

Evaluación del uso de salmuera residual procedente de la producción de sal marina en la fermentación láctica de zanahorias

Evaluation of the Use of Residual Brine from Sea Salt Production in the Lactic Fermentation of Carrots

Esnaider Rodríguez Suárez erodriguezsuarez2013@gmail.com ⁽¹⁾
<https://orcid.org/0009-0001-8615-3259>

Aive Amélia Vasco Mate aivemate009@gmail.com ⁽¹⁾
<https://orcid.org/0009-0007-1734-0406>

⁽¹⁾ **Universidade** Wutivi-UniTiva, Boane, Maputo, Mozambique

Abstract: This study assesses the feasibility of using residual brine from Salinas Golfinho, Lda, as an alternative medium for the lactic fermentation of carrots (*Daucus carota* L.). Physico-chemical, microbiological and sensory studies were carried out. The residual brine had a pH of 6.0, a hardness of 290 mg/L (expressed as CaCO₃), a chloride concentration of 5%, and no phosphorus or nitrates. After heat treatment and concentration, it was applied to the spontaneous fermentation of carrots for 15 days. The final product had a pH between 3.5 and 3.9, a mold count of 0 UFC/g and yeast counts of over 300 UFC/g, suggesting possible parallel alcoholic fermentation associated with the active presence of yeast. The centesimal analysis showed an increase in moisture from 90 % to 92 %, in ash from 0.7% to 1.1%, in fiber from 2.5 % to 2.8 % and in calcium from 33 mg/100 g to 48 mg/100 g compared to fresh carrots. At the same time, there was a reduction in carbohydrates from 5.6% to 2.9% and in the energy value from 26 kcal/100 g to 17.3 kcal/100 g and phosphorus from 30 mg/100 g to 23 mg/100 g. The sensory analysis revealed good acceptance, especially in terms of texture, aroma and flavor, with the final product being described as similar to fermented olives. The study concludes that residual brine is technically viable as a fermentation medium, capable of improving the nutritional profile of carrots.

Keywords: food safety, food engineering, vegetable preservation

Resumen: Este estudio evalúa la viabilidad de utilizar la salmuera residual procedente de la Salina Golfinho, Lda, como medio alternativo para la fermentación láctica de zanahorias (*Daucus carota* L.). Se realizaron estudios físico-químicos, microbiológicos y sensoriales. La salmuera residual tenía un pH de 6,0, una dureza de 290 mg/L (expresada como CaCO₃),

una concentración de cloruro del 5% y no contenía fósforo ni nitratos. Tras el tratamiento térmico y la concentración, se aplicó la fermentación espontánea de zanahorias durante 15 días. El producto final tenía un pH de entre 3,5 y 3,9, un recuento de mohos de 0 UFC/g y recuentos de levaduras de más de 300 UFC/g, lo que sugiere una posible fermentación alcohólica paralela asociada a la presencia activa de levaduras. El análisis centesimal mostró un aumento de la humedad del 90% al 92%, de las cenizas del 0,7% al 1,1%, de la fibra del 2,5 % al 2,8 % y del calcio de 33 mg/100 g a 48 mg/100 g en comparación con las zanahorias frescas. Al mismo tiempo, se produjo una reducción de los hidratos de carbono del 5,6% al 2,9% y del valor energético de 26 kcal/100 g a 17,3 kcal/100 g y del fósforo de 30 mg/100 g a 23 mg/100 g. El análisis sensorial reveló una buena aceptación, especialmente en términos de textura, aroma y sabor, describiéndose el producto final como similar a las aceitunas fermentadas. El estudio concluye que la salmuera residual es técnicamente viable como medio de fermentación, capaz de mejorar el perfil nutricional de las zanahorias.

Palabras clave: seguridad alimentaria, ingeniería de los alimentos, conservación de vegetales

Introducción

La conservación de verduras y frutas mediante fermentación es una práctica antigua que combina beneficios nutricionales y sensoriales con una mayor durabilidad de los alimentos. La fermentación láctica destaca como uno de los métodos de conservación más tradicionales y naturales que prescinde de aditivos químicos (Katz & Tanguy, 2023). Además, la innovación se ha vuelto esencial en este proceso para garantizar la calidad y sostenibilidad en la industria alimentaria. Teniendo esto en consideración, este trabajo propone el uso de salmuera residual de la producción de sal marina en la fermentación de verduras y frutas, promoviendo la utilización de subproductos industriales para crear alimentos sostenibles e innovadores.

La producción de sal marina da como resultado la formación de cristales de sal y la generación de salmuera residual, una solución rica en minerales y sales que a menudo se desecha. Sin embargo, cuando se trata adecuadamente, se puede utilizar como alternativa a la sal convencional para la fermentación, alineándose con las prácticas de economía circular y sostenibilidad ambiental. Este uso no solo reduce los desechos, sino que también puede enriquecer los alimentos fermentados con nutrientes adicionales.

La fermentación láctica, impulsada por la sal presente en la salmuera, es un proceso natural en el que los microorganismos convierten los azúcares en ácido láctico, conservando el alimento y mejorando su digestibilidad (Didari *et al.*, 2014). Además de aumentar la inocuidad de los alimentos y extender el tiempo de conservación de las verduras, la fermentación reduce compuestos antinutricionales como los fitatos y mejora la biodisponibilidad de minerales esenciales como el hierro y el calcio (Ray & Sivakumar, 2009). El uso de salmuera residual puede potenciar estos beneficios y contribuir a la oferta de alimentos probióticos con un impacto positivo en la salud intestinal (Zapasnik, Sokolowska & Bryla, 2022; Valentino *et al.*, 2024; Abbaspour, 2024).

En regiones de clima cálido, donde el deterioro de los alimentos se acelera, la fermentación con salmuera residual puede ser una alternativa viable para conservar verduras y frutas fuera de temporada, así como permitir el uso de productos que, por razones estéticas, no serían comercializados, pero que aún poseen un alto valor nutricional (Sharma *et al.*, 2015). Este enfoque es especialmente relevante en países en desarrollo, donde métodos convencionales como la congelación y el enlatado pueden ser económicamente inviables y susceptibles a fallos de conservación (Huang *et al.*, 2023).

El creciente interés por los alimentos fermentados, reconocidos por sus beneficios para la microbiota intestinal y la prevención de enfermedades, refuerza la relevancia de esta investigación. Estos productos son ricos en antioxidantes tales como flavonoides y carotenoides, los cuales juegan un papel clave en la prevención de enfermedades degenerativas y el envejecimiento saludable (Kaur & Kapoor, 2017). Por lo tanto, el desarrollo de conservas fermentadas con salmuera residual responde a una demanda de alimentos más saludables y naturales.

Este estudio evaluará la factibilidad y los beneficios del uso de salmuera residual en la fermentación de zanahorias, considerando aspectos como la calidad sensorial, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad. Al fomentar el uso de subproductos industriales en la producción de alimentos asequibles y nutritivos, esta investigación contribuye a soluciones innovadoras en la conservación de alimentos. Asimismo, el estudio se enmarca en el contexto más amplio de la innovación alimentaria, explorando la fermentación láctica como un enfoque sostenible que combina tradición y tecnología en la producción de alimentos saludables y ecológicos.

Presentación y definición del problema de investigación

La creciente preocupación por las pérdidas poscosecha y el desperdicio de alimentos representa uno de los principales desafíos que enfrenta la cadena agroalimentaria global. Un significativo número de verduras como las zanahorias, se descartan antes incluso de llegar al consumidor final, comprometiendo no solo la seguridad alimentaria, sino también los recursos invertidos a lo largo de la cadena productiva (Fernández-Xicotén, 2023). Al mismo tiempo, otro problema ambiental de gran relevancia es el desecho de la salmuera residual generada en la producción de sal marina, un subproducto altamente concentrado en sales, cuya eliminación inadecuada puede tener impactos negativos en los ecosistemas, la calidad del agua y los suelos.

El destino final de la salmuera residual, cuando no es tratada de manera apropiada, constituye una amenaza ambiental y puede contribuir a la salinización de tierras agrícolas, la degradación de la biodiversidad acuática y la contaminación de las aguas subterráneas. Además del impacto ambiental, este problema también tiene implicaciones sociales y humanitarias, dado que el desperdicio de alimentos y el uso insostenible de los recursos naturales ocurren junto a realidades de inseguridad alimentaria en diversas comunidades.

El objetivo de esta investigación es evaluar la viabilidad de la reutilización de la salmuera residual procedente de la producción de sal marina como medio alternativo para la fermentación láctica de vegetales, haciendo énfasis en la producción de zanahorias lactofermentadas.

Materiales y métodos

Caracterización de la investigación

Este estudio adopta un enfoque de métodos mixtos, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para evaluar la viabilidad del uso de la salmuera residual para conservar zanahorias. La investigación es de naturaleza aplicada, ya que busca desarrollar una solución práctica para utilizar la salmuera en la fermentación de vegetales (Marconi & Lakatos, 2017). También es de carácter exploratorio, ya que investiga una aplicación poco estudiada de este subproducto, permitiendo formular nuevas hipótesis sobre su uso (Sousa, Oliveira & Alves, 2021).

Los procedimientos metodológicos incluyen revisión bibliográfica, estudio experimental y estudio de campo. La revisión bibliográfica se basa en un estudio de la literatura sobre la

salmuera residual, la fermentación láctica y la conservación de vegetales (Boccatto, 2006). El estudio experimental implica la recolección de muestras, la fermentación de las zanahorias y la realización de análisis de laboratorio para caracterizar los efectos de la salmuera en la calidad del producto final (Gil, 2008). El estudio de campo consiste en la obtención de la salmuera residual de Salinas Golfinho, Lda. y el análisis del mercado local Fajardo en Maputo, ayudando a contextualizar los datos experimentales en un escenario real.

Descripción general de la empresa salinera en estudio Salinas Golfinho, Lda

Salinas Golfinho, Lda. se fundó en el 2009, con el objetivo de producir sal marina de manera artesanal. La empresa opera dos unidades de producción ubicadas en la Provincia de Maputo: la sede en Matola "A" y una sucursal en Chinonanguila. Las salinas se encuentran aguas abajo de un área residencial, lo que requiere especial atención a la gestión ambiental de los residuos generados.

Características Estructurales y Organización Espacial: La salina ocupa un área total estimada de alrededor de 5 hectáreas, con una distribución funcional de estructuras. Cuenta con aproximadamente 28 tanques de evaporación, cada uno con un área promedio de 20 m², organizados en filas conectadas por canales de conducción de agua. También existen alrededor de 8 cristalizadores poco profundos, de diferentes tamaños, para la precipitación de cristales de sal. La infraestructura también incluye un depósito de almacenamiento, una oficina administrativa y una sala de máquinas.

Proceso de producción de sal marina: La producción comienza con la recolección de agua de mar durante la marea alta, la cual se conduce a reservorios primarios con una capacidad de alrededor de 10 000 litros. El agua pasa a tanques de sedimentación, donde las partículas sólidas se sedimentan. El agua se dirige luego a los tanques de evaporación, donde pierde volumen gradualmente debido a la acción del sol y el viento, hasta alcanzar una alta concentración salina. En los cristalizadores, precipitan los cristales de sal. El primer producto recolectado es la flor de sal, con un rendimiento estimado de 2 a 3 kg por m², seguido de cristales más densos, con una producción promedio de 15 a 20 kg por tanque por ciclo.

Generación y Desecho de la Salmuera Residual: Se estima que se desechan aproximadamente 400 a 500 litros de salmuera residual por ciclo de producción. Esta se vierte a través de simples canales de drenaje construidos en zanjas de tierra hacia diferentes direcciones como el Río Matola, el océano y el subsuelo (Figura 1).

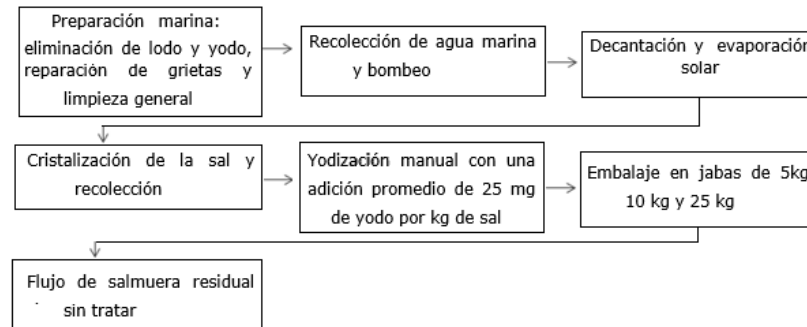


Figura 1. Diagrama de flujo de producción en Salinas Golfinho, Lda.

Comentarios ambientales y sociales

La proximidad de la salina a áreas residenciales representa un riesgo potencial si los residuos líquidos no se gestionan adecuadamente. Sin embargo, la salina es una fuente importante de empleo informal para la población local, con alrededor de 12 trabajadores fijos y temporales. La ausencia de un sistema para reutilizar la salmuera residual representa una oportunidad de mejora ambiental y técnica.

Proceso y recolección de muestras en Mercado Fajardo

Las zanahorias fueron adquiridas en el Mercado Fajardo, ubicado en el distrito de Alto-Maé en Maputo, uno de los mercados más concurridos de la capital. Este mercado se caracteriza por su diversidad comercial, donde se pueden encontrar productos de diferentes categorías, como alimentos frescos, condimentos, carne, frutas, verduras, prendas de vestir y diversos utensilios, y es considerado un punto estratégico para la compra de hortalizas frescas procedentes de diversas regiones del país.

El Mercado Fajardo fue elegido por su alto abastecimiento y movimiento de hortalizas, lo que aumenta la probabilidad de obtener zanahorias en buen estado y con una frescura adecuada para el propósito experimental.

En cuanto a los criterios de selección y compra, se optó por zanahorias de origen nacional, cosechadas en la parte sur de Mozambique, aunque el vendedor no especificó en detalle el lugar exacto de producción. Se garantizó, sin embargo, que las zanahorias habían llegado recientemente al mercado, lo que sugiere un nivel satisfactorio de frescura. Las zanahorias fueron seleccionadas en base a una evaluación sensorial previa, observando los siguientes parámetros:

-Aspecto visual: sin manchas, cortes, magulladuras o signos de putrefacción inicial;

-Tacto: textura firme, indicando buena conservación poscosecha;

-Aroma: presencia del olor fresco y característico de las zanahorias, sin olores extraños o signos de deterioro. Las zanahorias seleccionadas presentaban buena calidad física y se consideraron aptas para el proceso experimental de fermentación láctica, garantizando así la fiabilidad de los resultados del estudio.

Preparación de muestras

Tratamiento de la salmuera

La salmuera utilizada en el proceso fue enviada inicialmente al Laboratorio Nacional de Higiene del Agua y los Alimentos, donde se llevó a cabo una caracterización fisicoquímica y microbiológica preliminar para evaluar su composición. Se realizaron análisis para determinar la dureza total (calcio y magnesio), la presencia de nitratos, el pH y los cloruros (grado de salinidad), asegurando un conocimiento previo de las condiciones de la solución a utilizar en el proceso de fermentación.

Proceso de Fermentación de Zanahorias

Después de realizar los análisis de laboratorio preliminares, la salmuera residual se sometió a un tratamiento adicional para adecuarla para el proceso de fermentación. Primero se filtró la salmuera para eliminar posibles impurezas y luego se sometió a un tratamiento térmico mediante ebullición durante 1 hora, con dos objetivos principales: eliminar microorganismos contaminantes, asegurando la esterilización de la solución, y reducir su volumen, logrando así una salmuera más concentrada, ya que la muestra se tomó durante un período lluvioso y podría tener niveles de sal diluidos. El tratamiento térmico permitió, por lo tanto, aumentar la concentración de sal y crear un ambiente más controlado y seguro para la fermentación espontánea de las zanahorias.

Después de este tratamiento, la salmuera se incorporó al proceso experimental de fermentación láctica de las zanahorias (Figura 2).

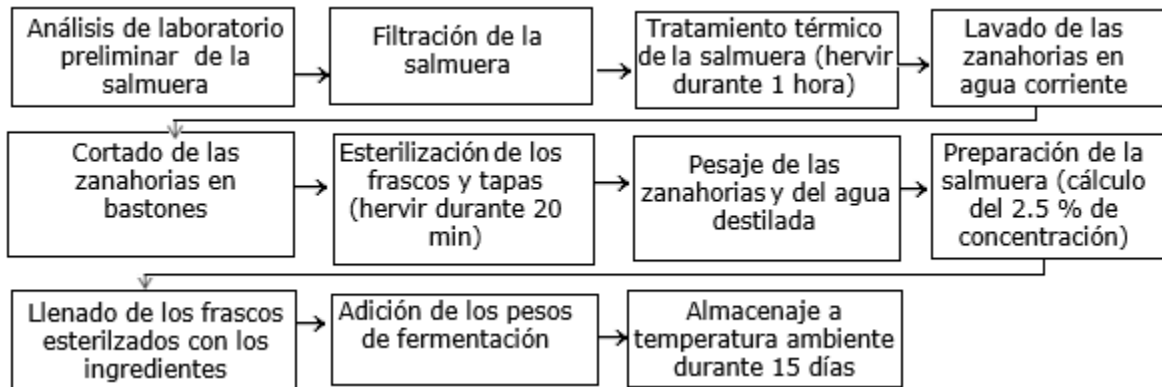


Figura 2. Diagrama de flujo de la fermentación láctea de zanahorias en salmuera residual.

Preparación de la materia prima: Las zanahorias se lavaron con agua corriente, sin aplicar desinfectantes ni pelado para preservar la microbiota natural en la superficie del vegetal, lo cual es esencial para llevar a cabo la fermentación espontánea. Después del lavado, las zanahorias se cortaron en bastones uniformes para aumentar la superficie de contacto con la salmuera, lo que favorece el proceso de fermentación.

Esterilización de recipientes: Los frascos de vidrio y sus tapas metálicas utilizados para el envasado se esterilizaron hirviéndolos durante 20 minutos, asegurando la eliminación de contaminantes y evitando interferencias en el proceso microbiológico.

Pesaje de ingredientes: Con el frasco previamente pesado en una balanza, se pesaron los ingredientes: 464 g de zanahoria; 168 g de agua destilada.

Preparación de la salmuera: La concentración de sal objetivo en la solución final se fijó en 2,5%. Para ello, se consideraron dos opciones metodológicas:

-Opción A: Adición directa de sal sólida (salmuera convencional): Cálculo: 2,5% de 632 g = 15,8 g de sal sólida para agregar directamente al frasco.

-Opción B: Uso de salmuera concentrada (35,5%): La fórmula de dilución $C_1V_1 = C_2V_2$.

Donde:

- C_1 = 35.5% (salmuera concentrada)

- C_2 = 2.5% (concentración deseada)

- V_2 = 168 g (volumen total de la parte líquida)

- V o V_1 = $(2.5 \times 168) / 35.5 \approx 11.8$ g de salmuera concentrada

-Agua destilada complementaria: 168 g - 11,8 g = 156,2 g

Llenado: Después de preparar los ingredientes, se introdujeron en frascos esterilizados, añadiendo pesas de fermentación para asegurar que las zanahorias permanecieran completamente sumergidas en la salmuera, minimizando así el contacto con el oxígeno y previniendo el crecimiento de microorganismos indeseados en la superficie.

Condiciones de sellado y fermentación: Las tapas de los frascos solo se ajustaron, sin sellado hermético, permitiendo que el dióxido de carbono (CO_2) generado durante la fermentación saliera naturalmente. Los frascos se almacenaron a temperatura ambiente, alejados de la luz directa, durante un período de 15 días (Figura 3).

Al final del período de fermentación, los frascos se enviaron al Laboratorio Nacional de Higiene del Agua y los Alimentos, donde se cuantificaron mohos y levaduras; se realizó análisis centesimal (humedad, cenizas, grasa, fibra, calcio, fósforo, hierro, carbohidratos, valor energético) y se determinó el pH final.



Figura 3. Zanahoria fermentada en el día 15.

Análisis de laboratorio de la salmuera residual

Para determinar el pH, se aplicó el método electrométrico con electrodo de vidrio.

- a) Determinación de cloruros: Para determinar cloruros, se utilizó 1 mL de la salmuera diluida en 99 mL de agua destilada en un matraz de Erlenmeyer. Luego se agregó 1 mL de solución de cromato de potasio (KCrO_7) como indicador. La solución se tituló con nitrato de plata (AgNO_3) hasta que el color cambió a naranja ladrillo, indicando el punto final de la titulación, correspondiente a la formación de cromato de plata.
- b) Dureza del agua: Para determinar la dureza del agua (contenido de iones calcio y magnesio), 1 mL de la salmuera se diluyó en 49 mL de agua destilada. A la solución se agregó 1 mL de tampón de amoníaco/ amonio (para ajustar el pH a alrededor de 10) y 1 gota de indicador negro de eriocromo T. La solución se tituló con EDTA (ácido

etilendiaminotetraacético). La titulación continuó hasta que el color cambió de vino a azul, indicando el punto final.

- c) Determinación Cualitativa de Nitratos: Para la Determinación Cualitativa de Nitratos, se utilizaron 1 mL de la muestra y 1 mL de solución de difenilamina (reactivo de Mesler). La presencia de nitratos se determina por la formación de un color azul intenso, resultante de la oxidación de la difenilamina en medio ácido ante la presencia de nitratos. Esta prueba solo confirma la presencia o ausencia de nitratos y no se usa para cuantificación.
- d) Análisis de fósforo: Se tomaron 5 mL de la muestra que se trataron con ácido sulfúrico para acidificar. Luego se agregó el reactivo molibdato de amonio, que reacciona con los fosfatos presentes para formar un complejo de molibdeno azul, cuya intensidad es proporcional a la concentración de fósforo. Luego se lee por espectrofotometría a 660 nm y se compara con una curva de calibración estándar preparada con soluciones de fósforo conocidas.

Análisis de la zanahoria fermentada

Mohos y levaduras

La muestra, previamente fragmentada en una solución estéril, se diluyó y se prepararon diluciones decimales. Se pipeteó 1 mL de la muestra en placas de Petri estériles, se agregó el medio de cultivo líquido a aproximadamente 45°C, se mezcló y se dejó solidificar. Se incubó a 25°C durante 72 horas en posición invertida. Se contaron las colonias y los resultados se expresaron en UFC/g o UFC/mL (Figura 4).



Figura 4. Placas de Petri, cultivo por incorporación.

Análisis fisicoquímico de las zanahorias

- a) Humedad: Para determinar la humedad, se pesaron 5 g de la muestra de zanahoria en una placa de Petri y se colocó en un horno de secado a 105°C durante aproximadamente 3 horas, hasta que la muestra se deshidrató completamente. Después del tiempo de secado,

la placa se enfrió en un desecador y se pesó nuevamente. La pérdida de masa corresponde al contenido de humedad de la muestra.

b) Cenizas: Para determinar las cenizas, después de extraer la humedad, se pesaron 3 g de la muestra de zanahoria seca en un crisol. La muestra se sometió primero a carbonización continua durante 16 horas en un horno para reducir la materia orgánica superficialmente. Luego, el crisol se colocó en un horno de mufla a aproximadamente 600°C, donde permaneció hasta incinerarse por completo, dando como resultado un residuo mineral. Luego, el crisol se enfrió en un desecador y se pesó. El residuo final se tomó como el contenido de cenizas de la muestra.

c) Lípidos: Para determinar lípidos, 2 g de la muestra de zanahoria seca se colocaron en cartuchos apropiados y se llevaron al horno de secado durante 3 horas para eliminar la humedad residual. Luego, los cartuchos se insertaron en la máquina de extracción de lípidos, donde se extrajeron los compuestos lipídicos. Después de la extracción, los cartuchos se secaron nuevamente durante 2 horas en una estufa, se enfriaron en un desecador y se pesaron. La diferencia de masa corresponde a la cantidad de lípidos extraídos de la muestra.

d) Fibra: Para determinar el contenido de fibra, se utilizaron 3 g de la muestra de zanahoria seca que se sometieron a un proceso de digestión secuencial. Primero, la muestra se trató con ácido sulfúrico diluido (1,25%) bajo calentamiento para simular la digestión gástrica y eliminar los constituyentes solubles en ácido. Luego, la muestra se lavó y se trató con hidróxido de sodio (1,25%), también bajo calentamiento, para eliminar los compuestos alcalino-solubles como proteínas y parte del almidón. El residuo final se filtró, se secó en un horno, se incineró en un horno de mufla y se determinó el contenido de fibra por la diferencia entre el residuo seco y las cenizas obtenidas después de la incineración.

e) Calcio: El residuo mineral que se obtuvo después de incinerar la muestra de zanahoria seca se utilizó para determinar el calcio. Se disolvieron las cenizas en ácido clorhídrico diluido (HCl), formando una solución que contiene los minerales presentes. Esta solución luego se sometió a titulación con EDTA, en un medio tamponado a un pH de 10 (generalmente con tampón de amoníaco/amonio), utilizando negro de eriocromo T como indicador. La titulación se realizó hasta que el color cambió, indicando el punto final. La cantidad de EDTA consumida corresponde a la concentración de calcio presente en la muestra de cenizas.

f) Fósforo: Para el análisis de fósforo a partir de las cenizas, el residuo mineral obtenido de la incineración de la muestra de zanahoria seca se disolvió en ácido clorhídrico diluido (HCl) para solubilizar los minerales. La solución resultante luego se hizo reaccionar con molibdato de amonio en medio ácido, formando un complejo de fosfomolibdato. Este complejo puede

reducirse luego con ácido ascórbico u otro agente reductor, dando lugar a un color azul característico (azul de molibdeno), cuya intensidad se mide por espectrofotometría a alrededor de 660 nm. La concentración de fósforo se determina sobre la base de una curva de calibración estándar, permitiendo calcular el contenido de fósforo de las cenizas.

g) Carbohidratos: La determinación del contenido de carbohidratos en los alimentos se realizó por diferencia, es decir, restando a la materia total los contenidos de los otros componentes analizados (humedad, proteínas, lípidos, cenizas y fibra). Cada componente debe expresarse en porcentaje (% m/m) de la muestra. La fórmula de cálculo es:

$$\text{Carbohidratos (\%)} = 100 - (\text{Humedad} + \text{Proteínas} + \text{Lípidos} + \text{Grasas} + \text{Fibras})$$

h) Energía: El valor energético (calórico) de un alimento también se calcula en base a la suma de los macronutrientes - carbohidratos, proteínas y lípidos - multiplicada por su equivalencia calórica. La fórmula de cálculo utilizada fue:

$$\text{Energía (kcal/100g)} = (\text{Carbohidratos} \times 4) + (\text{Proteínas} \times 4) + (\text{Lípidos} \times 9)$$

Análisis sensorial

La evaluación sensorial la realizó un panel compuesto por individuos de entre 20 y 30 años, con una distribución equitativa entre los sexos (50% mujeres y 50% hombres). El proceso de evaluación se basó en la aplicación de un cuestionario estructurado, disponible en el apéndice, que permitió la recolección sistemática de datos sensoriales.

Se evaluaron atributos sensoriales esenciales del producto fermentado, en concreto, color, aroma, sabor, textura y apariencia general, así como el grado de similitud con un producto estándar y el nivel de aceptación general por parte de los catadores.

La metodología aplicada fue la prueba sensorial triangular, en la que se entregaron a los catadores tres muestras codificadas, dos idénticas y una diferente. En este caso, las muestras 1 y 3 correspondían al producto fermentado con salmuera residual, objeto principal del estudio; mientras que la muestra 2 se fermentó con salmuera convencional, utilizada como referencia comparativa.

Este tipo de prueba sensorial permitió evaluar objetivamente la diferenciación entre los productos y la preferencia sensorial de los catadores, proporcionando valiosa información subjetiva sobre la percepción del consumidor acerca de las características organolépticas de las verduras fermentadas con salmuera residual.

Discusión de los resultados

Parámetros fisicoquímicos del agua

Los resultados de la caracterización fisicoquímica preliminar de la salmuera residual utilizada en el proceso de fermentación revelaron aspectos importantes para comprender su composición y potencial aplicación tecnológica. Estos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de la salmuera residual

Parámetro	pH	Cloruros	Dureza (Ca ₂₊ and Mg ₂₊)	Fósforo	Nitratos
Salmuera residual	6	5%	290mg/L	0 mg	Ausente

El pH inicial de la salmuera fue 6,0, un valor considerado casi neutro, que se encuentra dentro del rango esperado para salmueras residuales tomadas directamente de los tanques de cristalización. Este valor relativamente alto puede atribuirse a la dilución natural de las sales por la precipitación estacional, ya que la muestra se tomó durante la temporada de lluvias, un factor que interfiere directamente en la composición del agua de mar residual. Esta característica reforzó la necesidad del tratamiento térmico y la concentración artificial de la salmuera por ebullición, tal como se adoptó en este estudio, para simular una salmuera más saturada de manera que fuera adecuada para el proceso de fermentación.

La concentración de cloruros fue de un 5%, valor que es inferior a los niveles habituales en salmueras industriales (normalmente superiores al 10%). Esta baja concentración también es reflejo de la dilución causada por las lluvias, que, sin el tratamiento de concentración, podría comprometer la acción inhibitoria de la sal sobre microorganismos indeseables durante la fermentación. Como describen Ray & Sivakumar (2009), los niveles de sal inferiores al 5% pueden favorecer la proliferación de bacterias y mohos deteriorantes. Por lo tanto, el tratamiento térmico con reducción de volumen fue una medida necesaria para corregir esta condición inicial.

En cuanto a la dureza total de la salmuera, se registró un valor alto de 290 mg/L de calcio y magnesio, lo que indica una salmuera rica en minerales. Estos valores son consistentes con el perfil mineral típico de las salmueras de cristalizadores artesanales (De Sousa *et al.*, 2021). Esta dureza puede ser beneficiosa en el proceso de fermentación, ya que los iones de calcio, además de contribuir a la firmeza estructural de las verduras, también pueden influir positivamente en la actividad enzimática de algunas bacterias del ácido láctico (Carbonera & Espírito Santo, 2010; Zhao et al., 2024).

La ausencia de nitratos y fósforo en la salmuera analizada también es relevante. La ausencia de nitratos es un factor positivo desde el punto de vista de la seguridad alimentaria, ya que estos compuestos, cuando están presentes en exceso, pueden convertirse en nitritos y representar riesgos para la salud humana, especialmente a través de la conversión en nitritos y posibles efectos carcinogénicos (FAO, 2017). La ausencia de nitratos sugiere que la salmuera residual en este caso no representa ningún riesgo en términos de la presencia de compuestos nitrogenados indeseados. La ausencia de fósforo indica una composición mineral limitada para este nutriente específico, lo cual es compatible con el origen de la salmuera, al ser un producto de la evaporación del agua de mar y no de fuentes orgánicas o agrícolas.

Caracterización de la Zanahoria Fermentada

El análisis del pH de la zanahoria fermentada reveló un valor final de 3,5, que está completamente en línea con los principios de la fermentación láctica espontánea y los valores esperados para este tipo de producto. Un pH inferior a 4,0 indica eficiencia en la producción por bacterias del ácido láctico, principalmente del género *Lactobacillus*, que están naturalmente presentes en la superficie de las verduras y encuentran en la salmuera un ambiente favorable para su desarrollo (Zhao *et al.*, 2024).

De acuerdo con Carbonera y Espíritu Santo (2010), la reducción del pH representa uno de los principales mecanismos de conservación natural, ya que previene el crecimiento de microorganismos patógenos y deteriorantes tales como *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* y mohos toxigénicos. Dado que los niveles de pH inferiores a 4,2 se consideran seguros para productos vegetales fermentados, garantizan la estabilidad microbiológica sin necesidad de aditivos químicos.

Además, el valor de pH de 3,5 obtenido en este estudio refuerza el buen desempeño de la salmuera residual como medio de fermentación, validando su viabilidad práctica. Estudios como los de Lys (2024) demuestran que el uso de recursos alternativos, como residuos agroindustriales o aguas residuales ricas en sal, puede ser una estrategia efectiva para promover fermentaciones controladas y seguras.

Conteo de mohos y levaduras

Los resultados del recuento microbiológico en las zanahorias fermentadas indicaron la ausencia de mohos (0 UFC/g) y la presencia de levaduras por encima de 300 UFC/g. Esta ausencia de mohos es un indicador positivo, ya que un ambiente ácido (pH 3,5) y una rápida fermentación láctica crean condiciones desfavorables para el desarrollo de hongos indeseables, garantizando la seguridad del producto en términos de contaminación por microorganismos patógenos (Ray & Sivakumar, 2009).



Figura 5. Placas de Petri llenos de UFCs de levaduras después de la incubación.

En cambio, los altos recuentos de levaduras pueden interpretarse desde dos perspectivas. Por un lado, la presencia de levaduras puede contribuir a la complejidad del perfil sensorial, favoreciendo la formación de compuestos volátiles que enriquecen el aroma y sabor del producto fermentado (Kim & Park, 2015). Por otro lado, esta alta población plantea la hipótesis de una fermentación alcohólica paralela, en la que parte de los azúcares pueden convertirse en etanol y dióxido de carbono, lo que podría ser nocivo si los niveles de etanol superan los límites aceptables para el consumo humano (Zhao *et al.*, 2024).

Parámetros fisicoquímicos de la zanahoria

El análisis centesimal mostró notables cambios en la composición nutricional de la zanahoria después de la fermentación con salmuera residual (tabla 2).

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos de las zanahorias

Parámetro	Zanahorias sin fermentar	Zanahoria tras fermentación con salmuera residual
Humedad (%)	90,0	92,0
Cenizas (%)	0,7	1,1
Fibras (%)	2,5	2,8
Lípidos (%)	0,2	0,3
Proteínas (%)	1,0	0,9
Carbohidratos (%)	5,6	2,9
Energía (kcal)	26,0	17,3
Calcio (mg/100g)	33	48
Fósforo (mg/100g)	30	23

La humedad pasó del 90% en la zanahoria cruda, al 92% en la fermentada, lo que puede explicarse por la absorción de agua y sales durante el proceso de fermentación. Esto

corroborar los hallazgos de Janiszewska-Turak *et al.* (2023), quienes observaron un comportamiento similar en jugos vegetales sometidos a fermentación.

El aumento en el porcentaje de cenizas, del 0,7% al 1,1%, indica la transferencia de minerales presentes en la salmuera residual a la matriz de la zanahoria, enriqueciendo potencialmente el alimento con micronutrientes esenciales. Este enriquecimiento mineral se evidenció en el aumento del contenido de calcio (de 33 a 48 mg/100g). Sin embargo, no ocurre lo mismo para el fósforo, el cual revela una pequeña pérdida o disolución de este mineral (de 30 a 23 mg/100g) en la salmuera, la cual previamente no lo tenía en su composición (Zhao *et al.*, 2024; Lys, 2024).

La reducción de los carbohidratos, del 5,6 % al 2,9 %, refleja el consumo de azúcares por las bacterias del ácido láctico durante la fermentación, un proceso que resulta en la producción de ácido láctico y otros metabolitos (Kim & Park, 2015). Esta disminución de los carbohidratos también contribuyó a la reducción del valor energético, que pasó de 26 kcal a 17,3 kcal por cada 100 g. Estos resultados se alinean con el principio de que la fermentación tiende a reducir el contenido calórico de las verduras al consumir los azúcares disponibles (FAO, 2017).

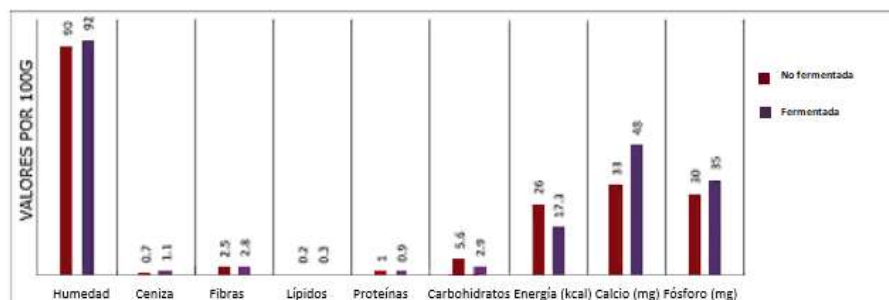


Figura 6. Comparación del análisis centesimal de zanahorias fermentadas y no fermentadas.

Los valores también sugieren una ligera reducción en el contenido de proteínas (del 1,0% al 0,9%), justificado por la hipótesis de la acción de enzimas liberadas durante la fermentación, las cuales pueden degradar las proteínas en péptidos más pequeños o aminoácidos, sin afectar significativamente el valor nutricional general del alimento. En contraste, se observó que los lípidos permanecieron prácticamente sin cambios, ya que la fermentación láctica no se caracteriza por el uso de grasas como sustrato principal.

El aumento relativo de la fibra (del 2,5 a 2,8%) puede atribuirse a la concentración de sólidos remanentes después del consumo de carbohidratos solubles, así como a posibles

modificaciones estructurales de la pared celular promovidas por el proceso de fermentación (Ray & Sivakumar, 2009; Kim & Park, 2015). Este fenómeno sugiere que, si bien la fermentación consume componentes solubles, puede, favorecer la fracción insoluble, mejorando potencialmente la digestibilidad y funcionalidad de las fibras presentes.

Estos cambios en la composición nutricional indican que la fermentación mediante el uso de salmuera residual no solo transforma las zanahorias en un producto con un valor calórico más bajo, sino que también las enriquece con minerales y fibra, atributos que pueden contribuir al fomento de una dieta saludable y funcional (Arscott & Tanumihardjo, 2010; Ikram *et al.*, 2024). Además, la reducción de carbohidratos y el posterior aumento de acidez pueden favorecer la conservación del alimento, extendiendo su vida útil y mejorando su seguridad microbiológica.

Análisis sensorial

En general, las Muestras 1 y 3 (fermentadas con salmuera residual) obtuvieron puntuaciones más altas en los diversos atributos que la Muestra 2 (fermentada con salmuera convencional) (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados del análisis sensorial

Atributo	Salmuera residual (muestra 1)	Salmuera convencional (muestra 2)	Salmuera residual (muestra 3)
Color	7,6	6,8	7,4
Aroma	7,2	6,5	7,2
Sabor	6,8	6,2	7,0
Textura	7,4	6,6	7,2
Apariencia	7,3	6,4	7,5
Aceptación	7,5	6,6	7,4

Las puntuaciones promedio para atributos como color (7,6), aroma (7,2), sabor (6,8 a 7,0), textura (7,2 a 7,4) y aceptación general (7,4 a 7,5) indican una percepción sensorial satisfactoria. Estos se encuentran dentro de los rangos interpretados como "Me gustó moderadamente" a "Me gustó mucho", según la escala hedónica.

Uno de los puntos más importantes fue que el 75% de los catadores reportaron que el sabor y el aroma de las verduras fermentadas con salmuera residual eran notablemente similares al perfil sensorial típico de las aceitunas, particularmente en los descriptores de acidez suave, salinidad equilibrada y aroma ligeramente fermentado. Esta observación es consistente con estudios descritos en la literatura, como en la Guía de Fermentación de Noma (Kim & Park, 2015; Ray & Sivakumar, 2009), donde se indica que la fermentación

láctica puede conferir notas organolépticas complejas y características de madurez similares a las de productos fermentados tradicionales como aceitunas, pepinillos y chucrut.

La percepción de esta similitud con el perfil sensorial de las aceitunas es un aspecto positivo, ya que refuerza la naturaleza familiar y aceptable del producto en los consumidores. También, puede aprovecharse comercialmente como un diferencial sensorial.

Conjuntamente, la textura fue bien evaluada, destacando por su textura crujiente y firmeza, cualidades deseables en verduras fermentadas. Ello refleja la efectividad del método para conservar el alimento sin comprometer su estructura (Figura 7).

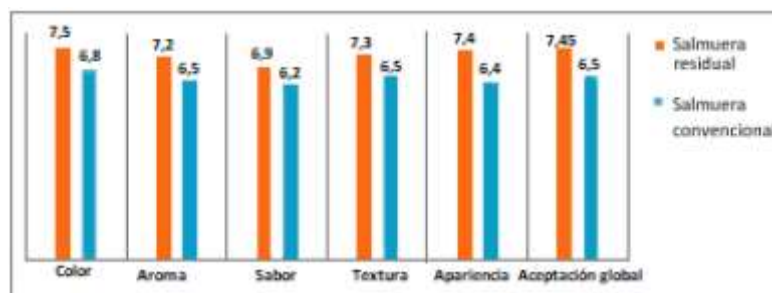


Figura 7. Comparación de los resultados del análisis sensorial: Salmuera residual Vs. convencional.

En cuanto a la preferencia declarada por los catadores, se apreció que la mayoría eligió las Muestras 1 y 3 como sus favoritas, indicando una aceptación sensorial similar o mayor a la de la muestra con salmuera convencional. De esta manera queda demostrada la viabilidad sensorial del uso de salmuera residual en el proceso de fermentación láctica.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian que la salmuera residual de la producción de sal marina en Salinas Golfinho, Lda. tiene un potencial viable como medio alternativo para la fermentación láctica de zanahorias (*Daucus carota L.*), al demostrar que es una solución funcional, sostenible y económicamente accesible. Su aplicación ha permitido no solo la valorización de un subproducto que a menudo se desecha con implicaciones ambientales, sino también la producción de un alimento fermentado seguro, enriquecido nutricionalmente y sensorialmente atractivo.

La disminución del pH final, que oscila entre 3,5 y 3,9, junto a la ausencia de mohos y el crecimiento de levaduras, demostró la efectividad de la salmuera residual para generar un ambiente propicio para la fermentación espontánea, incluso en ausencia de nutrientes como el fósforo y los nitratos. El análisis centesimal reveló mejoras significativas en el contenido

de fibra, cenizas, calcio y fósforo, con una consecuente reducción de carbohidratos y el valor energético, haciendo del producto final uno más saludable y funcional.

Además, la aceptabilidad sensorial positiva refuerza el potencial de este proceso para el uso doméstico, agroindustrial o comunitario, destacándose como una alternativa factible para la conservación de verduras, la diversificación alimentaria y la lucha contra el desperdicio. La aplicación de la salmuera residual en el contexto de la economía circular es estratégica, integrando prácticas de sostenibilidad e innovación tecnológica en el sector agroalimentario.

Por lo tanto, se puede concluir que el uso de salmuera residual como medio de fermentación no solo contribuye a reducir los impactos ambientales, sino que también promueve el desarrollo de nuevos productos con valor añadido, con potencial para ser replicado en diferentes contextos productivos, especialmente en comunidades con recursos limitados. Para investigaciones futuras, se recomienda replicar la técnica con otras verduras y analizar su comportamiento microbiológico bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

Referencias

- Abbaspour, N. (2024). El papel fundamental de la fermentación en la conformación del futuro de los alimentos de origen vegetal: una revisión integradora de los procesos de fermentación y su impacto en los beneficios sensoriales y para la salud. *Applied Food Reserach*, 4(2). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100468>
- Arscott, S.A., & Tanumihardjo, S.A. (2010). Carrots of many colors provide basic nutrition and bioavailable phytochemicals acting as a functional food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(2), 223–239. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00103.x>
- Boccato, V.R.C. (2006). Metodologia da pesquisa bibliográfica na área odontológica e o artigo científico como forma de comunicação. *Revista de Odontologia da Universidade de São Paulo*, 18(3), 265–274. <https://pesquisa.bvsalud.org/odontología/resource/espt/lil-488641>
- Carbonera, N., & Espírito Santo, M.L.P. (2020). Actividade do *Lactobacillus plantarum* na preservação da anchoita (*Engraulis anchoita*) fermentada. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, 69(2), 201–207. <https://docs.bvsalud.org/biblioref/ses.sp/2010/ses-17983/ses-17983-1818.pdf>

- De Sousa, C.H., da Silva Costa, L., Carbonera, N., & Helbing. E. (2021). Propiedades tecnológicas de bacterias ácido-lácticas em laticínios: Revisao. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, 76(4), 243-256. <https://doi.org/10.14295/22238-6416.v76i4.861>
- Didari, T., Solki, S., Mozaffari, S., Nikfar, S., & Abdollahi, M. (2014). Una revisión sistemática de la seguridad de los probióticos. *Opinión de expertos sobre seguridad de fármacos*, 13(2), 227-239. <https://doi.org/10.1517/14740338.2014.872627>
- FAO. (2017). *Human vitamin and mineral requirements: Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation, Bangkok, Thailand*. Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/4/y2809e/y2809e/y2809e00.htm>
- Fernández-Xicotén, R.I., Loria Maen, J.J. Medina Amta, I., & Makita Balcorta, T.G. (2023). Desperdicio de alimentos desde la perspectiva de los colaboradores del sector hotelero en Cancún, Quintana Roo. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 33(62). <https://doi.org/10.24836/es.v33i62.1384>
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. Atlas.
- Huang, J., Wang, J., & Liu, S. (2023). Advanced fermentation techniques for lactic acid production from agricultural waste. *Fermentation*, 9(8), 765. <https://doi.org/10.3390/fermentation9080765>
- Ikram, A., Rasheed, A., Ahmad Khan, A., Khan, R., Ahmad, M., Bashir, R., & Hassan Mohamed, M. (2024). Exploring the health benefits and utility of carrots and carrot pomace: a systematic review. *International Journal of Food Properties*, 27(1), 180-193. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2301569>
- Janiszewska-Turak, E., Pobiega, K., Rybak, K., Synowiec, A., Woźniak, L., Trych, U., Gniewosz, M., & Witrowa-Rajchert, D. (2023). Changes in physical and chemical parameters of beetroot and carrot juices obtained by lactic fermentation. *Applied Sciences*, 13(10). <https://doi.org/10.20944/preprints202304.1183.v1>
- Katz, S. E., & Tanguy, E. (2023). *The art of fermentation: An in-depth exploration of essential concepts and processes from around the world*. Alaúde.

- Kaur, C., & Kapoor, H. (2017). Antioxidant activity and total phenolic content of some important fruits. *Food Chemistry*, 67(3), 307–314. <https://scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=107274>
- Kim, S., & Park, E. J. (2015). Fermentation characteristics of Shindari added with carrot. *Korean Journal of Food and Cookery Science*, 31(1), 9–17. <https://doi.org/10.9724/kfcs.2015.31.1.009>
- Lys, I. (2024). The role of lactic fermentation in ensuring the safety and extending the shelf life of African indigenous vegetables and its economic potential. *Applied Research*, 4. <https://doi.org/10.1002/appl.202400131>
- Marconi, M. A., & Lakatos, E. M. (2017). *Fundamentos de metodologia científica*. Atlas.
- Ray, R.C., & Sivakumar, V. (2009). Lactic acid bacteria and their applications in food preservation and production. In R. C. Ray & V. Sivakumar (Eds.), *Microorganisms in foods: Preservation and applications*. Springer.
- Sharma, K.D., Karki, S., Thakur, N.S., & Attri, S. (2015). Chemical composition, functional properties and processing of carrot. A review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 22–32.
- Valentino, V., Magliulo, R., Farsi, D., Cotter, P.D., O'Sullivan, O., Ercolini, D., & De Filippis, F. (2024). Alimentos fermentados, su microbioma y su potencial para mejorar la salud humana. *Biotecnología microbiana*, 17(2). <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14428>
- Zapasnik, A., Sokolowska, B., & Bryla, M. (2022). Papel de las bacterias del ácido láctico en la conservación y seguridad de los alimentos. *Alimentos*, 11(9), 1283. <https://doi.org/10.3390/foods11091283>
- Zhao, J., Zeng, X., Xi, Y., & Li, J. (2024). Recent advances in the applications of *Lactobacillus helveticus* in the fermentation of plant-based beverages: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 147, 574–582. <https://doi.org/10.16/j.tifs.2024.104427>