

Efecto de *Lactiplantibacillus plantarum* sobre la vida útil de embutido de atún refrigerado

Autor: Ana Isabella Jaramillo Macías, Aldo Eduardo Mendoza González

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM),

ana.jaramillo@pg.uleam.edu.ec

Manta, Ecuador

RESUMEN

Los productos pesqueros requieren estrategias de conservación compatibles con etiquetas limpias y mínima pérdida de calidad. Este estudio evaluó el efecto de *Lactiplantibacillus plantarum* sobre la vida útil de un embutido de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) refrigerado. Se trabajó con dos tratamientos, uno con *L. plantarum* a 8×10^8 UFC/mL y otro control, almacenados a 4 °C durante doce días con muestreos en 0, 3, 6, 9 y 12 días. Se midieron humedad, cenizas y pH, y se realizaron recuentos de aerobios mesófilos, psicrótrofos, enterobacterias y bacterias ácido lácticas.

El tratamiento con *L. plantarum* mantuvo un pH menor, de 6,10 a 5,90, frente al control, de 6,25 a 6,15. La humedad disminuyó gradualmente, entre tratamientos y se ajustó hasta quedar por debajo del 60 % al día 12; las cenizas variaron levemente y se mantuvieron muy por debajo del 5 %, en concordancia con la NTE INEN 1344:96. En microbiología, los aerobios mesófilos aumentaron en ambos grupos; el control pasó de 3,62 a 6,32 log UFC/g a los doce días y superó 6,00 log, mientras que con *L. plantarum* pasó de 3,28 a 5,62 log. Los psicrótrofos crecieron sin diferencias entre tratamientos, con rangos de 5,70–6,35 y 5,82–6,73 log UFC/g. Las enterobacterias se mantuvieron por debajo de 3,00 log UFC/g y fueron menores con *L. plantarum*, de 2,40–2,45 log, que en el control, de 2,87–2,92 log.

Se concluye que *L. plantarum* retrasó el crecimiento de microorganismos de deterioro y evitó cambios drásticos en parámetros fisicoquímicos, lo que extendió la vida útil bajo refrigeración y respalda su uso como cultivo bioprotector en embutidos de atún con potencial industrial.

Palabras clave: conservación de alimentos; bacterias lácticas; vida útil; embutidos de pescado; atún.

Effect of *Lactiplantibacillus plantarum* on the shelf life of refrigerated tuna sausage

ABSTRACT

Fish products require preservation strategies that are compatible with clean labels and minimal loss of quality. This study evaluated the effect of *Lactiplantibacillus plantarum* on the shelf life of refrigerated yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) sausage. Two treatments were used, one with *L. plantarum* at 8×10^8 CFU/mL and another control, stored at 4°C for twelve days with sampling at 0, 3, 6, 9, and 12 days. Moisture, ash, and pH were measured, and mesophilic aerobes, psychrotrophs, enterobacteria, and lactic acid bacteria were counted

Treatment with *L. plantarum* maintained a lower pH, from 6.10 to 5.90, compared to the control, from 6.25 to 6.15. Moisture gradually decreased between treatments and adjusted to below 60% on day 12; ash varied slightly and remained well below 5%, in accordance with NTE INEN 1344:96. In microbiology, mesophilic aerobes increased in both groups; the control went from 3.62 to 6.32 log CFU/g at twelve days and exceeded 6.00 log, while with *L. plantarum* it went from 3.28 to 5.62 log. Psychrotrophs grew without differences between treatments, with ranges of 5.70–6.35 and 5.82–6.73 log CFU/g. Enterobacteria remained below 3.00 log CFU/g and were lower with *L. plantarum*, at 2.40–2.45 log, than in the control, at 2.87–2.92 log.

It is concluded that *L. plantarum* delayed the growth of spoilage microorganisms and prevented drastic changes in physicochemical parameters, which extended the shelf life under refrigeration and supports its use as a bioprotective culture in tuna sausages with industrial potential.

Keywords: food preservation; lactic acid bacteria; shelf life; fish sausages; tuna.

1. Introducción

La industria de productos del mar enfrenta el reto de preservar la calidad e inocuidad de matrices ricas en proteínas y lípidos que, por su naturaleza, se deterioran con rapidez. El atún, en particular el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), combina un elevado contenido proteico con ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga —DHA (ácido docosahexaenoico) y EPA (ácido eicosapentaenoico)—, además de un perfil sensorial apreciado y un valor comercial notable en los mercados internacionales (Sun et al., 2025; Wei et al., 2025; Yuan et al., 2025). por lo que se consolida como materia prima de interés para consumo fresco y para productos con valor agregado, abriendo oportunidades de investigación e innovación tecnológica (Yao et al., 2024).

No obstante, la misma riqueza nutricional que lo hace atractivo favorece la colonización y el crecimiento de microorganismos capaces de acelerar el deterioro y comprometer la seguridad cuando no se aplican tecnologías de conservación adecuadas. En pescados y mariscos, la elevada actividad de agua, el pH cercano a la neutralidad y la presencia de prooxidantes enzimáticos y no enzimáticos facilitan el deterioro químico, bioquímico y microbiológico, con consecuencias sensoriales y sanitarias (Mozzon et al., 2024; Otero, 2019; Ramona et al., 2023). un bajo refrigeración a 4 °C, donde la multiplicación microbiana se ralentiza, la oxidación lipídica, la actividad enzimática endógena y la proliferación bacteriana no se controlan por completo, por lo que persisten pérdidas de calidad durante el transporte y el almacenamiento (Zhao et al., 2023).

Adicionalmente, los productos acuáticos —ampliamente comercializados y esenciales para la nutrición— son especialmente vulnerables al deterioro, con implicaciones directas sobre la seguridad alimentaria y el desperdicio (Han et al., 2024; Prabawati et al., 2023; Tang et al., 2023). tradicionalmente, la conservación del pescado recurre a congelación, salado, secado, ahumado, fermentación y tratamientos térmicos, además de alternativas no térmicas

como el envasado al vacío, las atmósferas modificadas y el almacenamiento a baja temperatura (Belleggia & Osimani, 2023; Mozzon et al., 2024). Sin embargo, estos enfoques pueden afectar textura, sabor y ciertos nutrientes; asimismo, los conservantes químicos o procesos físicos intensos pueden comprometer atributos valorados por el consumidor actual (Mozzon et al., 2024; Qian et al., 2022).

En este contexto, crece la preferencia por productos mínimamente procesados y con etiquetas “limpias”, lo que impulsa la búsqueda de métodos de conservación eficientes, seguros y sin residuos que mantengan el perfil sensorial del alimento (Liu et al., 2024). La biopreservación se perfila como una alternativa relevante: prolonga la vida útil y refuerza la seguridad mediante microbiota bioprotectora y sus metabolitos antimicrobianos, en sintonía con esquemas de mínimo procesamiento (Barcenilla et al., 2023; Ozogul et al., 2024). Entre los agentes más estudiados destacan las bacterias ácido lácticas (BAL), reconocidas por su estatus de seguridad y su capacidad para modular comunidades microbianas indeseables; sus mecanismos incluyen competencia por nicho y nutrientes, producción de ácidos orgánicos y síntesis de bacteriocinas (Akpogheli et al., 2025; Barcenilla et al., 2023; Han et al., 2024; Huang et al., 2025; Hui et al., 2024).

Dentro de este grupo, *Lactiplantibacillus plantarum* (*L. plantarum*) sobresale por su versatilidad metabólica. Esta especie metaboliza carbohidratos y genera ácidos orgánicos que acidifican el microambiente, condicionan la disponibilidad de sustratos y pueden contribuir a la estabilidad de matrices cárnicas o pesqueras; en sistemas cárnicos se han descrito, además, efectos sobre la textura vinculados con cambios proteicos (Zhang et al., 2024). Aunque el uso de BAL es tradicional en alimentos fermentados, su incorporación como cultivos protectores en productos no fermentados — incluidos ciertos embutidos— gana terreno como alternativa para controlar la microbiota de deterioro sin recurrir a aditivos químicos (Barcenilla et al., 2023;

Ozogul et al., 2024). En embutidos de pescado, se han reportado aplicaciones orientadas a la inhibición microbiana y al mantenimiento de la calidad (Alonzo et al., 2024; Mendoza et al., 2022).

La incorporación de pescado picado en matrices tipo embutido amplía la oferta y puede favorecer la ingesta de pescado; además, en determinados escenarios desplaza consumos de carnes con mayor huella ambiental (Elavarasan et al., 2024; Mendoza et al., 2022). En países pesqueros como Ecuador, el atún constituye un pilar económico y nutricional; no obstante, la presencia de embutidos de atún en el mercado sigue siendo limitada pese a su potencial de comercialización y su aporte a la transformación productiva del sector (Araujo et al., 2023; Salazar et al., 2024; Salguero, 2022). De ahí la pertinencia de explorar tecnologías de biopreservación que faciliten el desarrollo de productos innovadores sin comprometer estándares de calidad e inocuidad.

La literatura sugiere que *L. plantarum* puede retardar el crecimiento de microbiota de deterioro en matrices de pescado durante el almacenamiento en refrigeración, lo que respalda su consideración como cultivo bioprotector (Arteaga, 2021; Fernández, 2023). En consecuencia, resulta pertinente generar evidencia bajo condiciones controladas que comparen tratamientos inoculados con *L. plantarum* frente a controles sin inocular.

A partir de lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de *Lactiplantibacillus plantarum* sobre la vida útil de un embutido de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) durante 12 días de almacenamiento a 4 °C, mediante el análisis de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, comparando un tratamiento inoculado frente a un control sin inocular.

2. Metodología

2.1. Sitio de estudio, materia prima y duración

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de la carrera de Agroindustrias de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Manta, Ecuador. Se adquirieron piezas enteras de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) de la empresa Importadora Zhongli S. A., ubicada en la ciudadela Macarena (vía Circunvalación, tramo 3, vía a Montecristi, Jaramijó), con un total de 5 kg de materia prima. El período experimental comprendió 12 días de almacenamiento en refrigeración a 4 °C, con evaluaciones en los días 0, 3, 6, 9 y 12.

2.2. Obtención y preparación de la cepa de *Lactiplantibacillus plantarum*

Se trabajó con una cepa pura de *Lactiplantibacillus plantarum* (código 12Lcm) del laboratorio DESCALZI. La multiplicación se realizó a partir de 1 mL de cultivo en caldo MRS, incubado a 37 °C durante 48 h, siguiendo el procedimiento descrito por Otero (2019). El cultivo se mantuvo bajo condiciones asépticas para su posterior uso en la inoculación del embutido.

2.3. Formulación y elaboración del embutido

La formulación empleada se presenta en la Tabla 1. Los ingredientes se pesaron de manera individual y se procesaron en un cutter hasta obtener una masa homogénea. Luego se fraccionaron porciones de 100 g, se embutieron y se asignaron a los tratamientos y tiempos de evaluación. Todas las operaciones se realizaron bajo condiciones de higiene y asepsia: superficies y utensilios lavados con agua potable caliente, equipos esterilizados y manipulación con protección adecuada, a fin de minimizar la contaminación durante el picado, mezclado, embutido y muestreo.

Como etapa previa, el atún fresco se lavó con agua potable caliente para reducir la carga microbiana superficial y remover residuos visibles; posteriormente, se troceó en fragmentos de aproximadamente 3 cm para facilitar la homogeneización. La mezcla destinada al tratamiento bioprotegido se inoculó con *L. plantarum* (8×10^8 UFC/mL) y se homogeneizó cuidadosamente para garantizar una distribución uniforme del cultivo. Las muestras se mantuvieron en refrigeración a 4 °C hasta su análisis (Alonzo et al., 2024).

Tabla 1. Formulación del embutido de atún

Ingrediente	Porcentaje (%)
Pescado (atún)	91,00
Gelatina	1,17
Leche en polvo	6,04
Comino en polvo	0,12
Pimienta en polvo	0,12
Ajo en polvo	0,51
Sal	1,04
Total	100,00

2.4. Tratamientos y esquema de muestreo

Se consideraron dos tratamientos: un control sin inoculación (T0) y un tratamiento inoculado con *L. plantarum* (T1). En cada tiempo de evaluación (0, 3, 6, 9 y 12 días) se analizaron ambos tratamientos por triplicado, empleando como unidad experimental un embutido de 100 g.

Tabla 2. Tratamientos y esquema de muestreo.

Código	Descripción	Días de evaluación	Réplicas por día	Unidades totales
T0	Control (sin inoculación)	0, 3, 6, 9, 12	3	15

T1	Inoculado con <i>L. plantarum</i>	0, 3, 6, 9, 12	3	15
	Total			30

2.5. Condiciones de almacenamiento

Las muestras se conservaron en refrigeración a 4 °C durante 12 días. Las determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas se realizaron en los días 0, 3, 6, 9 y 12. Salvo indicación contraria, los resultados se expresaron como media ± desviación estándar de tres repeticiones independientes por tratamiento y día.

2.6. Determinaciones fisicoquímicas

Las determinaciones se realizaron según métodos oficiales de la AOAC, con tres repeticiones por tratamiento y tiempo, tomando como referencia los límites establecidos en la NTE INEN 1344:96.

Humedad (AOAC 964.22): Se pesaron 3,00 ± 0,01 g de muestra en placa previamente secada y tarada. Las placas se llevaron a estufa a 105 ± 2 °C durante ~4 h o hasta peso constante; luego se enfriaron en desecador antes del pesado final.

$$\text{Humedad (\%)} = \left(\frac{P_i - P_f}{P_m} \right) \times 100$$

donde P_i = peso inicial de placa con muestra (g), P_f = peso final de placa con muestra seca (g) y P_m = masa de la muestra (g)

Ceniza (AOAC 923.03): Se incineró la muestra en mufla a 550 ± 5 °C hasta obtener ceniza blanca o gris clara y peso constante; los crisoles se enfriaron en desecador antes del pesado.

$$Ceniza (\%) = \left(\frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} \right) \times 100$$

donde P_1 = peso del crisol (g), P_2 = peso del crisol + muestra (g) y P_3 = peso del crisol + ceniza (g).

pH (AOAC 981.12). Se homogeneizaron $5,00 \pm 0,01$ g de muestra en 45 mL de agua destilada. La lectura se efectuó con potenciómetro previamente calibrado, registrándose el valor a temperatura ambiente.

2.7. Recuentos microbiológicos

Los análisis se efectuaron conforme a las normas específicas para cada grupo microbiano, tomando como referencia los límites de la NTE INEN 1344:96. Para cada muestra se preparó una dilución inicial 10^{-1} a partir de 5 g de muestra en 45 mL de suero fisiológico estéril; posteriormente se realizaron diluciones seriadas hasta 10^{-5} bajo cabina de flujo laminar.

Los medios de cultivo se prepararon según indicaciones del fabricante y se esterilizaron en autoclave a 121°C conforme al procedimiento del laboratorio; las placas Petri se vertieron con el medio correspondiente y se almacenaron en refrigeración hasta su uso. La siembra se realizó con el volumen habitual de cada método y se seleccionaron para el conteo las placas dentro del rango contable (25–250 colonias). Los recuentos se expresaron y analizaron como \log_{10} (UFC/g).

Aerobios mesófilos (NTE INEN 1529-5:2006). Siembra en Plate Count Agar (PCA) e incubación a 30°C durante 48–75 h (INEN, 2006).

Psicrótrofos (NTE INEN 1529-5:2006). Siembra en PCA e incubación a $7 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 7–10 días (INEN, 2006).

Enterobacterias (NTE INEN 1529-13:2013). Siembra en agar VRBG e incubación a 37 °C durante 24 h (INEN, 2013).

Bacterias ácido lácticas (NTC 5034). Siembra en agar MRS e incubación a 30 °C durante 72 h (ICONTEC, 2002). Resultados en log₁₀ UFC/g.

2.8. Diseño experimental y análisis estadístico

Se adoptó un diseño completamente al azar con dos tratamientos (control e inoculado), tres repeticiones y cinco tiempos de almacenamiento. La comparación de las medias entre tratamientos en cada día de evaluación se realizó mediante ANOVA con $\alpha = 0,05$; cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey al 5 % para la comparación de medias. Se utilizó la transformación log₁₀ (UFC/g) en los recuentos microbiológicos. El procesamiento estadístico se efectuó con InfoStat, versión 2020.

3. Resultados y discusión

3.1. Parámetros físico-químicos

La humedad (Tabla 2) mostró una diferencia inicial entre tratamientos, ya que el embutido inoculado con *Lactiplantibacillus plantarum* partió con 63,46 %, inferior al control con 65,61 %, diferencia que fue significativa el día 0. Desde el día 3 no se detectaron diferencias entre tratamientos y ambos descendieron gradualmente hasta el día 12. Esta pérdida de agua se consideró esperable por migraciones y reacomodos de la matriz durante el almacenamiento y coincidió con lo reportado por Mendoza et al. (2022) en embutidos de atún, donde los descensos aparecen en pocos días de conservación.

En términos regulatorios y considerando la NTE INEN 1344:96 para embutidos crudos, los valores superaron el 60 % al inicio y se ubicaron por debajo de ese límite al día 12, lo que sugiere que la formulación inicial retuvo más agua de la recomendada y tendió a ajustarse con el tiempo, en concordancia con la alta actividad de agua propia de matrices de pescado y su carácter perecedero descrito por Otero (2019) y Mozzon et al. (2024).

Tabla 2. Humedad (%) de embutido de atún aleta amarilla almacenado a 4 °C durante 12 días

Tratamiento	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
Control	65,61 ±	63,59 ±	61,86 ±	61,30 ±	58,77 ±
(T0)	1,09 a	1,18 a	3,17 a	2,34 a	0,67 a
Inoculado con <i>L. plantarum</i>	63,46 ±	65,31 ±	61,00 ±	59,00 ±	56,85 ±
(T1)	0,07 b	2,05 a	0,40 a	0,84 a	1,56 a

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$).

El contenido de cenizas (Tabla 3) se mantuvo bajo y en el rango esperable para la formulación, con incrementos ligeros a lo largo del almacenamiento. Se observaron diferencias a favor del inoculado entre los días 3 y 6, mientras que al día 12 no se evidenciaron diferencias significativas.

En todo momento los valores quedaron muy por debajo del 5 % establecido por la NTE INEN 1344:96, por lo que este parámetro no representó un factor limitante. Las variaciones leves resultaron consistentes con la fracción inorgánica de los ingredientes y con efectos de proceso discutidos por Mendoza et al. (2022).

Tabla 3. Ceniza (%) de embutido de atún aleta amarilla almacenado a 4 °C durante 12 días

Tratamiento	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
Control	1,24 ±	1,30 ±	1,50 ±	1,77 ±	1,87 ±
(T0)	0,12 a	0,13 b	0,09 b	0,07 a	0,15 a

Inoculado con <i>L.</i> <i>plantarum</i> (T1)	1,46 ± 0,24 a	1,74 ± 0,08 a	1,78 ± 0,10 a	2,00 ± 0,17 a	2,15 ± 0,14 a
---	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$).

El pH (Tabla 4) evidenció el efecto del **cultivo protector**, ya que el inoculado registró valores menores en todos los tiempos (de 6,10 a 5,90), mientras que el control inició en 6,25 y finalizó en 6,15. Esta acidificación fue coherente con el metabolismo de *L. plantarum* mediante producción de ácidos orgánicos a partir de carbohidratos (Zhang et al., 2024) y con el rol bioprotector de las BAL por competencia y antagonismo, incluidos ácidos y bacteriocinas (Han et al., 2024).

Normativamente, el pH del inoculado permaneció por debajo de 6,2, límite contemplado en la NTE INEN 1344:96, mientras que el control lo superó levemente al día 0 y luego se mantuvo dentro del rango, en línea con las tendencias hacia tecnologías “suaves” y etiquetas limpias (Barcenilla et al., 2023; Liu et al., 2024; Qian et al., 2022).

Tabla 4. pH de embutido de atún aleta amarilla almacenado a 4 °C durante 12 días

Tratamiento	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
Control (T0)	6,25 ± 0,05 a	6,05 ± 0,05 a	5,85 ± 0,05 a	5,95 ± 0,05 a	6,15 ± 0,05 a
Inoculado con <i>L.</i> <i>plantarum</i> (T1)	6,10 ± 0,05 b	5,90 ± 0,05 b	5,70 ± 0,05 b	5,75 ± 0,05 b	5,90 ± 0,05 b

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$).

3.2. Recuentos microbiológicos

El recuento de aerobios mesófilos (Tabla 5) aumentó durante el almacenamiento en ambos tratamientos y mostró valores significativamente

menores en el inoculado. El control pasó de 3,62 a 6,32 log UFC/g a los 12 días y superó el máximo de 6,00 log UFC/g (10^6 UFC/g) contemplado por la NTE INEN 1344:96, mientras que el inoculado aumentó de 3,28 a 5,62 log UFC/g y se mantuvo por debajo del límite.

Las diferencias entre tratamientos fueron significativas en todos los tiempos, lo que respaldó el efecto bioprotector de *L. plantarum* bajo refrigeración y coincidió con lo informado por Otero (2019), Ozogul et al. (2024), Arteaga (2021) y Fernández (2023).

Tabla 5. Recuentos de aerobios mesófilos (log UFC/g) de embutido de atún aleta amarilla almacenado a 4 °C durante 12 días

Tratamiento	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
Control	3,62 ±	4,28 ±	5,12 ±	5,82 ±	6,32 ±
(T0)	0,07 a	0,07 a	0,08 a	0,08 a	0,08 a
Inoculado con <i>L.</i>					
<i>plantarum</i>	3,28 ±	4,04 ±	4,72 ±	5,22 ±	5,62 ±
(T1)	0,07 b	0,06 b	0,08 b	0,08 b	0,08 b

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$).

Los psicrótrofos (Tabla 6) aumentaron con el tiempo en ambos tratamientos y no mostraron diferencias entre el inoculado, de 5,70 a 6,35 log UFC/g, y el control, de 5,82 a 6,73 log UFC/g. Este comportamiento resultó coherente con la persistencia de poblaciones adaptadas al frío a 4 °C y con la posibilidad de pérdidas sensoriales si no se aplicaban medidas complementarias, tal como señalan Zhao et al. (2023) y Mozzon et al. (2024).

La ausencia de diferencias sugirió que la eficacia de la bioprotección frente a este grupo dependió de la cepa, la dosis y la formulación, en línea con Barcenilla et al. (2023) y Han et al. (2024).

Tabla 6. Recuentos de psicrótrofos (log UFC/g) de embutido de atún aleta amarilla almacenado a 4 °C durante 12 días

Tratamiento	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
Control	5,82 ±	6,05 ±	6,23 ±	6,50 ±	6,73 ±
(T0)	0,30 a	0,25 a	0,28 a	0,30 a	0,33 a
Inoculado con <i>L.</i> <i>plantarum</i>	5,70 ±	5,85 ±	6,03 ±	6,22 ±	6,35 ±
(T1)	0,25 a	0,23 a	0,28 a	0,28 a	0,30 a

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$).

En enterobacterias (Tabla 7) ambos tratamientos permanecieron por debajo del máximo de 3,00 log UFC/g (1×10^3 UFC/g) de la NTE INEN 1344:96 durante todo el periodo.

El inoculado mostró valores significativamente menores, de 2,40 a 2,45 log UFC/g, frente al control, de 2,87 a 2,92 log UFC/g, diferencia atribuible a la acidificación y a metabolitos de *L. plantarum* descritos por Han et al. (2024) y acordes con la definición de biopreservación de Ozogul et al. (2024).

Tabla 7. Recuentos de enterobacterias (log UFC/g) de embutido de atún aleta amarilla almacenado a 4 °C durante 12 días

Tratamiento	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
Control	2,87 ±	2,90 ±	2,90 ±	2,91 ±	2,92 ±
(T0)	0,02 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a
Inoculado con <i>L.</i> <i>plantarum</i>	2,40 ±	2,42 ±	2,43 ±	2,45 ±	2,45 ±
(T1)	0,06 b	0,06 b	0,03 b	0,04 b	0,04 b

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$).

Como era esperable, las bacterias ácido lácticas (Tabla 8) fueron notablemente más altas en el inoculado, alrededor de 6,6 a 7,2 log UFC/g, mientras que el control se mantuvo bajo, alrededor de 1,3 a 1,7 log UFC/g.

Este predominio de BAL explicó el menor pH del inoculado y los recuentos inferiores de aerobios mesófilos, y se alineó con su uso como cultivos protectores (Ozogul et al., 2024; Qian et al., 2022).

Además, coincidió con Alonzo et al. (2024), quienes reportaron conservación hasta el octavo día en embutidos crudos inoculados, y con Mendoza et al. (2022), quienes documentaron descensos de pH y mantenimiento de la calidad con *L. plantarum*.

Tabla 8. Recuentos de bacterias ácido lácticas (log UFC/g) de embutido de atún a 4 °C durante 12 días

Tratamiento	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
Control	1,52 ±	1,32 ±	1,45 ±	1,65 ±	1,42 ±
(T0)	0,33 b	0,30 b	0,33 b	0,33 b	0,43 b
Inoculado con <i>L.</i>	6,58 ±	6,73 ±	6,98 ±	7,23 ±	7,20 ±
<i>plantarum</i>	0,38 a	0,33 a	0,20 a	0,19 a	0,40 a
(T1)					

Nota: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$).

Es decir que, la inoculación con *L. plantarum* se asoció con pH menor, aerobios mesófilos significativamente más bajos y enterobacterias reducidas frente al control, sin cambios apreciables en la cinética de psicrótrofos. Estos efectos son coherentes con los mecanismos de biopreservación atribuidos a las BAL, y a la bacteria *L. plantarum*, además de la literatura aplicada en matrices de pescado.

A los 12 días, el control superó el límite de 6,00 log UFC/g en aerobios mesófilos y el inoculado permaneció por debajo, lo que reforzó la viabilidad tecnológica del cultivo bioprotector en embutidos de atún refrigerados (Salazar et al., 2024; Salguero, 2022), en concordancia con los avances en los últimos años, donde se buscan métodos de conservación más naturales (Belleggia & Osimani, 2023; Qian et al., 2022).

4. Conclusiones

El estudio confirma que la inoculación con *Lactiplantibacillus plantarum* actúa como estrategia de biopreservación en un embutido crudo de atún bajo refrigeración, mantiene un pH más bajo, reduce los aerobios mesófilos respecto al control y contiene las enterobacterias, sin alterar de forma apreciable la evolución de los psicrótrofos.

A los 12 días, el control supera el límite normativo de 6,00 log UFC/g (NTE INEN 1344:96) para aerobios mesófilos y el inoculado se mantiene por debajo, lo que delimita la vida útil microbiológica del control y respalda el uso de *L. plantarum* para fortalecer la estabilidad higiénico-sanitaria en formulaciones con etiqueta limpia.

La principal aportación reside en evidenciar el desempeño del cultivo protector en una matriz de atún tipo embutido crudo bajo condiciones realistas de proceso y almacenamiento. Como limitaciones, se trabajó con una sola cepa y concentración, sin evaluación sensorial ni marcadores de oxidación y sin desafíos con patógenos; aun así, el diseño, el tamaño muestral y los métodos de referencia sostienen la validez de los hallazgos.

Se cumple el objetivo de la investigación y se recomienda explorar dosis y consorcios de BAL, combinar barreras como vacío o atmósfera modificada, incorporar evaluación sensorial y de oxidación lipídica y desarrollar modelos de vida útil y pruebas de desafío para robustecer las recomendaciones industriales.

5. Referencias bibliográficas

Akpogheli, P. O., Edo, G. I., Ali, A. B. M., Yousif, E., Zainulabdeen, K., Owheruo, J. O., Isoje, E. F., Igbuku, U. A., Essaghah, A. E. A., Makia, R. S., Ahmed, D. S., Umar, H., & Alamiery, A. A. (2025). Lactic acid bacteria: Nature, characterization, mode of action, products and applications.

Process Biochemistry, 152, 1–28.
<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2025.02.010>

Alonzo Moreira, N., Revilla Escobar, K., Aldas Morejon, J., & Vera Solórzano, J. (2024). Determinación de la oxidación de grasas y perfil lipídico de un embutido de atún aleta Amarilla (*Thunnus albacares*) utilizando bacteria Láctica (*Lactiplantisbacillus plantarum*). *Centrosur Agraria*, 1(20), 58–67.
<https://doi.org/https://doi.org/10.37959/revista.v1i20.257>

Araujo Guzmán, M. F., Chávez Rizzo, K. S., & Quinapallo García, C. M. (2023). Salchichas de atún ecuatoriana, una oportunidad en el mercado argentino. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 7(47), 101–114. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol7iss47.2023pp101-114>

Arteaga Muñoz, A. L. (2021). *Efecto inhibidor de Lactobacillus plantarum frente a Listeria monocytogenes, Salmonella entérica y Escherichia coli en un embutido de pescado albacora aleta amarilla (Thunnus albacares)* [Magister en Agroindustria con Mención en Gestión de Calidad y Seguridad Alimentaria., Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí].
<https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/4146/1/ULEAM-POSG-G.CA.SEG.ALIM-0012.PDF>

Barcenilla, C., Puente, A., Cobo-Díaz, J. F., Alexa, E.-A., Garcia-Gutierrez, E., O'Connor, P. M., Cotter, P. D., González-Raurich, M., López, M., Prieto, M., & Álvarez-Ordóñez, A. (2023). Selection of lactic acid bacteria as biopreservation agents and optimization of their mode of application for the control of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat cooked meat products. *International Journal of Food Microbiology*, 403, 110341.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110341>

Belleggia, L., & Osimani, A. (2023). Fermented fish and fermented fish-based products, an ever-growing source of microbial diversity: A literature review. *Food Research International*, 172, 113112.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113112>

- Elavarasan, K., Malini, M., Ninan, G., Ravishankar, C. N., & Dayakar, B. R. (2024). Millet flour as a potential ingredient in fish sausage for health and sustainability. *Sustainable Food Technology*, 2(4), 1088–1100. <https://doi.org/10.1039/D4FB00067F>
- Fernández Moreira, M. D. (2023). *Efecto de Lactiplantibacillus plantarum Sobre la Vida Útil de un Embutido Crudo de Pescado Atún Aleta Amarilla (Tunnus albacares) Almacenado en Refrigeración* [Ing. Agroindustrial]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Han, J., Liu, B., Lin, X., Zhang, S., Dong, L., & Ji, C. (2024). Mathematical modeling and comparative metabolomics analyses of interactions between *Lactiplantibacillus plantarum* and *Morganella morganii*. *Food Research International*, 196, 115026. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115026>
- Huang, W., Wang, X., Su, Z., Chen, X., Mao, X., & Liu, X. (2025). Probiotic characteristics and whole genome sequence analysis of *Lactiplantibacillus plantarum* L168. *Food Bioscience*, 70, 107044. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.107044>
- Hui, F., Hu, W., Yu, S., Chen, H., Zhang, R., Cen, Q., Lu, D., Li, J., & Zeng, X. (2024). Effect of inoculating *Lactiplantibacillus plantarum* Y279 on bacterial community structure and quality of fermented Yujiaosuan. *LWT*, 206, 116602. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116602>
- ICONTEC. (2002). NTC 5034. *Método horizontal para el recuento de bacterias mesofílicas de ácido láctico. Técnica de recuento de colonias a 30 °C*. <https://es.scribd.com/document/506004264/NTC5034>
- INEN. (2006). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1529-5:2006: Determinación de la cantidad de microorganismos aerobios mesófilos. REP*. <https://es.scribd.com/doc/240179897/1529-5-1-c-Mesofilos-Aerobios>
- INEN. (2013). *NTE INEN 1529-13:2013. Control microbiológico de los alimentos. Enterobacteriaceae. Recuento en placa por siembra en*

profundidad. <https://es.scribd.com/document/488093174/1529-13-1R-ENTEROBACTERIAS>

- Liu, T., Shen, J., Qian, Y., Zhao, Y., Meng, X., Liu, Z., & Jia, F. (2024). The enhancement mechanism of adding stachyose to *Lactiplantibacillus plantarum* SS-128 in the probiotic/prebiotic combination biopreservation in salmon. *LWT*, 205, 116526. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116526>
- Mendoza González, A., Mera De Mera, A., Arauz Fabian, Otero Tuarez, V., Aranda Medina, E., & Ruiz Moyano, S. (2022). *Composición nutricional y análisis sensorial de un embutido de atún aleta amarilla (Thunnus albacares L.) utilizando bacterias ácido lácticas (Lactiplantibacillus plantarum)*.
- Mozzon, M., Foligni, R., Mannozi, C., & Vittori, S. (2024). Assessment of lipid oxidation in fish and fish products processed by cold plasma technologies. *Applied Food Research*, 4(2), 100646. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100646>
- Otero Tuárez, V. O. (2019). *Desarrollo y caracterización de recubrimientos comestibles antimicrobianos para la conservación de productos derivados de la pesca* [Doctorado en Agroalimentación, Universidad Pública de Navarra]. <https://academica-e.unavarra.es/entities/publication/cda5e5cf-d6fa-4734-a8b5-e2c5b98f5fd8>
- Ozogul, Y., Kuley, E., Kosker, A. R., Uçar, Y., Yazgan, H., Durmuş, M., Sakarya, Y., Takadaş, F., Özkütük, S. T., Özkütük, A. S., Gardini, F., Tabanelli, G., Yılmaz, M. T., Esatbeyoglu, T., & Ozogul, F. (2024). The impacts of biopreservation with *Lactilactobacillus sakei* cell-free supernatant in combination with plant-based extracts on the quality of modified atmosphere packed sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets. *LWT*, 209, 116756. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116756>
- Prabawati, E. K., Turner, M. S., & Bansal, N. (2023). *Lactiplantibacillus plantarum* as an adjunct culture exhibits antifungal activity in shredded

- Cheddar cheese. *Food Control*, 144, 109330. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109330>
- Qian, Y., Li, Y., Tang, Z., Wang, R., Zeng, M., & Liu, Z. (2022). The role of AI-2/LuxS system in biopreservation of fresh refrigerated shrimp: Enhancement in competitiveness of *Lactiplantibacillus plantarum* for nutrients. *Food Research International*, 161, 111838. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111838>
- Ramona, Y., Oktariani, A. F., Wirasuta, I. M. A. G., Teriyani, N. M., Sarkar, D., & Shetty, K. (2023). Suppression of histamine formation in processed tuna fish using probiotic (*Lactiplantibacillus plantarum* BY-45) approach. *NFS Journal*, 31, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2023.05.001>
- Salazar, D., Salinas, D., Gallegos, L., Moreno, M., Sánchez-Moreno, H., & Pérez, L. (2024). Undervalued tuna meat (*Thunus obesus* and *Katsuwonus pelamis lineaus*) to develop sausages. *Vitae*, 31(1). <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v31n1a352254>
- Salguero Caibe, B. P. (2022). *La carne de atún, su uso y efecto en la elaboración de un embutido tipo salchicha* [Ing. en Industrias Pecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/b02bfd87-9b2c-4d9e-a79b-f80c91edcf1c/content>
- Sun, Y., Fu, Z., & Ma, Z. (2025). Mechanism of digestion enzymes and related genes in response to acute ammonia-nitrogen stress in juvenile yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Marine Environmental Research*, 209, 107165. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2025.107165>
- Tang, Z., Qian, Y., Li, Y., Wang, R., & Liu, Z. (2023). Exploring the effect of *Lactiplantibacillus plantarum* Lac 9-3 with high adhesion on refrigerated shrimp: Adhesion modeling and biopreservation evaluation. *Food Research International*, 164, 112462. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112462>

- Wei, L., Shi, C., Li, D., Yuan, X., Yu, X., Liang, B., Wu, J., Zhang, Y., Dai, Z., Lu, Y., & Ye, J. (2025). Discovery of novel umami peptides and their bitterness masking effects from yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) via peptidomics, multisensory evaluation, and molecular docking approaches. *Food Chemistry*, 489, 145028. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.145028>
- Yao, S., Zhong, Y., Cai, Y., Chen, H., Xiang, X., Zhou, Y., & Chen, L. (2024). Improvement mechanism of lipid metabolism and gut microbiota in obese mice with *Thunnus albacares* eggs yolk glycoprotein. *Journal of Functional Foods*, 114, 106057. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106057>
- Yuan, X., Li, D., Shi, P., Wu, J., Dai, Z., Dong, X., & Lu, Y. (2025). Effect of sous vide cooking technology on the quality, protein structure, microstructure, and flavor of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Food Chemistry*, 484, 144423. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144423>
- Zhang, K., Lin, S.-J., Qi, X.-Y., Xu, B.-C., Qin, L., & Huang, X.-H. (2024). The interaction of *Lactiplantibacillus plantarum* and *Lactilactobacillus sakei* regulated the formation of characteristic quality attributes of low-salt fermented tilapia. *Food Bioscience*, 62, 105167. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105167>
- Zhao, J., Lan, W., & Xie, J. (2023). Recent developments in nanoemulsions against spoilage in cold-stored fish: A review. *Food Chemistry*, 429, 136876. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136876>