	8	4	6	10	3	4	6	15	3	14	20	5	17	8	4
		R ⁺	5	8	15	9	6	6	16	21	13	7	22	13	12	6	15	7	4	7	4	4	14
		casos E ⁼	11	8	6	12	8	8	6	5	11	13	5	13	12	9	12	9	6	18	9	8	5
		Sig. Asin	0,038	0,251	0,246	0,833	0,010	0,063	0,513	0,001	0,035	0,488	0,001	0,017	0,133	0,172	0,002	0,456	0,002	0,248	0,003	0,061	<0,001
		Mediana 1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Mediana 2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Número de	14	16	11	12	10	14	10	4	3	6	7	7	5	4	8	7	8	5	6	9	12
		R ⁺	1	3	2	2	2	2	4	6	4	8	5	12	10	12	10	6	8	1	6	6	6
Olor	0,002	casos E ⁼	15	11	17	16	18	14	16	20	23	16	18	11	15	14	12	17	14	24	18	15	12
		Sig. Asin	0,005	0,005	0,035	0,021	0,029	0,003	0,454	0,405	0,705	0,808	0,509	0,246	0,31	0,311	0,768	0,617	0,653	0,084	1,000	0,415	0,433
		Mediana 1	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	4
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Número de	13	16	14	12	15	16	11	12	9	10	15	5	6	6	8	5	6	8	8	10	11
		R ⁻	13	16	14	12	15	16	11	12	9	10	15	5	6	6	8	5	6	8	8	10	11
		R ⁺	11	6	7	8	7	4	2	5	4	7	6	10	11	13	11	6	9	4	9	5	5
		Sig. Asin	0,005	0,005	0,035	0,021	0,029	0,003	0,454	0,405	0,705	0,808	0,509	0,246	0,31	0,311	0,768	0,617	0,653	0,084	1,000	0,415	0,433
		Mediana 1	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	4
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Sabor	0,033	Número de	13	16	14	12	15	16	11	12	9	10	15	5	6	6	8	5	6	8	8	10	11
		R ⁻	13	16	14	12	15	16	11	12	9	10	15	5	6	6	8	5	6	8	8	10	11
		R ⁺	11	6	7	8	7	4	2	5	4	7	6	10	11	13	11	6	9	4	9	5	5
		Sig. Asin	0,005	0,005	0,035	0,021	0,029	0,003	0,454	0,405	0,705	0,808	0,509	0,246	0,31	0,311	0,768	0,617	0,653	0,084	1,000	0,415	0,433
		Mediana 1	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	4
		Mediana 2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Número de	13	16	14	12	15	16	11	12	9	10	15	5	6	6	8	5	6	8	8	10	11
		R ⁻	13	16	14	12	15	16	11	12	9	10	15	5	6	6	8	5	6	8	8	10	11
		R ⁺	11	6	7	8	7	4	2	5	4	7	6	10	11	13	11	6	9	4	9	5	5
		Sig. Asin	0,005	0,005	0,035	0,021	0,029	0,003	0,454	0,405	0,705	0,808	0,509	0,246	0,31	0,311	0,768	0,617	0,653	0,084	1,000	0,415	0,433

Número de																						
casos	E=	6	8	9	10	8	10	17	13	17	13	9	15	13	11	11	19	15	18	13	15	14
Sig.Asín		0,963	0,013	0,292	0,408	0,502	0,007	0,007	0,240	0,238	0,290	0,038	0,097	0,085	0,056	0,729	0,813	0,854	0,169	1,000	0,140	0,134
Mediana 1		4	2	3	3	3	2	2	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	2	3	2	2
Mediana 2		3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
Número	R-	12	19	10	11	11	17	14	12	11	12	14	4	2	4	8	8	8	15	9	14	14
Textura	de	9	2	8	8	4	3	1	7	10	5	5	13	15	10	8	12	6	5	6	2	6
casos	E=	9	9	12	11	15	10	15	11	9	13	11	13	13	16	14	10	16	10	15	14	10
Sig.Asín		0,898	0,003	0,437	0,918	0,455	0,001	0,001	0,295	0,488	0,169	0,003	0,017	0,004	0,048	0,869	0,420	0,593	0,005	0,295	0,008	0,025
Mediana 1		4	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3
Mediana 2		3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3
Número	R-	8	15	13	7	11	19	14	10	6	7	17	1	1	1	8	3	5	15	10	21	16
Aceptabilidad	de	10	1	5	7	6	0	1	5	8	6	4	14	18	15	7	11	8	3	4	2	1
casos	E=	12	14	12	16	13	11	15	15	16	17	9	15	11	14	15	16	17	12	16	7	13
Sig.Asín		0,628	<0,001	0,106	0,948	0,302	<0,001	0,001	0,302	0,847	0,475	0,002	0,001	<0,001	<0,001	0,796	0,184	0,499	0,003	0,225	<0,001	<0,001

Nota. Tratamientos: Ct (Control); T1, T2 y T3: Maceración en Kéfir de agua por 48, 96 y 144 h respectivamente; T4, T5 y T6: Maceración en Kombucha por 48, 96 y 144 h respectivamente.

La evaluación sensorial de la zanahoria blanca presentó diferencias significativas en todos los atributos ($p < 0,05$) como se evidencia en la Tabla 8. Estos resultados confirman que los panelistas distinguieron claramente las variaciones entre tratamientos, lo que demuestra que el procesamiento moduló efectivamente el perfil de atributos de la matriz vegetal.

El análisis del atributo de color reveló diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,001$), destacando una mayor preferencia hacia el T4 y el Ct. Según la prueba de Wilcoxon mostraron diferencias estadísticas significativas en las comparaciones por pares frente a T2, T3 y T6. Estos resultados sugieren que los panelistas aceptan mejor las modificaciones leves o la preservación del color natural tras el proceso de liofilización. En contraste, los tiempos de maceración prolongados podrían afectar negativamente la apariencia de la matriz vegetal. Este comportamiento coincide con lo reportado por **Pandiselvam et al. (2023)**, que señalan que los vegetales con menor intensidad de color como la zanahoria blanca, son más susceptibles a cambios visuales no deseados durante su procesamiento.

El análisis del atributo del olor reveló diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,002$), con una marcada preferencia hacia T1. La prueba de Wilcoxon mostró que este tratamiento presentó diferencias significativas frente a T2, T3, T4, T5, T6 y Ct. Estos resultados sugieren que los panelistas prefirieron aromas más cercanos a las características originales de la zanahoria blanca. Este comportamiento podría explicarse por el perfil aromático suave del tubérculo, el cual puede alterarse durante procesos de maceración prolongados. En dichos casos, la fermentación puede generar compuestos aromáticos intensos que modifican el olor inicial. En consecuencia, una menor intervención fermentativa habría favorecido la preservación de la calidad aromática y la aceptación sensorial.

El análisis del sabor reveló diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,033$), destacando una mayor preferencia hacia T1 y T2. La prueba de Wilcoxon mostró diferencias significativas de estos tratamientos frente a T3 y Ct, consolidándolos como las muestras de mayor aceptación sensorial. Estos resultados sugieren que los panelistas prefirieron tratamientos con modificaciones leves del perfil sensorial de la zanahoria blanca. Este comportamiento podría relacionarse con el sabor suave característico del vegetal. Dicho sabor a su vez puede verse enmascarado por notas ácidas y fermentativas más intensas durante maceraciones prolongadas (**Wieczorek & Drabińska, 2022**). En consecuencia, un menor tiempo de maceración habría favorecido la conservación de las características sensoriales propias del vegetal.

El análisis de la textura reveló diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,001$). Los panelistas no mostraron preferencia por un único tratamiento, sino por varios destacando al T1, T2, T4, T5 y T6. La prueba de Wilcoxon indicó diferencias significativas de estos tratamientos frente a T3 y Ct. Este comportamiento podría relacionarse con las modificaciones estructurales generadas durante la

maceración, las cuales también se reflejaron en las diferencias observadas en la fracturabilidad ($p < 0,001$). Los tratamientos con mayor aceptación presentaron texturas más equilibradas, lo que pudo favorecer su aceptación sensorial. De acuerdo con **Cappellotto & Olsen (2021)** texturas moderadas suelen percibirse como más agradables durante la masticación. Aunque T6 también correspondió a una maceración prolongada, su aceptación podría relacionarse con la composición y acidez propias de la kombucha que no modifican negativamente la textura del vegetal.

El análisis de la aceptabilidad general reveló diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,001$), destacando una mayor aceptación hacia T1, T2, T4, T5 y T6. La prueba de Wilcoxon indicó que estos tratamientos superaron estadísticamente a T3 y Ct. Entre ellos, T1 con una mediana de 4 (Me gusta) presentó una aceptación más consistente, asociada a su mejor valoración en los atributos de olor, sabor y textura. Estos resultados sugieren que los panelistas prefirieron tratamientos con modificaciones sensoriales más leves y características más cercanas al perfil original de la zanahoria blanca. **Huang et al. (2024)** menciona que en vegetales de perfil sensorial suave es mejor aceptado sus características propias. En conjunto, los resultados indican una tendencia de preferencia por tiempos cortos de maceración, especialmente en kéfir de agua.

3.1.3. Evaluación de la viabilidad de microorganismos probióticos y las propiedades fisicoquímicas del mejor tratamiento de cada matriz vegetal

3.1.3.1. Propiedades fisicoquímicas de los mejores tratamientos

En la Tabla 9 se presentan los resultados obtenidos del contenido de humedad y actividad de agua del tratamiento con mayor aceptación sensorial.

Tabla 9.

Contenido de humedad y actividad de agua del tratamiento con mayor aceptación sensorial en cada matriz vegetal

Matriz Vegetal	Tratamiento	Humedad (%)	Actividad de agua (a_w)
Camote	T3	5,96	0,30
Papa Nativa	T3	7,76	0,46
Zanahoria Blanca	T1	5,41	0,26

Nota. T1 y T3: Maceración en Kéfir de agua por 48 y 144 h respectivamente.

Los valores de humedad (5,41–7,76 %) y actividad de agua (0,26–0,46) presentados en la Tabla 9 fueron característicos de productos liofilizados, evidenciando una elevada eliminación de agua libre. En este sentido **Ciurzyńska et al. (2021)** indican que valores bajos de contenido de humedad y una a_w inferior a 0,6 limita significativamente el crecimiento microbiano, mejorando la estabilidad del producto.

Las diferencias observadas entre matrices pueden explicarse por su composición estructural. La zanahoria blanca (T1) presentó los valores más bajos, lo que sugiere una mayor eficiencia en la eliminación de agua. Esto puede relacionarse con su estructura celular que facilita la sublimación del hielo durante la liofilización. Por el contrario, la papa nativa (T3) mostró los valores más altos de humedad y a_w . Este comportamiento puede atribuirse a la capacidad del almidón de retener agua, incluso después del secado (J. Zhang et al., 2024).

Los resultados obtenidos son consistentes con investigaciones previas sobre alimentos liofilizados. Según Nowak & Jakubczyk (2020), este proceso reduce la humedad a niveles inferiores al 10 % y la actividad de agua a valores generalmente menores a 0,4. Asimismo, los datos cumplen con la normativa NTE INEN 2996, la cual establece que la humedad máxima para este tipo de productos no debe superar el 12 %. Estas condiciones garantizan la estabilidad del producto y prolongan su vida útil.

3.1.3.2. Composición proximal de los mejores tratamientos

En la Tabla 10 se muestran los resultados obtenidos de la composición proximal de los tratamientos con mayor aceptación sensorial en cada matriz vegetal.

Tabla 10.

Composición proximal del tratamiento con mayor aceptación sensorial en cada matriz vegetal

Matriz Vegetal	Tratamiento	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra dietética (%)	Carbohidratos (%)	Cenizas (%)
Camote	T3	4,21	0	10,00	84,52	1,27
Papa Nativa	T3	4,00	0	8,02	86,77	1,21
Zanahoria Blanca	T1	2,27	0,37	6,04	89,71	1,61

Nota. T1 y T3: Maceración en Kéfir de agua por 48 y 144 h respectivamente.

La composición proximal de cada matriz vegetal presentada en la Tabla 10, mostraron diferencias. Dichas diferencias están relacionadas con la naturaleza de cada materia prima y con el efecto del procesamiento realizado. El contenido de proteína fue mayor en el camote (4,21 %), seguido de la papa nativa (4,00 %) y la zanahoria blanca (2,27 %). Estos valores coinciden con valores reportados en raíces y tubérculos, cuyos contenidos proteicos generalmente oscilan entre 2 y 10 % en base seca (Leidi et al., 2018). Aunque el contenido proteico fue moderado, este componente posee importancia nutricional. De acuerdo con Cerda-Mejía et al. (2017) la proteína tiene varias funciones como la formación y reparación de tejidos, además de participar en diversos procesos metabólicos. Las diferencias observadas podrían asociarse a la pérdida parcial de compuestos nitrogenados solubles durante la

maceración, especialmente en tratamientos prolongados. Además, de las diferencias estructurales entre las matrices vegetales que condicionan la retención de estos compuestos.

En cuanto al contenido de grasa, los valores resultaron no detectables en las matrices de camote y papa nativa, mientras que la zanahoria blanca presentó una concentración baja (0,37 %). De acuerdo con **Tsaltas et al. (2025)** resaltan este tipo de vegetales presenta valores muy bajos de este componente nutricional. La ausencia de grasa detectable podría relacionarse con las bajas concentraciones iniciales y con pérdidas favorecidas por la maceración prolongada en un medio ácido como el kéfir de agua. Desde el punto de vista nutricional, el bajo contenido lipídico representa una característica favorable. Según **Geng et al. (2023)** ayuda a reducir el aporte calórico y favorece una mayor estabilidad del producto frente a la degradación oxidativa durante el almacenamiento.

Los carbohidratos representaron el componente predominante en todas las matrices, destacando la zanahoria blanca (89,71 %), seguida de la papa nativa (86,77 %) y el camote (84,52 %). **Suzuki et al. (2022)** mencionan que este comportamiento se relaciona con la función de estos vegetales como fuentes de reserva energética, principalmente en forma de almidón. Los carbohidratos constituyen además una de las principales fuentes de energía en la dieta, por lo que su elevada proporción incrementa el potencial energético del producto (**Arshad et al., 2025**). Asimismo, la liofilización favorece un efecto de concentración de sólidos al eliminar agua, incrementando proporcionalmente el contenido de carbohidratos.

Respecto a la fibra dietética, el camote presentó el valor más alto (10 %), seguido de la papa nativa (8,02 %) y la zanahoria blanca (6,04 %). La fibra está asociada principalmente a componentes estructurales como celulosa, hemicelulosas y pectinas. Desde el punto de vista nutricional, la fibra dietética contribuye al adecuado funcionamiento intestinal y se relaciona con efectos beneficiosos sobre la microbiota y el control glucémico (**He et al., 2022**). Por ello, un mayor contenido de fibra sugiere además un mayor potencial funcional. **Medina-Tambaco et al. (2018)** indican que matrices con mayor proporción de fibra tienden a conservar estructuras más rígidas durante procesos de deshidratación. En contraste, la menor fibra observada en zanahoria blanca podría relacionarse con una estructura menos compacta y una mayor facilidad para la eliminación de agua durante la liofilización.

El contenido de materia inorgánica (cenizas) presentó valores de 1,61 % en zanahoria blanca, 1,27 % en camote y 1,21 % en papa nativa. Estos resultados se encuentran dentro de los rangos reportados para raíces y tubérculos deshidratados. Estos vegetales se caracterizan por aportar minerales como potasio, calcio, fósforo y magnesio (**Chandrasekara & Josheph Kumar, 2016b**). Desde el punto de vista nutricional, estos minerales participan en funciones importantes relacionadas con el equilibrio osmótico, la función muscular y la salud ósea (**Weyh et al., 2022**). El mayor valor observado en la zanahoria blanca sugiere una mayor retención mineral, posiblemente favorecida por el menor tiempo

de maceración aplicado. En cambio, los menores valores observados en camote y papa nativa podrían relacionarse con la pérdida de minerales debido a la lixiviación causada por la maceración de tiempo prolongado.

3.1.3.3. Análisis de la viabilidad de microorganismos probióticos

En la Tabla 11 se presentan los resultados obtenidos en el recuento de bacterias ácido-lácticas en las matrices vegetales liofilizadas.

Tabla 11.

Recuento de bacterias ácido-lácticas en las matrices vegetales liofilizadas

Matriz vegetal	Tratamiento	Resultado obtenido (UFC/g)
Camote	T3	$1,46 * 10^6$
Papa Nativa	T3	$1,82 * 10^6$
Zanahoria Blanca	T1	$9,4 * 10^5$

Los resultados de la Tabla 11 evidenciaron la presencia de bacterias ácido-lácticas (BAL) viables en todas las matrices vegetales maceradas en kéfir de agua y posteriormente liofilizadas. La papa nativa presentó el mayor recuento ($1,82 \times 10^6$ UFC/g), seguida del camote ($1,46 \times 10^6$ UFC/g), mientras que la zanahoria blanca mostró el menor valor ($9,4 \times 10^5$ UFC/g).

La mayor viabilidad observada en la papa nativa y el camote puede asociarse a su tratamiento (T3). En este contexto, un mayor tiempo de maceración puede favorecer la adaptación y proliferación de las bacterias ácido lácticas. Esto puede estar asociado a una mayor disponibilidad de azúcares fermentables, así como los compuestos liberados por degradación parcial de la matriz vegetal (**Kumar & Verma, 2024**). En contraste, la zanahoria blanca (T1) debido a su menor exposición al tiempo de maceración, posiblemente limitó el crecimiento microbiano. Esto redujo la concentración final de BAL viables después del proceso de liofilización.

Se debe considerar diversos autores como **Fekete et al. (2025)**, indican que los alimentos funcionales con potencial probiótico deben presentar concentraciones mínimas de 10^6 y 10^7 UFC/g o ml al momento del consumo. Los resultados obtenidos en la papa nativa y el camote alcanzaron valores superiores al umbral mínimo reportado. En cambio, la zanahoria blanca presentó valores ligeramente inferiores. Sin embargo, estos valores aún se encuentran por debajo de las concentraciones de 10^9 UFC por porción diaria establecidas por la **FAO (2018)** para considerar a un alimento probiótico.

No obstante, cabe recalcar que la viabilidad microbiana no constituye el único criterio para clasificar un alimento como probiótico (**Terpou et al., 2019**). Esto debido a que se requieren estudios

relacionados con la identificación de cepas, estabilidad durante el almacenamiento, supervivencia gastrointestinal, efectos fisiológicos demostrados y consumo continuo con dosis adecuadas (Hui Yan et al., 2021; FAO 2018).

La viabilidad observada después de la liofilización sugiere además que las matrices vegetales actuaron parcialmente como protectores naturales frente al secado, posiblemente por la presencia de almidones, fibras y azúcares. Esto pudo favorecer una mayor estabilidad de las BAL, especialmente en la papa nativa y camote.

3.1.3.4. Análisis de criterios microbiológicos de calidad e inocuidad

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de calidad y seguridad del mejor tratamiento de cada matriz vegetal.

Tabla 12.

Análisis microbiológicos de calidad y seguridad

Matriz vegetal	Tipo de análisis	Resultado obtenido (UFC/g)	Límite de aceptación (UFC/g)	Normativa aplicada
Camote	Aerobios mesófilos	< 10	10 ⁴	NTE INEN 2561
	<i>E.coli</i>	Ausencia	Ausencia	NTE INEN 2561
	Coliformes totales	< 10	< 10	NTE INEN 2561
	Mohos y Levaduras	< 10	10 ³	NTE INEN 2996
Papa Nativa	Aerobios mesófilos	< 10	10 ⁴	NTE INEN 2561
	<i>E.coli</i>	Ausencia	Ausencia	NTE INEN 2561
	Coliformes totales	< 10	< 10	NTE INEN 2561
	Mohos y Levaduras	3 * 10 ²	10 ³	NTE INEN 2996
Zanahoria Blanca	Aerobios mesófilos	< 10	10 ⁴	NTE INEN 2561
	<i>E.coli</i>	Ausencia	Ausencia	NTE INEN 2561
	Coliformes totales	< 10	< 10	NTE INEN 2561
	Mohos y Levaduras	< 10	10 ³	NTE INEN 2996

Los resultados presentados en la Tabla 12 evidenciaron una adecuada calidad microbiológica en las matrices vegetales maceradas con kéfir de agua y posteriormente liofilizadas. Esto se evidencio en el cumplimiento de todos los parámetros microbiológicos evaluados establecidos por las normas **NTE INEN 2561** y **NTE INEN 2996**. Los recuentos de aerobios mesófilos fueron inferiores a 10 UFC/g en todas las muestras, valores considerablemente menores al límite permitido (10⁴ UFC/g). Estos resultados se asocian a una adecuada higiene durante el procesamiento y almacenamiento. De igual

manera, se observó ausencia de *Escherichia coli* y recuentos de coliformes menores a 10 UFC/g en todas las matrices. Esto a su vez evidencio la ausencia de contaminación fecal o contaminación postproceso (**Hariri, 2022**).

Estos resultados también podrían relacionarse con el efecto antimicrobiano generado durante la maceración con kéfir de agua, debido a la producción de ácidos orgánicos y otros metabolitos inhibitorios por parte de las bacterias ácido-lácticas (**Zavišić et al., 2024**). Además, la liofilización favoreció la estabilidad microbiológica al reducir la actividad de agua y limitar el crecimiento microbiano.

En cuanto a mohos y levaduras, el camote y la zanahoria blanca presentaron valores menores a 10 UFC/g, mientras que la papa nativa registró 3×10^2 UFC/g, aunque dentro del límite permitido (10^3 UFC/g). Este comportamiento podría asociarse al mayor tiempo de maceración que favoreció el desarrollo de levaduras propias del kéfir de agua en la papa nativa. En conclusión, estos resultados reflejan la aplicación de buenas prácticas de manufactura y un adecuado control sanitario durante el procesamiento.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El tiempo y medio de maceración rico en probióticos influyeron en las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de las matrices vegetales evaluadas. Los tratamientos con mejor desempeño permitieron obtener productos liofilizados estables, inocuos y con potencial funcional.
- El proceso de maceración indujo una disminución progresiva del pH y redujo el pardeamiento enzimático. Esto contribuyó a la estabilidad microbiológica y a la conservación de una adecuada luminosidad e intensidad cromática de las matrices vegetales. Además, los tratamientos presentaron una fracturabilidad favorable tras la liofilización, obteniéndose estructuras sin excesiva dureza o fragilidad.
- Los tratamientos macerados en kéfir de agua presentaron mayor aceptabilidad. En el camote y papa nativa, los tiempos prolongados (144 h) fueron los más aceptados, debido al desarrollo gradual de características sensoriales favorables. En contraste, la zanahoria blanca mostró mayor preferencia por tiempos cortos (48 h), asociados a una mayor conservación de su perfil sensorial original.
- Los tratamientos seleccionados presentaron baja humedad y actividad de agua, favoreciendo la estabilidad e inocuidad del producto. Además, se evidenció la viabilidad de bacterias ácido-lácticas y un perfil nutricional favorable, confirmando el potencial funcional de las matrices evaluadas. Finalmente, los análisis de inocuidad microbiológica confirmaron un adecuado procesamiento sanitario y el cumplimiento de los criterios establecidos.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar estudios con tiempos de maceración más prolongados para evaluar su efecto en la viabilidad de microorganismo probióticos, en especial de las bacterias ácido-lácticas.
- Realizar la identificación y caracterización de las cepas de bacterias ácido-lácticas presentes en la matriz alimenticia, con el fin de determinar su naturaleza y potencial probiótico real.
- Evaluar la supervivencia de las bacterias ácido-lácticas bajo condiciones gastrointestinales simuladas, para determinar su viabilidad durante la digestión y confirmar su potencial probiótico.

BIBLIOGRAFÍA

- Alam, M. K. (2021). A comprehensive review of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam): Revisiting the associated health benefits. *Trends in Food Science & Technology*, 115, 512–529. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.001>
- Almoraie, N. M., Saqaan, R., Alharthi, R., Alamoudi, A., Badh, L., & Shatwan, I. M. (2021). Snacking patterns throughout the life span: potential implications on health. *Nutrition Research*, 91(2), 81–94. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2021.05.001>
- Amagloh, F. C., Yada, B., Tumuhimbise, G. A., Amagloh, F. K., & Kaaya, A. N. (2021). The Potential of Sweetpotato as a Functional Food in Sub-Saharan Africa and Its Implications for Health: A Review. *Molecules*, 26(10), 2971. <https://doi.org/10.3390/molecules26102971>
- Arshad, M. T., Maqsood, S., Altalhi, R., Shamlan, G., Mohamed Ahmed, I. A., Ikram, A., & Abdullahi, M. A. (2025). Role of Dietary Carbohydrates in Cognitive Function: A Review. *Food Science & Nutrition*, 13(7), e70516. <https://doi.org/10.1002/FSN3.70516>
- Auquiñivin Silva, E. A., Paucar Menacho, L. M.-, Auquiñivin Silva, E. A., & Paucar Menacho, L. M.-. (2020). Estudio comparativo de las características fisicoquímicas y vida útil de las papayas nativas, “papayita de monte” (*Carica pubescens* Lenné & K. Koch) y “babaco” (*Carica pentagona* Heilborn) (*Caricaceae*) deshidratadas mediante liofilización. *Arnaldoa*, 27(1), 115–128. <https://doi.org/10.22497/ARNALDOA.271.27105>
- Ayivi, R. D., Gyawali, R., Krastanov, A., Aljaloud, S. O., Worku, M., Tahergorabi, R., Silva, R. C. da, & Ibrahim, S. A. (2020). Lactic Acid Bacteria: Food Safety and Human Health Applications. *Dairy 2020, Vol. 1, Pages 202-232, I(3)*, 202–232. <https://doi.org/10.3390/DAIRY1030015>
- Ayobami, D., Adetunji, C. O., Olaniyan, O. T., Victory, I., Adetunji, J. B., Okaiyeto, K., Kanmodi, K. K., Nnyanzi, L. A., Akinbo, O., Inobeme, A., Adetuyi, B. O., Omokhudu, O. A., Godwin, O., Ogundolie, F. A., & Dauda, W. P. (2023). Effect of evaporative cooling structures on the sensory attributes of fruits and vegetables and consumer acceptability. *Evaporative Coolers for the Postharvest Management of Fruits and Vegetables*, 155–170. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89864-5.00004-7>
- Baker, M. T., Lu, P., Parrella, J. A., & Leggette, H. R. (2022). Consumer Acceptance toward Functional Foods: A Scoping Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022, Vol. 19, Page 1217, 19(3), 1217. <https://doi.org/10.3390/IJERPH19031217>

- Bhatta, S., Janezic, T. S., & Ratti, C. (2020). Freeze-Drying of Plant-Based Foods. *Foods* 2020, Vol. 9, Page 87, 9(1), 87. <https://doi.org/10.3390/FOODS9010087>
- Bøjer Rasmussen, C., Enghild, J. J., & Scavenius, C. (2021). Identification of polyphenol oxidases in potato tuber (*Solanum tuberosum*) and purification and characterization of the major polyphenol oxidases. *Food Chemistry*, 365, 130454. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.130454>
- Bozkir, E., Yilmaz, B., Sharma, H., Esatbeyoglu, T., & Ozogul, F. (2024). Challenges in water kefir production and limitations in human consumption: A comprehensive review of current knowledge. *Heliyon*, 10(13), e33501. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33501>
- Brust, H., Orzechowski, S., & Fettke, J. (2020). Starch and Glycogen Analyses: Methods and Techniques. *Biomolecules*, 10(7), 1020. <https://doi.org/10.3390/biom10071020>
- Cappellotto, M., & Olsen, A. (2021). Food texture acceptance, sensory sensitivity, and food neophobia in children and their parents. *Foods*, 10(10), 2327. <https://doi.org/10.3390/FOODS10102327/S1>
- Cerda-Mejía, L., Mejia, V. R. C., Rosales, A. P., Miranda, C. M., & Martínez, A. "Pérez. (2017). Proteína de harinas de maíz, cebada, quinua, trigo nacional y papa: características y funcionalidad como sustitutos de la proteína de harina de trigo importado en la producción de pan y fideos. *Revista Amazónica. Ciencia y Tecnología*, 6(3), 201–216. <https://doi.org/10.59410/RACYT-V06N03EP02-0082>
- Chandrasekara, A., & Josheph Kumar, T. (2016). Roots and Tuber Crops as Functional Foods: A Review on Phytochemical Constituents and Their Potential Health Benefits. *International Journal of Food Science*, 2016(1), 3631647. <https://doi.org/10.1155/2016/3631647>
- Chigwedere, C. M., Olaoye, T. F., Kyomugasho, C., Jamsazzadeh Kermani, Z., Pallares Pallares, A., Van Loey, A. M., Grauwet, T., & Hendrickx, M. E. (2018). Mechanistic insight into softening of Canadian wonder common beans (*Phaseolus vulgaris*) during cooking. *Food Research International*, 106, 522–531. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.01.016>
- Ciurzyńska, A., Falacińska, J., Kowalska, H., Kowalska, J., Galus, S., Marzec, A., & Domian, E. (2021). The Effect of Pre-Treatment (Blanching, Ultrasound and Freezing) on Quality of Freeze-Dried Red Beets. *Foods* 2021, Vol. 10, Page 132, 10(1), 132. <https://doi.org/10.3390/FOODS10010132>
- Coral, T., & Gallegos, R. (2015). Determinación proximal de los principales componentes nutricionales de harina de maíz, harina de trigo integral, avena, yuca, zanahoria amarilla, zanahoria blanca y chocho. *InfoANALÍTICA*, 3(1), 9–24. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8382661&info=resumen&idioma=SPA>

- Coşkun, N., Sarıtaş, S., Jaouhari, Y., Bordiga, M., & Karav, S. (2024). The Impact of Freeze Drying on Bioactivity and Physical Properties of Food Products. *Applied Sciences* 2024, Vol. 14, Page 9183, 14(20), 9183. <https://doi.org/10.3390/APP14209183>
- De Paula, D. G. C., Vasconcelos, C. M., Pereira, A. F., Da Cunha Quintão, A. L., Chaves, J. O., Parreiras, P. M., & Menezes, C. C. (2022). Maceration time over antioxidant activity, volatile compounds and temporal dominant sensation of fermented jabuticaba. *Food Science and Technology*, 42, e43221. <https://doi.org/10.1590/FST.43221>
- Dziki, D. (2020). Recent Trends in Pretreatment of Food before Freeze-Drying. *Processes* 2020, Vol. 8, Page 1661, 8(12), 1661. <https://doi.org/10.3390/PR8121661>
- Escobar-Puentes, A. A., Palomo, I., Rodríguez, L., Fuentes, E., Villegas-Ochoa, M. A., González-Aguilar, G. A., Olivas-Aguirre, F. J., & Wall-Medrano, A. (2022). Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Phenotypes: From Agroindustry to Health Effects. *Foods* 2022, Vol. 11, 11(7). <https://doi.org/10.3390/foods11071058>
- FAO. (2006). *Probióticos en los alimentos : propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (2017). CÓDIGO DE PRÁCTICAS DE HIGIENE PARA LAS FRUTAS Y HORTALIZAS FRESCAS (CXC 53-2003). *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura*.
- FAO. (2018). DOCUMENTO DE DEBATE SOBRE LAS DIRECTRICES ARMONIZADAS SOBRE EL USO DE PROBIÓTICOS EN ALIMENTOS Y COMPLEMENTOS ALIMENTICIOS. *COMISIÓN DEL CODEX ALIMENTARIUS*.
- Farooq, S., Mir, S. A., Shah, M. A., & Manickavasagan, A. (2022). Extraction techniques. *Plant Extracts: Applications in the Food Industry*, 23–37. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822475-5.00005-3>
- Fekete, M., Lehoczki, A., Kryczyk-Poprawa, A., Zábó, V., Varga, J. T., Bálint, M., Fazekas-Pongor, V., Csípő, T., Rzása-Duran, E., & Varga, P. (2025). Functional Foods in Modern Nutrition Science: Mechanisms, Evidence, and Public Health Implications. *Nutrients*, 17(13), 2153. <https://doi.org/10.3390/nu17132153>
- Fiorentini, M., Kinchla, A. J., & Nolden, A. A. (2020). Role of Sensory Evaluation in Consumer Acceptance of Plant-Based Meat Analogs and Meat Extenders: A Scoping Review. *Foods* 2020, Vol. 9, Page 1334, 9(9), 1334. <https://doi.org/10.3390/FOODS9091334>

- Fuentes Berrio, L., Acevedo Correa, D., Chantré, C. A., & Gelvez Ordoñez, V. M. (2015). ALIMENTOS FUNCIONALES: IMPACTO Y RETOS PARA EL DESARROLLO Y BIENESTAR DE LA SOCIEDAD COLOMBIANA. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 140–149. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(13\)140-149](https://doi.org/10.18684/BSAA(13)140-149)
- Gangakhedkar, P. S., Deshpande, H. W., Törös, G., El-Ramady, H., Elsakhawy, T., Abdalla, N., Shaikh, A., Kovács, B., Mane, R., & Prokisch, J. (2025). Fermentation of Fruits and Vegetables: Bridging Traditional Wisdom and Modern Science for Food Preservation and Nutritional Value Improvements. *Foods*, 14(13), 2155. <https://doi.org/10.3390/FOODS14132155>
- Geng, L., Liu, K., & Zhang, H. (2023). Lipid oxidation in foods and its implications on proteins. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1192199. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2023.1192199>
- Grzelczyk, J., Budryn, G., Kołodziejczyk, K., & Ziętała, J. (2024). The Influence of Maceration and Flavoring on the Composition and Health-Promoting Properties of Roasted Coffee. *Nutrients* 2024, Vol. 16, Page 2823, 16(17), 2823. <https://doi.org/10.3390/NU16172823>
- Guerrero, C. M., Cuvi, M. J. A., Pillajo, G. O., Hernández, T. L., & Concellón, A. (2015). EFECTO DE LA COCCIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE PAPAS NATIVAS (SOLANUM TUBEROSUM) DEL ECUADOR. *ECUADOR ES CALIDAD*, 2(2). <https://doi.org/10.36331/revista.v2i2.15>
- Gul, S., & Durante-Mangoni, E. (2024). Unraveling the Puzzle: Health Benefits of Probiotics—A Comprehensive Review. *Journal of Clinical Medicine*, 13(5), 1436. <https://doi.org/10.3390/jcm13051436>
- Hariri, S. (2022). Detection of Escherichia coli in Food Samples Using Culture and Polymerase Chain Reaction Methods. *Cureus*, 14(12), e32808. <https://doi.org/10.7759/CUREUS.32808>
- Harrison, K., & Curtin, C. (2021). Microbial composition of scoby starter cultures used by commercial kombucha brewers in North America. *Microorganisms*, 9(5), 1060. <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS9051060/S1>
- He, Y., Wang, B., Wen, L., Wang, F., Yu, H., Chen, D., Su, X., & Zhang, C. (2022). Effects of dietary fiber on human health. *Food Science and Human Wellness*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.FSHW.2021.07.001>
- Higuera, M., & Prado, R. (2013). DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE SNACKS A PARTIR DE ZANAHORIA BLANCA (Arracacia xanthorrhiza Bancroft). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE*.

- Huang, L., Dai, Y., Zhang, F., Zhang, L., Zheng, B., & Zhang, Y. (2024). Insights into the enhancement of food flavor perception: strategies, mechanism and emulsion applications. *Food Science and Human Wellness*, 13(5), 2410–2424. <https://doi.org/10.26599/FSHW.2022.9250199>
- Hui Yan, T., Babji, A. S., Lim, S. J., & Sarbini, S. R. (2021). A Systematic Review of Edible Swiftlet's Nest (ESN): Nutritional bioactive compounds, health benefits as functional food, and recent development as bioactive ESN glycopeptide hydrolysate. *Trends in Food Science & Technology*, 115, 117–132. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.06.034>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2024). Programa de Sistemas Agroalimentarios de Camote - International Potato Center. In CIDEPRO (Ed.), *CIDEPRO*. <https://cipotato.org/es/investigacion/programa-sistemas-agroalimentarios-camote/>
- Jácome, J., Escandón, S., Rodríguez, A., Lachat, C., Aguirre, R., Freire, W., Sánchez, R. V., Donoso, S., Andrade, S., & Ochoa-Avilés, A. (2023). Unhealthy food consumption among Ecuadorian children: A cross-sectional study in the context of the school food regulation. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 73. <https://doi.org/10.37527/2023.73.S2.005>
- Jayabalan, R., Malbaša, R. V., Lončar, E. S., Vitas, J. S., & Sathishkumar, M. (2014). A Review on Kombucha Tea—Microbiology, Composition, Fermentation, Beneficial Effects, Toxicity, and Tea Fungus. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 538–550. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12073>
- Jha, A. K., & Sit, N. (2022). Extraction of bioactive compounds from plant materials using combination of various novel methods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 579–591. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.11.019>
- Kasper, J. C., & Friess, W. (2011). The freezing step in lyophilization: Physico-chemical fundamentals, freezing methods and consequences on process performance and quality attributes of biopharmaceuticals. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 78(2), 248–263. <https://doi.org/10.1016/J.EJPB.2011.03.010>
- Kett Moisture Tester. (2020). *Useful information about Infrared Moisture Analyzer*.
- Knez, E., Kadac-Czapska, K., Dmochowska-Ślęzak, K., & Grembecka, M. (2022). Root Vegetables—Composition, Health Effects, and Contaminants. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022, Vol. 19, Page 15531, 19(23), 15531. <https://doi.org/10.3390/IJERPH192315531>

- Kumar, V., & Verma, P. (2024). Pulp-paper industry sludge waste biorefinery for sustainable energy and value-added products development: A systematic valorization towards waste management. *Journal of Environmental Management*, 352, 120052. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2024.120052>
- La Torre, C., Pino, R., Fazio, A., Plastina, P., & Loizzo, M. R. (2025). Synergistic Bioactive Potential of Combined Fermented Kombucha and Water Kefir. *Beverages* 2025, Vol. 11, Page 65, 11(3), 65. <https://doi.org/10.3390/BEVERAGES11030065>
- Leahu, A., Ghinea, C., Ropciuc, S., & Damian, C. (2025). Textural, Color, and Sensory Analysis of Cookies Prepared with Hemp Oil-Based Oleogels. *Gels* 2025, Vol. 11, Page 46, 11(1), 46. <https://doi.org/10.3390/GELS11010046>
- Leeuwendaal, N. K., Stanton, C., O'toole, P. W., & Beresford, T. P. (2022). Fermented Foods, Health and the Gut Microbiome. *Nutrients* 2022, Vol. 14, Page 1527, 14(7), 1527. <https://doi.org/10.3390/NU14071527>
- Leidi, E. O., Altamirano, A. M., Mercado, G., Rodriguez, J. P., Ramos, A., Alandia, G., Sørensen, M., & Jacobsen, S. E. (2018). Andean roots and tubers crops as sources of functional foods. *Journal of Functional Foods*, 51, 86–93. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2018.10.007>
- Leonardo Pallo Paredes, E., Patricia Guapi Auquillas, A., & María Mullo Paucar, V. (2021). *Agrobiodiversidad de papa nativa en la provincia de Tungurahua*. <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.2273>
- Lima, V., Pinto, C. A., & Saraiva, J. A. (2023). The dependence of microbial inactivation by emergent nonthermal processing technologies on pH and water activity. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 89, 103460. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2023.103460>
- Lisiecka, K., Wójtowicz, A., Samborska, K., Mitrus, M., Oniszczyk, T., Combrzyński, M., Soja, J., Lewko, P., Kasprzak Drozd, K., & Oniszczyk, A. (2023). Structure and Texture Characteristics of Novel Snacks Expanded by Various Methods. *Materials* 2023, Vol. 16, Page 1541, 16(4), 1541. <https://doi.org/10.3390/MA16041541>
- Lucas A, J. C., Quintero C, V. D., Vasco Leal, J. F., & Mosquera A, J. D. (2012). Evaluación de los parámetros de calidad de chips en relación con diferentes variedades de plátano (*Musa paradisíaca* L.). *Revista Lasallista de Investigación*, 9(2), 65–74. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492012000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=es

- Luziatelli, G., Sørensen, M., & Jacobsen, S. E. (2020). Current uses of Andean Roots and Tuber Crops in South American gourmet restaurants. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 22, 100270. <https://doi.org/10.1016/J.IJGFS.2020.100270>
- Maataoui, J., Abduljaber, M., & Khaddor, M. (2025). Global perceptions and acceptance of irradiated food: a comparative systematic review. *Italian Journal of Food Safety*, 14(2), 12885. <https://doi.org/10.4081/IJFS.2025.12885>
- Mariuxi, G., Álava, G., Alberto, V., Troya, G., Mayerli, M., Moran, A., Placido, J., Morejon, A., Yannela, K., & Escobar, R. (2025). Gluten-free cookies made with white carrot (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr) and rice (*Oryza sativa*) flour. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 78(3), 11285–11291. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v78n3.115838>
- Mazón, N., Catillo, R., Hermann, M., & Espinosa, P. (1996). *INIAPZanahoria blanca* (DENAREF, Ed.).
- Mazziotta, C., Tognon, M., Martini, F., Torreggiani, E., & Rotondo, J. C. (2023). Probiotics Mechanism of Action on Immune Cells and Beneficial Effects on Human Health. *Cells*, 12(1), 184. <https://doi.org/10.3390/cells12010184>
- Medina-Tambaco, J. P., Zambonino-Rivadeneira, M. A., & Gruezo-Guerrero, X. L. (2018). Materias primas con alto contenido de fibra dietética y almidón resistente para la preparación de sopas deshidratadas de vegetales. *Polo Del Conocimiento*, 3(4), 64. <https://doi.org/10.23857/pc.v3i4.457>
- Mokoena, M. P. (2017). Lactic Acid Bacteria and Their Bacteriocins: Classification, Biosynthesis and Applications against Uropathogens: A Mini-Review. *Molecules* 2017, Vol. 22, Page 1255, 22(8), 1255. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES22081255>
- Monteros, C., Cuesta, X., Jiménez, J., & López, G. (2005). *LAS PAPAS NATIVAS EN EL ECUADOR*.
- Moreno, Y., Ramírez, J., Alemán, I., Bautista, E., & Ledesma, A. (2021). Evaluación de dos procedimientos de medición de color en granos de maíces pigmentados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2276>
- Mozzi, F. (2016). Lactic Acid Bacteria. *Encyclopedia of Food and Health*, 501–508. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00414-1>
- Nemš, A., Mora, M., Rune, C. J. B., Giacalone, D., Noguera Artiaga, L., Carbonell-Barrachina, A. A., Kolniak-Ostek, J., Michalska-Ciechanowska, A., & Kita, A. (2025). Physicochemical Properties

- and Cross-Cultural Preference for Mushrooms Enriched Third-Generation Potato Snacks. *Foods*, 14(23), 4103. <https://doi.org/10.3390/FOODS14234103>
- Nowak, D., & Jakubczyk, E. (2020). The Freeze-Drying of Foods—The Characteristic of the Process Course and the Effect of Its Parameters on the Physical Properties of Food Materials. *Foods* 2020, Vol. 9, Page 1488, 9(10), 1488. <https://doi.org/10.3390/FOODS9101488>
- NTE INEN 389. (1985). *CONSERVAS VEGETALES DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL ION DE HIDRÓGENO (pH)*.
- NTE INEN 520. (2012). *HARINAS DE ORIGEN VEGETAL DETERMINACION DE LA CENIZA*.
- NTE INEN 1529-2. (2013). *CONTROL MICROBIOLÓGICO DE LOS ALIMENTOS. TOMA. ENVÍA Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA EL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO*.
- NTE INEN 2561. (2010). *BOCADITOS DE PRODUCTOS VEGETALES. REQUISITOS*.
- NTE INEN 2996. (2015). *PRODUCTOS DESHIDRATADOS. ZANAHORIA, ZAPALLO, UVILLA. REQUISITOS*.
- Pandiselvam, R., Mitharwal, S., Rani, P., Shanker, M. A., Kumar, A., Aslam, R., Barut, Y. T., Kothakota, A., Rustagi, S., Bhati, D., Siddiqui, S. A., Siddiqui, M. W., Ramniwas, S., Aliyeva, A., & Mousavi Khaneghah, A. (2023). The influence of non-thermal technologies on color pigments of food materials: An updated review. *Current Research in Food Science*, 6, 100529. <https://doi.org/10.1016/J.CRFS.2023.100529>
- Paramithiotis, S., Das, G., Shin, H. S., & Patra, J. K. (2022). Fate of Bioactive Compounds during Lactic Acid Fermentation of Fruits and Vegetables. *Foods* 2022, Vol. 11, Page 733, 11(5), 733. <https://doi.org/10.3390/FOODS11050733>
- Paramithiotis, S., Patra, J. K., Kotseridis, Y., & Dimopoulou, M. (2024). Fermented Beverages Revisited: From Terroir to Customized Functional Products. In *Fermentation* (Vol. 10, Number 1). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/fermentation10010057>
- Pavlečić, M., Novak, M., Trontel, A., Mardetko, N., Tominac, V. P., Dobrinčić, A., Kralj, M., & Šantek, B. (2024). The Production of Water Kefir Drink with the Addition of Dried Figs in the Horizontal Rotating Tubular Bioreactor. *Foods* 2024, Vol. 13, Page 2834, 13(17), 2834. <https://doi.org/10.3390/FOODS13172834>

- Plaza-Díaz, J., Ruiz-Ojeda, F. J., Gil-Campos, M., & Gil, A. (2019). Mechanisms of Action of Probiotics. *Advances in Nutrition*, 10(Suppl 1), S49. <https://doi.org/10.1093/advances/nmy063>
- Praveen, M., & Brogi, S. (2025). Microbial Fermentation in Food and Beverage Industries: Innovations, Challenges, and Opportunities. *Foods*, 14(1), 114. <https://doi.org/10.3390/FOODS14010114>
- Quilapanta, R., Dávila, M., Vásquez, C., & Frutos, V. (2018). Morphotypes of *Arracacia xanthorrhiza* Bancr. (White carrot) from Ecuador, as a source of germplasm variability. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 281–286. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.13>
- Radziejewska-Kubzdela, E., Biegańska-Marecik, R., & Kidoń, M. (2014). Applicability of Vacuum Impregnation to Modify Physico-Chemical, Sensory and Nutritive Characteristics of Plant Origin Products—A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(9), 16577. <https://doi.org/10.3390/IJMS150916577>
- Rosell, M. de los Á., Quizhpe, J., Ayuso, P., Peñalver, R., & Nieto, G. (2024). Proximate Composition, Health Benefits, and Food Applications in Bakery Products of Purple-Fleshed Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) and Its By-Products: A Comprehensive Review. *Antioxidants* 2024, Vol. 13, 13(8). <https://doi.org/10.3390/antiox13080954>
- Saldaña Cejudo, P., Bastida, S., Macho-González, A., Sánchez-Muniz, F. J., Saldaña Cejudo, P., Bastida, S., Macho-González, A., & Sánchez-Muniz, F. J. (2020). Alimentos funcionales como alternativa para incrementar la ingesta de fibra dietética y proantocianidinas. Posibles efectos sobre la microbiota intestinal. *Journal of Negative and No Positive Results*, 5(12), 1575–1598. <https://doi.org/10.19230/JONNPR.3990>
- Saranraj, P., Behera, S. S., & Ray, R. C. (2019). Traditional Foods From Tropical Root and Tuber Crops: Innovations and Challenges. *Innovations in Traditional Foods*, 159–191. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814887-7.00007-1>
- Selvaraj, S., & Gurumurthy, K. (2022). An overview of probiotic health booster-kombucha tea. *Chinese Herbal Medicines*, 15(1), 27. <https://doi.org/10.1016/J.CHMED.2022.06.010>
- Sgroi, F., Sciortino, C., Baviera-Puig, A., & Modica, F. (2024). Analyzing consumer trends in functional foods: A cluster analysis approach. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 101041. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2024.101041>
- Sharma, B. R., Kumar, V., Gat, Y., Kumar, N., Parashar, A., & Pinakin, D. J. (2018). Microbial maceration: a sustainable approach for phytochemical extraction. *3 Biotech*, 8(9), 401. <https://doi.org/10.1007/S13205-018-1423-8>

- SP Scientific. (2014). *SP Scientific VirTis BenchTop Pro Series Operator's Manual*. SP Industries.
<https://www.manualslib.com/manual/1510572/Sp-Scientific-Virtis-Benchtop-Pro-Series.html?page=21#manual>
- Suzuki, N., Shigaki, S., Yunose, M., Putrawisesa, N. R., Hogaki, S., & Di Piazza, M. C. (2022). Mechanisms Regulating Energy Homeostasis in Plant Cells and Their Potential to Inspire Electrical Microgrids Models. *Biomimetics* 2022, Vol. 7, Page 83, 7(2), 83. <https://doi.org/10.3390/BIOMIMETICS7020083>
- Tavares, P. P. L. G., Mamona, C. T. P., Nascimento, R. Q., dos Anjos, E. A., de Souza, C. O., Almeida, R. C. de C., Mamede, M. E. de O., & Magalhães-Guedes, K. T. (2023). Non-Conventional Sucrose-Based Substrates: Development of Non-Dairy Kefir Beverages with Probiotic Potential. *Fermentation*, 9(4), 384. <https://doi.org/10.3390/FERMENTATION9040384/S1>
- Terpou, A., Papadaki, A., Lappa, I. K., Kachrimanidou, V., Bosnea, L. A., & Kopsahelis, N. (2019). Probiotics in Food Systems: Significance and Emerging Strategies Towards Improved Viability and Delivery of Enhanced Beneficial Value. *Nutrients*, 11(7), 1591. <https://doi.org/10.3390/NU11071591>
- Tigeros, J. A., Parra Londoño, S., Martínez Girón, J., & Ordoñez Santos, L. E. (2021). Diferentes métodos de escaldado y su aplicación en frutas y verduras. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 8(1), 50–63. <https://doi.org/10.23850/24220582.3710>
- Trumbo, P. R., Bleiweiss-Sande, R., Campbell, J. K., Decker, E., Drewnowski, A., Erdman, J. W., Ferruzzi, M. G., Forde, C. G., Gibney, M. J., Hess, J. M., Klurfeld, D. M., Latulippe, M. E., O'Connor, L. E., Reimers, K. J., Rolls, B. J., Schulz, J., Weaver, C., & Yu, L. (2024). Toward a science-based classification of processed foods to support meaningful research and effective health policies. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1389601. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2024.1389601>
- Tsaltas, D., Goulas, V., Wiśniewski, R. W., Pejcz, E., & Harasym, J. (2025). Edible Tubers as a Source of Bioactive Compounds in Baked Goods: Benefits and Drawbacks. *Molecules* 2025, Vol. 30, Page 2838, 30(13), 2838. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES30132838>
- Vargas, A., & Ruiz, H. (2024). Kéfir de agua: Características, producción y fabricación de biopelículas como una alternativa de uso de excedentes. Revisión. Water kefir: Characteristics, production, and manufacturing of biofilms as an alternative use of surplus. Review. *BioTecnología*, 28.
- Vásquez, C., Dávila, M., Telenchana, N., Mangui, J., & Navas, D. (2017). Primer reporte de *Eotetranychus lewisi* en la región andina del Ecuador en *Arracacia xanthorrhiza* (zanahoria blanca)

- y *Tropaeolum tuberosum* (mashua). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(4), 992–994. <https://doi.org/10.1016/J.RMB.2017.05.001>
- Vidal, A. R., Zaucedo-Zuñiga, A. L., & Ramos-García, M. de L. (2018). Propiedades nutrimentales del camote (*Ipomoea batatas* L.) y sus beneficios en la salud humana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- Wang, X., Liu, X., Liu, Z., Chu, C., Du, M., & Yi, J. (2025). Unlocking the secrets of stinky fermented foods: A comprehensive overview of processes, flavor characteristics, fermentation microbiomes, and metabolic pathways. *Food Bioscience*, 68, 106408. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2025.106408>
- Wang, Y., Wu, J., Lv, M., Shao, Z., Hungwe, M., Wang, J., Bai, X., Xie, J., Wang, Y., & Geng, W. (2021). Metabolism Characteristics of Lactic Acid Bacteria and the Expanding Applications in Food Industry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 612285. <https://doi.org/10.3389/FBIOE.2021.612285>
- Weyh, C., Krüger, K., Peeling, P., & Castell, L. (2022). The Role of Minerals in the Optimal Functioning of the Immune System. *Nutrients*, 14(3), 644. <https://doi.org/10.3390/NU14030644>
- Wieczorek, M. N., & Drabińska, N. (2022). Flavour Generation during Lactic Acid Fermentation of Brassica Vegetables—Literature Review. *Applied Sciences* 2022, Vol. 12, Page 5598, 12(11), 5598. <https://doi.org/10.3390/APP12115598>
- Yan, X., McClements, D. J., Luo, S., Liu, C., & Ye, J. (2024). Recent advances in the impact of gelatinization degree on starch: Structure, properties and applications. *Carbohydrate Polymers*, 340, 122273. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2024.122273>
- Zavišić, G., Ristić, S., Petričević, S., Janković, D., & Petković, B. (2024). Microbial Contamination of Food: Probiotics and Postbiotics as Potential Biopreservatives. *Foods* 2024, Vol. 13, Page 2487, 13(16), 2487. <https://doi.org/10.3390/FOODS13162487>
- Zhang, J., Tao, L., Yang, S., Li, Y., Wu, Q., Song, S., & Yu, L. (2024). Water absorption behavior of starch: A review of its determination methods, influencing factors, directional modification, and food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 144, 104321. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2023.104321>
- Zhang, L., Sun, D. W., & Zhang, Z. (2017). Methods for measuring water activity (aw) of foods and its applications to moisture sorption isotherm studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(5), 1052–1058. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1108282>

Zhu, L., Mu, T., Ma, M., Sun, H., & Zhao, G. (2022). Nutritional composition, antioxidant activity, volatile compounds, and stability properties of sweet potato residues fermented with selected lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Food Chemistry*, 374, 131500. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131500>

ANEXOS

ANEXO 1. Lista de recursos materiales empleados en la investigación

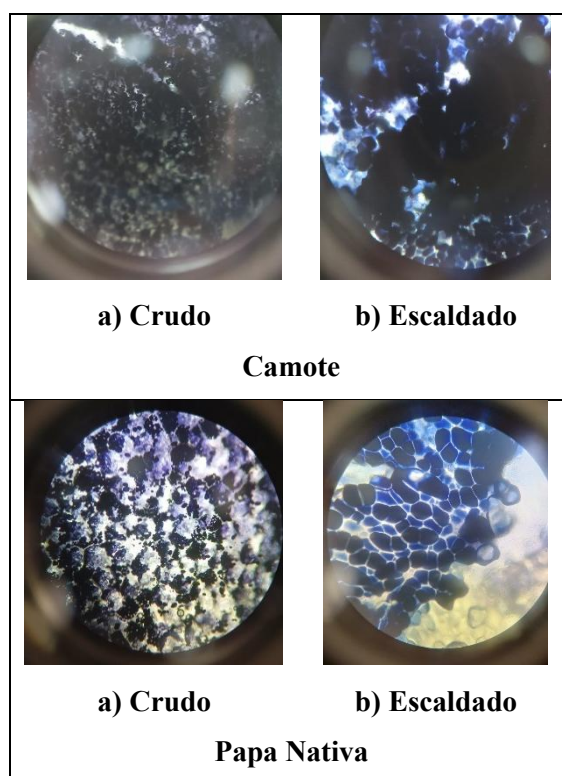
Tabla 13.

Lista de recursos materiales empleados en la investigación

Detalle	Denominación	Marca / Procedencia
Materias primas	Camote	Variedad: Morado
	Papa Nativa	Variedad: Leona negra
	Zanahoria Blanca	Mercado cantón Salcedo
	Kéfir de agua	VITAFÉF
	Kombucha	ECO VIDA
Equipos	Liofilizador	Laboratorios FCIAB
	Medidor de actividad de agua	Laboratorios FCIAB
	Texturómetro	Laboratorios FCIAB
	Balanza de infrarrojo	Laboratorios FCIAB
	Balanza analítica	Laboratorios FCIAB
	Balanza	Laboratorios FCIAB
	Autoclave	Laboratorios FCIAB
	Potenciómetro	Laboratorios FCIAB
	Microscopio	Laboratorios FCIAB
	Mufla	Laboratorios FCIAB
	Camara de flujo laminar	Laboratorios FCIAB
	Ultracongelador	Laboratorios FCIAB
	Rebanadora	Comercial
	Refrigeradora	Laboratorios FCIAB
	Cocina	Laboratorios FCIAB
	Termómetro	Laboratorios FCIAB
	Pie de rey	Laboratorios FCIAB
	Colorímetro	Laboratorios FCIAB
	Micropipeta	Laboratorios FCIAB
	Contador de colonias	Laboratorios FCIAB
	Computadora	Equipo personal
Materiales	Material de vidrio	Laboratorios FCIAB
	Pipetas	Laboratorios FCIAB
	Utensilios, ollas	Laboratorios FCIAB
	Recipientes de grado alimenticio	Laboratorios FCIAB

	Bolsas ziploc	Comercial
	Puntas de micropipeta	Laboratorios FCIAB
	Bacterias ácido-lácticas (MicroFast)	MEIZHENG
Medios de	E. Coli / Coliforme (CompactDry)	Nissui Pharmaceuticals
cultivo /	Levadura y Moho Rápido (CompactDry)	Nissui Pharmaceuticals
Reactivos	Recuento total (CompactDry)	Nissui Pharmaceuticals
	Solución de Lugol	Casa del químico
	Agua peptona	Laboratorios FCIAB
	Agua destilada	Laboratorios FCIAB
	Programa IBM SPSS Statistics	IBM Corporation
Software	Microsoft Excel	Microsoft Corporation
	Microsoft Word	Microsoft Corporation

ANEXO 2. Imágenes microscópicas de la gelatinización del almidón en matrices vegetales crudas y escaldadas



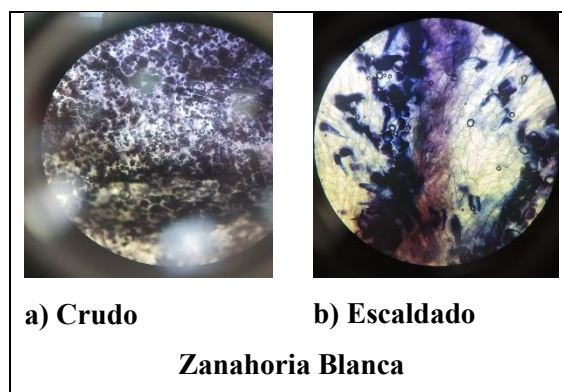


Figura 5. Imágenes microscópicas de la gelatinización del almidón en matrices vegetales crudas y escaldadas.

ANEXO 3. Preparación de las matrices vegetales liofilizadas

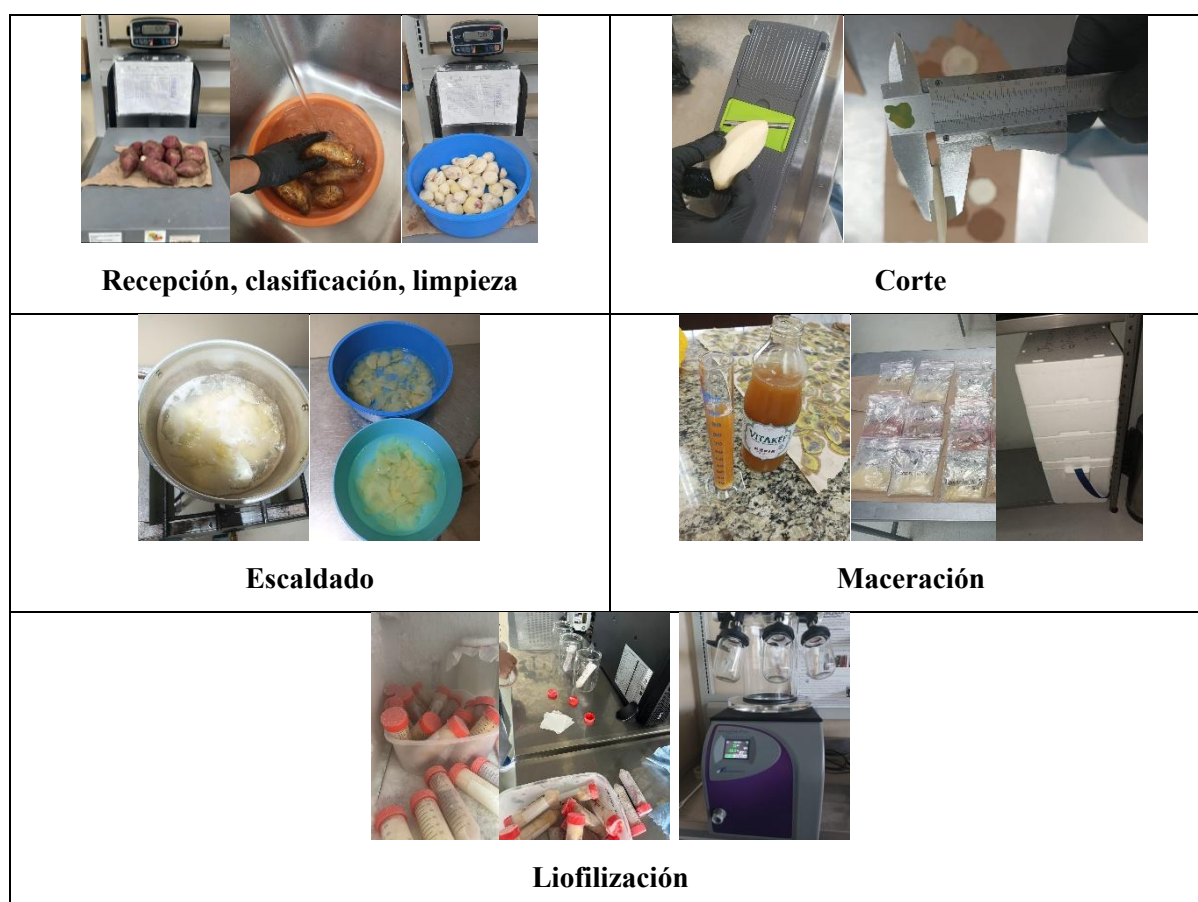


Figura 6. Preparación de las matrices vegetales liofilizadas.

ANEXO 4. Análisis del pH, color y textura de las matrices vegetales

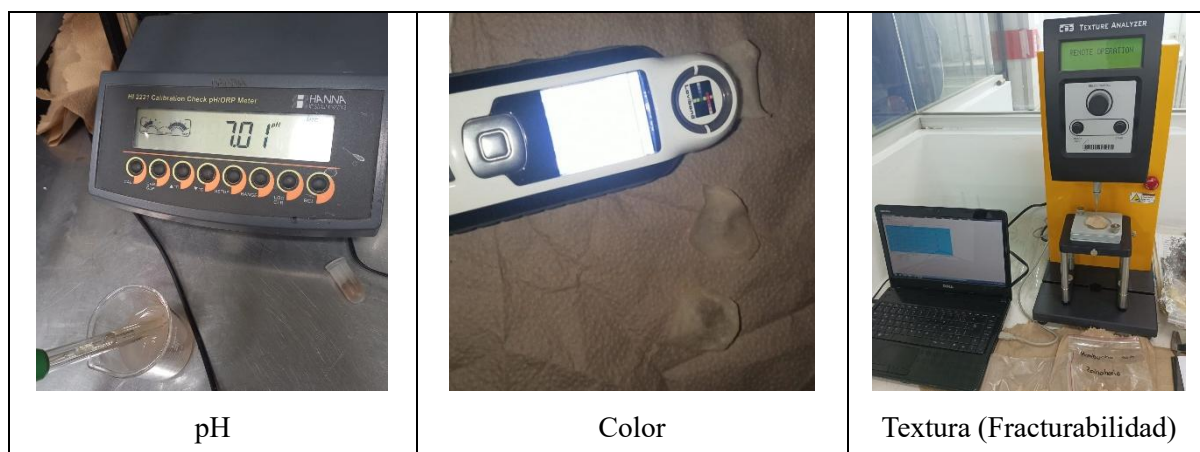


Figura 7. Análisis del pH, color y textura de las matrices vegetales.

ANEXO 5. Análisis sensorial de las matrices vegetales liofilizadas

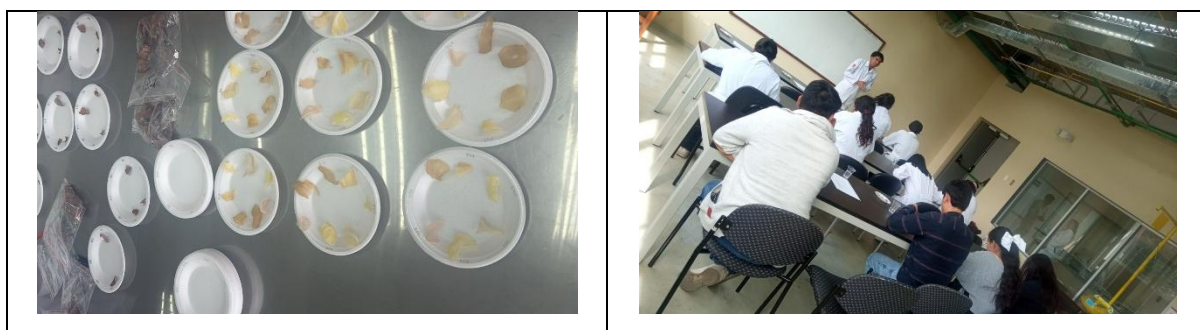


Figura 8. Análisis sensorial de las matrices vegetales liofilizadas.

ANEXO 6. Análisis microbiológico de los mejores tratamientos



Figura 9. Siembra microbiológica de las muestras en placas MicroFast y CompactDry.

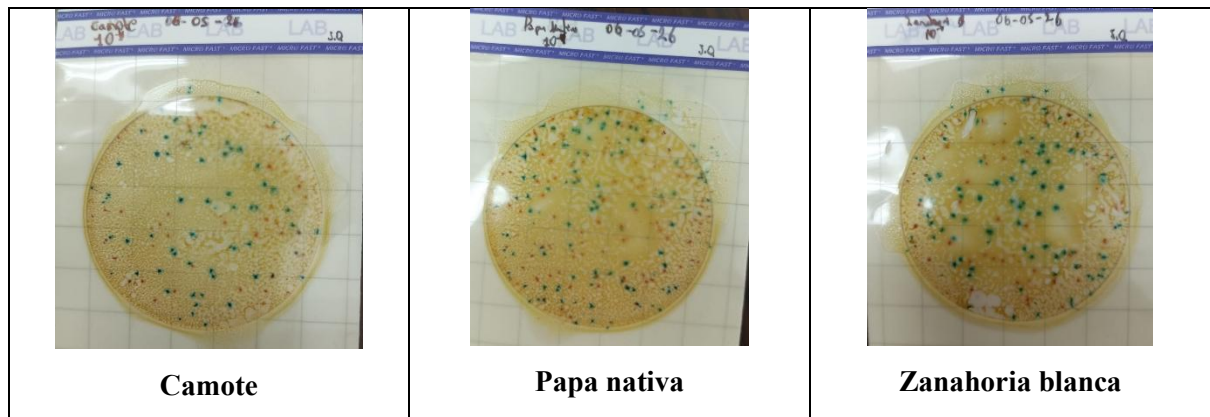


Figura 10. Viabilidad de microorganismos probióticos (bacterias ácido-lácticas).

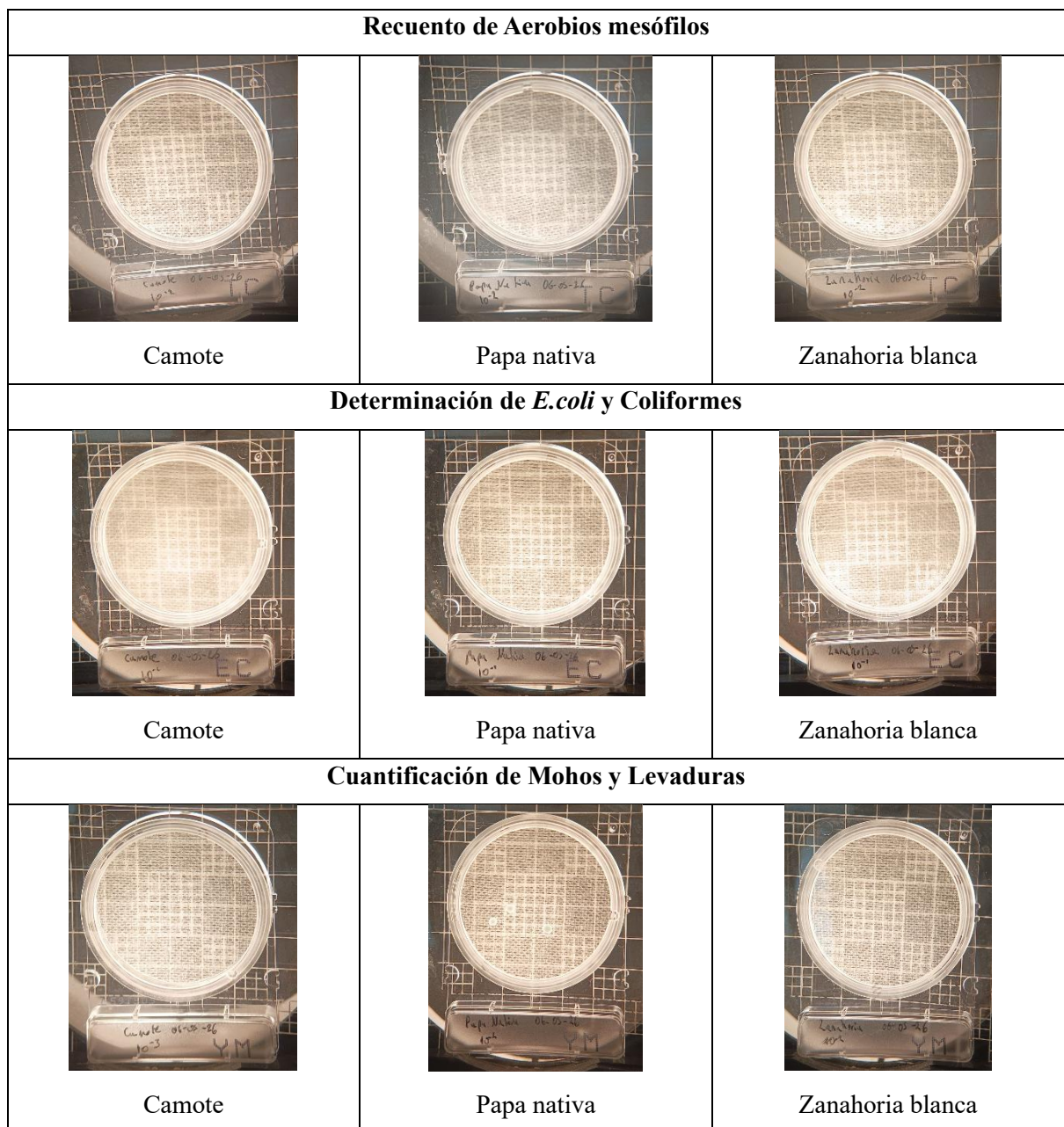


Figura 11. Análisis microbiológicos de calidad y seguridad.

ANEXO 7. Análisis fisicoquímicos de los mejores tratamientos



Figura 12. Análisis fisicoquímicos de humedad, actividad de agua y cenizas.

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No: 26-065		R01-7.8.03				
Solicitud N°: 26-065		Pág.: 1 de 1				
Fecha recepción: 13 de abril de 2026		Fecha de ejecución de ensayos: 15 al 17 de abril de 2026				
Información del cliente:						
Representante:	Jhonatan Quispe	Tlf:	984120058			
Dirección:	Ambato	Email:	jquispe4893@uta.edu.ec			
Ciudad:	Ambato					
Descripción de las muestras:						
Producto:	Matriz vegetal liofilizada de camote, zanahoria blanca, papa nativa	Peso:	50g			
Marca comercial:	n/a	Tipo de envase:	funda plástica			
Lote:	n/a	No de muestras:	tres			
F. Elb.:	06/04/2026	F. Exp.:	n/a			
Conservación:	Ambiente: X Refrigeración: Congelación:	Almac. en Lab:	15 días			
Cierres seguridad:	Ninguno: X Intactos: Rotos:	Muestreo por el cliente:	06 de abril de 2026			
RESULTADOS OBTENIDOS						
Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados/Técnica	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Matriz vegetal liofilizada Chip de camote	06526105	Ninguno	Proteína total, Dumas	Dumas AOAC Ed. 22, 2023 990,03	% (N x 6,25)	4,21
			Grasa, Gravimetría	AOAC Ed. 22, 2023 2003.06	%	0
			Fibra dietética total, Gravimétrico-Enzimática	AOAC 985.29. Ed. 22, 2023	%	10,0
			Proteína total, Dumas	Dumas AOAC Ed. 22, 2023 990,03	% (N x 6,25)	2,27
Matriz vegetal liofilizada Chip de zanahoria blanca	06526106	Ninguno	Grasa, Gravimetría	AOAC Ed. 22, 2023 2003.06	%	0,316
			Fibra dietética total, Gravimétrico-Enzimática	AOAC 985.29. Ed. 22, 2023	%	6,04
			Proteína total, Dumas	Dumas AOAC Ed. 22, 2023 990,03	% (N x 6,25)	4,00
			Grasa, Gravimetría	AOAC Ed. 22, 2023 2003.06	%	0
Matriz vegetal liofilizada Chip de papa nativa	06526107	Ninguno	Fibra dietética total, Gravimétrico-Enzimática	AOAC 985.29. Ed. 22, 2023	%	8,02
Conds. Ambientales: 18,3°C; 56,9%HR						
Nota: se adjunta 3 hojas						
 Ing. Gladys Risueño Directora de Calidad						
Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si						
Fecha de emisión del certificado: 20 de abril de 2026						

Nota: La muestra fue suministrada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra en las condiciones recibidas. El Laboratorio se responsabiliza exclusivamente de los resultados emitidos en base a la muestra entregada por el cliente.

El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento negociable. Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

"La información que se está enviando es confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser vinculante. Si usted no es el destinatario de esta información recomendamos eliminarla inmediatamente. La distribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente".

Figura 13. Análisis fisicoquímicos de fibra dietética, proteína y grasa (LACONAL).

ANEXO 8. Hojas de evaluación sensorial

FICHA DE CATACIÓN

TEMA: “Estudio comparativo del efecto del tiempo y medio de maceración rico en probióticos sobre las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de tres matrices vegetales liofilizadas a base de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), papa nativa (*Solanum tuberosum* L.) y zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft)”

Nombre:	Fecha:
----------------	---------------

INSTRUCCIONES:

- Consumir las muestras de las matrices vegetales en orden a la codificación que se evidencia en la hoja de catación.
- Marcar con una X en la sección que describa de mejor manera cada atributo.
- Tomar un sorbo de agua después de consumir una muestra.

Atributo	Escala	Muestra						
		427	109	219	852	314	740	631
OLOR	Me gusta mucho							
	Me gusta							
	Ni me gusta ni me disgusta							
	Me desagrada							
	Me desagrada mucho							
COLOR	Me gusta mucho							
	Me gusta							
	Ni me gusta ni me disgusta							
	Me desagrada							
	Me desagrada mucho							
SABOR	Me gusta mucho							
	Me gusta							
	Ni me gusta ni me disgusta							
	Me desagrada							
	Me desagrada mucho							
TEXTURA	Me gusta mucho							
	Me gusta							
	Ni me gusta ni me disgusta							
	Me desagrada							
	Me desagrada mucho							
ACEPTABILIDAD	Me gusta mucho							
	Me gusta							
	Ni me gusta ni me disgusta							
	Me desagrada							
	Me desagrada mucho							

Comentarios:.....

¡Gracias por su participación!

FICHA DE CATACIÓN

TEMA: “Estudio comparativo del efecto del tiempo y medio de maceración rico en probióticos sobre las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de tres matrices vegetales liofilizadas a base de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), papa nativa (*Solanum tuberosum* L.) y zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft)”

Nombre:	Fecha:
----------------	---------------

INSTRUCCIONES:

- Consumir las muestras de las matrices vegetales en orden a la codificación que se evidencia en la hoja de catación.
- Marcar con una X en la sección que describa de mejor manera cada atributo.
- Tomar un sorbo de agua después de consumir una muestra.

Atributo	Escala	Muestra						
		285	516	903	473	658	392	174
OLOR	Me gusta mucho							
	Me gusta							
	Ni me gusta ni me disgusta							
	Me desagrada							
	Me desagrada mucho							
COLOR	Me gusta mucho							
	Me gusta							
	Ni me gusta ni me disgusta							
	Me desagrada							
	Me desagrada mucho							
SABOR	Me gusta mucho							
	Me gusta							
	Ni me gusta ni me disgusta							
	Me desagrada							
	Me desagrada mucho							
TEXTURA	Me gusta mucho							
	Me gusta							
	Ni me gusta ni me disgusta							
	Me desagrada							
	Me desagrada mucho							
ACEPTABILIDAD	Me gusta mucho							
	Me gusta							
	Ni me gusta ni me disgusta							
	Me desagrada							
	Me desagrada mucho							

Comentarios:.....

¡Gracias por su participación!

FICHA DE CATACIÓN

TEMA: “Estudio comparativo del efecto del tiempo y medio de maceración rico en probióticos sobre las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de tres matrices vegetales liofilizadas a base de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), papa nativa (*Solanum tuberosum* L.) y zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft)”

Nombre:	Fecha:
----------------	---------------

INSTRUCCIONES:

- Consumir las muestras de las matrices vegetales en orden a la codificación que se evidencia en la hoja de catación.
- Marcar con una X en la sección que describa de mejor manera cada atributo.
- Tomar un sorbo de agua después de consumir una muestra.

Atributo	Escala	Muestra						
		549	645	136	704	467	250	821
OLOR	Me gusta mucho							
	Me gusta							
	Ni me gusta ni me disgusta							
	Me desagrada							
	Me desagrada mucho							
COLOR	Me gusta mucho							
	Me gusta							
	Ni me gusta ni me disgusta							
	Me desagrada							
	Me desagrada mucho							
SABOR	Me gusta mucho							
	Me gusta							
	Ni me gusta ni me disgusta							
	Me desagrada							
	Me desagrada mucho							
TEXTURA	Me gusta mucho							
	Me gusta							
	Ni me gusta ni me disgusta							
	Me desagrada							
	Me desagrada mucho							
ACEPTABILIDAD	Me gusta mucho							
	Me gusta							
	Ni me gusta ni me disgusta							
	Me desagrada							
	Me desagrada mucho							

Comentarios:.....

¡Gracias por su participación!