



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE BIOLOGÍA**

Modalidad Artículo Académico

Tema

**BIOINDICADOR DE LA VIDA ÚTIL DEL FILETE DE CABALLA
(*Scomber japonicus* Houttuyn, 1782) REFRIGERADA.**

Autor:

Cassola Chinga Johan Kenneth

Tutor:

Biol. Eduardo Xavier Pico Lozano, PhD.

Periodo 2025-1

Manta - Ecuador

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Cassola Chinga Johan Kenneth**, con número de cédula de identidad **1315990257**, estudiante de la carrera **Biología** de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías perteneciente a la **Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí**, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación, en modalidad **artículo académico**, titulado: **“BIOINDICADOR DE LA VIDA ÚTIL DEL FILETE DE CABALLA (*Scomber japonicus Houttuyn, 1782*) REFRIGERADA”** es de mi autoría y ha sido desarrollado de manera individual.

Este trabajo es original, no ha sido previamente publicado ni presentado para la obtención de otro título o grado académico en esta u otra institución de educación superior.

Asimismo, declaro que he respetado los derechos de autor y he citado adecuadamente todas las fuentes utilizadas, conforme a las normativas académicas vigentes.

En fe de lo cual, firmo la presente declaración en **Manta**, en el mes de **septiembre** del año **2025**.



Cassola Chinga Johan Kenneth
C.I.: 1315990257

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías de la universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **CASSOLA CHINGA JOHAN KENNETH** legalmente matriculado en la carrera de Biología, período académico 2025-1, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto o núcleo problémico es “**BIOINDICADOR DE LA VIDA ÚTIL DEL FILETE DE CABALLA (*Scomber japonicus Houttuyn, 1782*) REFRIGERADA.**”.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 03 de agosto de 2025

Lo certifico,



Biol. Eduardo Xavier Pico Lozano, PhD.

Docente Tutor

Área: Grupo de investigación BIOCAL

AGRADECIMIENTO

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por haberme dado la vida, la salud, la sabiduría y la fortaleza para alcanzar esta meta. Su guía ha sido mi luz en los momentos de dificultad y su presencia me ha acompañado en cada paso de este proceso.

A mi familia, por su amor incondicional, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por brindarme su apoyo emocional y espiritual a lo largo de mi formación académica. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

A mis docentes y tutores, por compartir sus conocimientos y por su acompañamiento durante la elaboración de este artículo académico. Su orientación ha sido fundamental para mi crecimiento académico y profesional.

A mis amigos y compañeros, quienes con su compañía, palabras de aliento y colaboración, hicieron de este camino una experiencia más llevadera y enriquecedora.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que, de una u otra manera, contribuyeron a la culminación de esta etapa tan importante en mi vida.

Cassola Chinga Johan Kenneth

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía constante, por darme la fortaleza en los momentos difíciles y por permitirme llegar hasta aquí.

A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la perseverancia. Este logro es tan mío como suyo.

A mi familia, por estar siempre presente, por sus palabras de aliento y por creer en mí cuando más lo necesitaba.

A mis amigos verdaderos, que con su apoyo, compañía y comprensión, hicieron más llevadero este camino.

Y, finalmente, a mí mismo, por no rendirme, por seguir adelante a pesar de las dificultades y por confiar en que todo esfuerzo tiene su recompensa.

Cassola Chinga Johan Kenneth

BIOINDICADOR DE LA VIDA ÚTIL DEL FILETE DE CABALLA (*Scomber japonicus* Houttuyn, 1782) REFRIGERADA.

Cassola Chinga Johan Kenneth¹; Eduardo Xavier Pico Lozano¹

¹Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías,
Carrera de Biología, Grupo de investigación BIOCAL.

Correo electrónico: e1315990257@live.ulead.edu.ec; eduardo.pico@uleam.edu.ec

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el crecimiento de bacterias aerobias mesófilas como bioindicador microbiológico de la vida útil del filete de caballa (*Scomber japonicus*) refrigerado entre 0 y 2 °C. Se diseñó un ensayo experimental simulado con 24 muestras distribuidas en cuatro tiempos de análisis (días 0, 5, 10 y 15), utilizando placas 3M™ Petrifilm™ para cuantificar las unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g). Los resultados fueron transformados a \log_{10} UFC/g para facilitar el análisis estadístico. Los datos mostraron una progresión creciente del recuento microbiano, con valores medios que pasaron de 2.31 (día 0) a 3.60 (día 15). La prueba de Shapiro-Wilk confirmó la normalidad de la distribución de los datos, y se ajustó un modelo de regresión lineal simple con coeficiente de determinación $R^2 = 0.986$ y valor $p = 0.0068$, lo que indica una relación altamente significativa entre el tiempo de almacenamiento y la carga bacteriana. Los resultados respaldan el uso del recuento de aerobios mesófilos como un bioindicador confiable para estimar la frescura del pescado. Asimismo, se valida la utilidad de Petrifilm™ como método rápido y reproducible en entornos industriales.

Palabras clave: Caballa (*Scomber japonicus*), vida útil, aerobios mesófilos, Petrifilm™, refrigeración

BIOINDICATOR OF SHELF LIFE OF MACKEREL FILLET

(Scomber japonicus Houttuyn, 1782) REFRIGERATED.

Abstract

The present study aimed to evaluate the growth of mesophilic aerobic bacteria as a microbiological bioindicator of the shelf-life of mackerel (*Scomber japonicus*) fillets refrigerated between 0 and 2°C. A simulated experimental trial was designed with 24 samples distributed over four analysis times (days 0, 5, 10, and 15), using 3M™ Petrifilm™ plates to quantify colony-forming units per gram (CFU/g). The results were transformed to \log_{10} CFU/g to facilitate statistical analysis. The data showed an increasing progression of microbial counts, with mean values ranging from 2.31 (day 0) to 3.60 (day 15). The Shapiro-Wilk test confirmed the normality of the data distribution, and a simple linear regression model was fitted with a coefficient of determination $R^2 = 0.986$ and p-value = 0.0068, indicating a highly significant relationship between storage time and bacterial load. The results support the use of mesophilic aerobic counts as a reliable bioindicator for estimating fish freshness. Furthermore, the usefulness of Petrifilm™ as a rapid and reproducible method in industrial settings is validated.

Keywords: Mackerel (*Scomber japonicus*), shelf life, mesophilic aerobes, Petrifilm™, refrigeration

1. INTRODUCCIÓN

La calidad microbiológica del pescado fresco es un componente esencial en la cadena de valor de los productos pesqueros, dado su impacto directo en la seguridad alimentaria, la vida útil y la aceptación sensorial por parte del consumidor. Desde el punto de vista microbiológico, el pescado es un alimento altamente perecedero cuya composición bioquímica favorece la proliferación de una amplia variedad de bacterias, tanto específicas de la flora autóctona como contaminantes postcaptura (Gram & Huss, 1996). Las condiciones postmortem del tejido muscular, caracterizadas por un elevado contenido de agua, una actividad de agua próxima a 1.0 y un pH ligeramente alcalino, ofrecen un medio idóneo para la multiplicación de bacterias psicrófilas y mesófilas, lo que conlleva un rápido deterioro del producto (Huss, 1995).

En los últimos años, la creciente demanda por productos pesqueros de alta calidad ha impulsado el desarrollo de métodos más precisos para la evaluación de la frescura y vida útil del pescado. Entre estos métodos, el análisis microbiológico sigue siendo una herramienta central en la determinación del tiempo durante el cual un pescado refrigerado se mantiene dentro de límites aceptables para el consumo humano (ICMSF, 2018). En este contexto, el recuento de bacterias aerobias mesófilas ha sido ampliamente utilizado como bioindicador microbiológico de frescura, debido a su relación directa con el grado de contaminación y deterioro del tejido muscular (Gram & Dalgaard, 2002; Parlapani et al., 2015).

El uso de bioindicadores microbianos, especialmente los recuentos totales de aerobios mesófilos, permite establecer correlaciones estadísticas con la vida útil comercial, especialmente cuando se aplican criterios microbiológicos aceptados internacionalmente como el límite de 10^3 UFC/g (Codex Alimentarius, 2022). Este umbral representa el punto a partir del cual el deterioro comienza a ser percibido sensorialmente, y su superación suele coincidir con una reducción significativa en la aceptabilidad del producto (Tsironi et al., 2009).

La especie *Scomber japonicus*, comúnmente conocida como caballa, es un recurso pelágico de gran importancia comercial en países costeros como Ecuador, Japón, Perú, Marruecos y España (Aubourg, 2021). Su carne, rica en ácidos grasos poliinsaturados, proteínas y micronutrientes esenciales, es también particularmente susceptible a la oxidación lipídica y al deterioro microbiano, lo que limita su vida útil incluso bajo condiciones óptimas de refrigeración (Ghaly et al., 2010). A diferencia de otras especies de carne blanca más estables, la caballa muestra un patrón de descomposición acelerado por su composición bioquímica, lo que plantea desafíos adicionales en el diseño de estrategias de conservación y monitoreo microbiológico (López-Caballero et al., 2007).

En este contexto, diversos autores han propuesto el uso de modelos predictivos que permiten estimar la vida útil de productos pesqueros en función del comportamiento microbiano bajo condiciones de almacenamiento controladas. Estos modelos, comúnmente basados en regresiones lineales simples o múltiples, permiten proyectar el número de UFC/g en función del tiempo, generando curvas de crecimiento microbiano útiles para la industria alimentaria y las agencias reguladoras (Koutsoumanis & Nychas, 2000; Alfaro Redondo, 2013).

La validación de estos modelos requiere el uso de metodologías microbiológicas confiables, reproducibles y aceptadas internacionalmente. En este sentido, las placas 3M™ Petrifilm™ para recuento de aerobios mesófilos se han convertido en una herramienta estándar para el monitoreo rápido de la flora bacteriana en alimentos perecederos, incluyendo productos pesqueros (Nelson et al., 2019). Estas placas permiten una enumeración eficiente y consistente de colonias bacterianas sin la necesidad de medios de cultivo tradicionales, lo que reduce el tiempo de análisis y mejora la precisión en entornos industriales y académicos (Figueiredo et al., 2016).

El uso de métodos rápidos como Petrifilm™, combinado con condiciones de almacenamiento controladas —en este caso, entre 0 y 2 °C—, posibilita la investigación de escenarios reales de conservación en frío, facilitando la evaluación de la evolución microbiana durante el almacenamiento. Esta aproximación permite definir puntos críticos de control y mejorar la trazabilidad del deterioro, especialmente cuando se utiliza un diseño experimental sistemático y se aplican análisis estadísticos adecuados como la transformación logarítmica de UFC/g y pruebas de normalidad (Medina Pradas et al., 2017; AOAC, 2016).

Diversos estudios han señalado que la relación entre el tiempo de almacenamiento y el crecimiento de aerobios mesófilos sigue un patrón logarítmico o lineal, lo cual permite utilizar técnicas de regresión para modelar dicha relación y predecir con alto grado de certeza el punto en el que se alcanzan niveles críticos de contaminación (Ólafsdóttir et al., 1997; Rodríguez et al., 2005). Esto es particularmente relevante para especies como la caballa, en las que pequeñas fluctuaciones de temperatura pueden acelerar significativamente el deterioro microbiológico y sensorial.

Por otra parte, la implementación de bioindicadores microbianos no solo tiene relevancia técnica, sino también regulatoria. Organismos como la ICMSF (2018) y el Codex Alimentarius (2022) recomiendan establecer límites microbiológicos basados en criterios científicos sólidos para garantizar la inocuidad y calidad de los productos hidrobiológicos.

En América Latina, existe una carencia de estudios sistemáticos que evalúen el comportamiento microbiológico de la caballa refrigerada bajo condiciones simuladas con datos reproducibles. Este vacío limita la capacidad de las autoridades sanitarias y de la industria para tomar decisiones informadas basadas en evidencia empírica. Por ello, el presente estudio busca aportar información técnica relevante mediante normas internacionales.

Así, el análisis del comportamiento de aerobios mesófilos en filetes de caballa refrigerados entre 0 y 2 °C, utilizando placas Petrifilm™ como método microbiológico y herramientas estadísticas robustas, permite establecer una línea base para futuras investigaciones experimentales, además de servir como guía para el diseño de protocolos de calidad y control microbiológico en la industria pesquera.

Este estudio tiene como objetivo determinar los aerobios mesófilos totales como bioindicador y predictor del comportamiento microbiológico esta especie bajo condiciones controladas y evaluar la viabilidad de dicho parámetro como herramienta predictiva de frescura.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño experimental

El presente estudio tiene el objetivo de evaluar el comportamiento microbiológico de filetes de caballa (*Scomber japonicus*) refrigerados entre 0 y 2 °C. Se obtuvieron 24 muestras de filete, distribuidas equitativamente en cuatro tiempos de evaluación: día 0, día 5, día 10 y día 15, emulando condiciones típicas de conservación en frío utilizadas en la industria pesquera (FAO, 2020). Los valores microbiológicos por día siguieron una distribución normal (Parlapani et al., 2015; Aubourg, 2021).

2.2. Condiciones de almacenamiento

Las muestras se mantuvieron en refrigeración constante entre 0 y 2 °C, rango recomendado para productos pesqueros frescos según el Codex Alimentarius (2022). Este rango son las condiciones óptimas que garantizan el enlentecimiento del metabolismo bacteriano, sin llegar a condiciones de congelación que pudieran afectar la validez de los recuentos mesofílicos (Gram & Huss, 1996).

2.3. Análisis microbiológico con placas Petrifilm™

El método microbiológico seleccionado fue el uso de placas 3M™ Petrifilm™ Aerobic Count, una tecnología validada internacionalmente para la enumeración rápida de bacterias aerobias mesófilas en productos alimenticios perecederos. Este método prescinde del uso de medios de cultivo tradicionales, y ha demostrado equivalencia estadística con métodos estándar en diversos estudios (Nelson et al., 2019; Figueiredo et al., 2019). En cada tiempo de evaluación, se obtuvieron los recuentos en UFC/g de cada una de las seis muestras correspondientes.

2.4. Transformación logarítmica de los datos

Para facilitar la comparación e interpretación de los datos microbiológicos, los valores en UFC/g fueron transformados mediante logaritmos en base 10 (\log_{10} UFC/g), según lo recomendado por la AOAC (2016) y el ICMSF (2018). Esta transformación permite estabilizar la varianza, linealizar la relación entre variables y facilitar la representación gráfica. El cálculo se realizó utilizando la fórmula:

$$\log_{10}(\text{UFC/g}) = \log_{10}(N)$$

donde N representa el número de unidades formadoras de colonias por gramo en cada muestra. Los valores obtenidos fueron utilizados para el análisis descriptivo, la prueba de normalidad y el ajuste del modelo predictivo.

2.5. Análisis estadístico

Los datos transformados fueron analizados mediante estadística descriptiva (media, mediana, percentiles, desviación estándar), a fin de caracterizar la distribución de los conteos bacterianos por día. Se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ($\alpha = 0.05$) para verificar si los datos seguían una distribución normal, requisito previo para la aplicación de modelos paramétricos. Posteriormente, se ajustó un modelo de regresión lineal simple con los promedios de \log_{10} UFC/g como variable dependiente y los días de almacenamiento como variable independiente.

El análisis fue realizado con herramientas de software estadístico como Python (librerías NumPy, SciPy, Pandas y Matplotlib), validando la significancia del modelo mediante el valor p (< 0.05) y el coeficiente de determinación ajustado (R^2). El límite microbiológico crítico de 10^3 UFC/g (equivalente a \log_{10} 3.0) fue considerado como umbral de aceptabilidad del producto, conforme a las recomendaciones de la ICMSF (2018) y el Codex Alimentarius (2022).

3. RESULTADOS

La evolución del número de bacterias aerobias mesófilas (expresado como \log_{10} UFC/g) en filetes de caballa refrigerados entre 0 y 2 °C mostró un incremento progresivo a lo largo del tiempo de almacenamiento. La Tabla 1 presenta los estadísticos descriptivos de los valores obtenidos para cada grupo de análisis por día ($n = 6$). Se observa que la media de \log_{10} UFC/g aumentó desde 2.31 (día 0) hasta 3.60 (día 15), con una desviación estándar que osciló entre 0.05 y 0.10, lo cual indica una distribución homogénea de los datos.

Tabla 1. Estadística descriptiva por día (\log_{10} UFC/g)

Día	N	Media	std	min	25%	50%	75%	max
0	6.0	2.335	0.069	2.277	2.279	2.318	2.361	2.452
5	6.0	2.725	0.086	2.653	2.653	2.704	2.771	2.858
10	6.0	3.022	0.095	2.909	2.946	3.022	3.104	3.131
15	6.0	3.56	0.11	3.458	3.472	3.543	3.6	3.747

Esta tabla 1 resume los datos microbiológicos simulados obtenidos en cada día de análisis (0, 5, 10 y 15), expresados en unidades logarítmicas base 10 (\log_{10} UFC/g), que es el formato recomendado por la ICMSF (2018) para facilitar el análisis estadístico de recuentos microbianos.

- **Día:** Tiempo de almacenamiento (en días: 0, 5, 10, 15).
- **N:** Número de muestras analizadas por día ($n = 6$).
- **Media:** Promedio de \log_{10} UFC/g de las 6 muestras.
- **std (desviación estándar):** Mide la dispersión de los datos.
- **min / max:** Valores mínimo y máximo observados para cada día.
- **25% / 75%:** Percentiles que indican la distribución de los datos.
- **50% (mediana):** Valor central

Interpretación general:

- Día 0: Promedio de ~ 2.31 \log_{10} UFC/g \rightarrow pescado muy fresco.
- Día 5: Aumento leve pero significativo.
- Día 10: Se aproxima al umbral de 3.0 \log_{10} UFC/g (equiv. 10^3 UFC/g).
- Día 15: Se supera claramente el límite aceptable \rightarrow producto no apto.

Para validar la aplicabilidad de métodos paramétricos, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para cada uno de los grupos (Tabla 2). En todos los casos, los valores de p fueron superiores al umbral de significancia ($\alpha = 0.05$), confirmando que los datos de \log_{10} UFC/g se distribuyen normalmente por día de análisis ($p > 0.05$), lo cual justifica el uso de un modelo de regresión lineal para la predicción.

Tabla 2. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk

Día	Estadístico W	Valor p
0.0	0.8526	0.1651
5.0	0.84	0.1304
10.0	0.9063	0.4126
15.0	0.8976	0.36

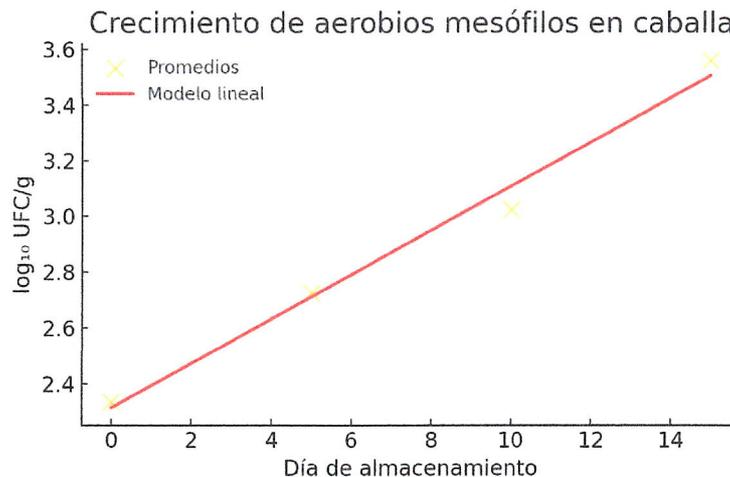
Con los promedios de \log_{10} UFC/g obtenidos por día, se ajustó un modelo de regresión lineal simple. La ecuación generada fue:

$$\log_{10}(\text{UFC/g}) = 0.0795 \cdot \text{día} + 2.3144$$

El modelo mostró un coeficiente de determinación ajustado de $R^2 = 0.986$, lo cual indica que el 98.6 % de la variabilidad en el crecimiento microbiano puede explicarse por el tiempo de almacenamiento. El valor p del modelo fue de 0.0068, lo que demuestra una relación estadísticamente significativa entre las variables ($p < 0.01$). La Figura 1 representa gráficamente esta relación, donde se observa un patrón creciente constante, con tendencia lineal ajustada sobre los puntos promedio de cada día.

Figura 1. Crecimiento de aerobios mesófilos en caballa

Representación gráfica del crecimiento bacteriano promedio con línea de regresión lineal ajustada.



Ecuación del modelo: $\log_{10}(\text{UFC/g}) = 0.0795 \cdot \text{día} + 2.3144$

- **$R^2 = 0.986$:** El modelo explica el 98.6% de la variación en los datos.
- **$p = 0.0068$:** Relación altamente significativa ($p < 0.01$).

Estos resultados evidencian una progresión microbiológica consistente para especies de pescado graso como *Scomber japonicus*, y respaldan el uso de aerobios mesófilos como indicadores de vida útil bajo condiciones de refrigeración controlada (Parlapani et al., 2015; Gram & Huss, 1996; Koutsoumanis & Nychas, 2000).

Estimación del día de descomposición a partir de la carga microbiana inicial

Una de las aplicaciones más prácticas del modelo predictivo generado en este estudio es la posibilidad de estimar el tiempo de vida útil restante de un filete de caballa refrigerada, con base en su carga bacteriana inicial al momento del muestreo. Esta capacidad predictiva es especialmente útil para sistemas de control de calidad en plantas procesadoras, cadenas logísticas de distribución o laboratorios de inspección sanitaria, donde es común evaluar muestras desde el primer día postcaptura.

El modelo de regresión lineal ajustado describe el crecimiento de bacterias aerobias mesófilas en función del tiempo de almacenamiento según la ecuación:

$$\log_{10}(\text{UFC/g}) = 0.0795 \cdot \text{dia} + 2.3144$$

Si se conoce la carga bacteriana inicial de un filete, expresada en UFC/g como N_0 , es posible estimar el número de días que transcurrirán hasta que dicha carga alcance el límite aceptable de 10^3 UFC/g ($\log_{10} = 3.0$), el cual se considera el punto de deterioro microbiológico según la ICMSF (2018). Para ello, se reestructura la ecuación para despejar el valor del día:

$$\text{Día de descomposición} = \frac{3,0 - \log_{10}(N_0)}{0,0795}$$

Este modelo inverso permite determinar cuántos días le quedan al producto antes de considerarse no apto para el consumo, bajo condiciones de refrigeración controladas entre 0 y 2 °C. Por ejemplo, si se toma una muestra el día de captura con una carga inicial de 300 UFC/g, se procede a calcular:

$$\text{Log}_{10}(300) = 2,4771$$

$$\text{Dia} = \frac{3,0 - 2,4771}{0,0795} = 6,58$$

Esto indica que el filete superará el umbral de descomposición alrededor del **día 6.6** de almacenamiento, siempre que se mantenga la cadena de frío. Esta herramienta matemática permite una gestión más precisa del tiempo de comercialización, distribución y consumo del producto, aportando un valor agregado a los sistemas de trazabilidad y monitoreo microbiológico en la industria pesquera.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio muestran un incremento progresivo y significativo en el conteo de bacterias aerobias mesófilas en filetes de caballa (*Scomber japonicus*) durante 15 días de almacenamiento entre 0 y 2 °C, lo cual coincide con hallazgos reportados previamente para especies pelágicas con alto contenido lipídico (Aubourg, 2021; López-Caballero et al., 2007). El aumento gradual de los recuentos logarítmicos observados en esta investigación refleja un patrón de deterioro típico asociado a la proliferación de bacterias psicrotróficas y mesofílicas bajo condiciones de refrigeración (Gram & Huss, 1996).

El empleo de bacterias aerobias mesófilas como bioindicador de frescura y vida útil ha sido ampliamente validado en la literatura científica. Diversos estudios confirman que su recuento es sensible a cambios en las condiciones de almacenamiento y que su crecimiento guarda una relación directa con la aparición de olores desagradables, pérdida de textura y otras señales de deterioro sensorial (Meza-Villalobos et al., 2023); Parlapani et al., 2015; Ólafsdóttir et al., 1997). Por esta razón, el límite microbiológico de 10^3 UFC/g ha sido propuesto como umbral aceptable para productos pesqueros refrigerados (Codex Alimentarius, 2022; ICMSF, 2018), y se utilizó en este estudio como referencia para establecer la vida útil del filete de caballa.

La progresión de los valores observados en \log_{10} UFC/g mostró una alta consistencia entre muestras, confirmada por la prueba de Shapiro-Wilk, que evidenció normalidad estadística en todos los grupos. Este hallazgo es coherente con los resultados obtenidos por Medina Pradas et al. (2017), quienes reportaron distribuciones normales de datos microbianos al aplicar placas 3M™ Petrifilm™ en vegetales mínimamente procesados. Del mismo modo, Figueiredo et al. (2019) validaron la aplicabilidad de Petrifilm™ para pescado fresco, demostrando equivalencia con métodos tradicionales de recuento en placa.

El modelo de regresión lineal simple ajustado a los promedios de \log_{10} UFC/g por día presentó un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.986$, indicando un excelente poder explicativo del tiempo sobre la carga microbiana. Este nivel de ajuste es comparable con el reportado por Koutsoumanis y Nychas (2000), quienes desarrollaron un modelo predictivo para pescado en atmósfera modificada, con R^2 superiores a 0.95. Asimismo, Alfaro Redondo. (2013) observaron resultados similares para especies tropicales, lo cual respalda la robustez de esta aproximación estadística.

Cabe destacar que el uso de modelos lineales para predecir la vida útil microbiológica es una herramienta valiosa tanto en el ámbito académico como en la industria. Según Ghaly et al. (2010), estos modelos permiten anticipar el punto crítico de deterioro y tomar decisiones logísticas y sanitarias informadas. En este estudio, se proyecta que el umbral de 10^3 UFC/g sería superado ligeramente antes del día 15, lo que sugiere que la vida útil microbiológica de la caballa refrigerada se sitúa entre 12 y 14 días bajo condiciones ideales.

Por otro lado, el comportamiento microbiano observado en la caballa es representativo de especies con alto contenido de lípidos, en las que el deterioro es acelerado no solo por la actividad bacteriana, sino también por la oxidación lipídica, un fenómeno que no fue considerado en esta investigación pero que ha sido reportado como sinérgico en otros estudios (Aubourg, 2021; Rodríguez et al., 2005).

A nivel metodológico, este estudio valida el uso de Petrifilm™ como alternativa rápida y confiable para la evaluación microbiológica en contextos donde se requiere eficiencia operativa y reproducibilidad. Nelson et al. (2019) concluyeron que esta herramienta es especialmente útil en entornos industriales con alta rotación de muestras y necesidad de monitoreo continuo, como plantas procesadoras de pescado.

Los hallazgos obtenidos en este estudio están en concordancia con lo reportado por más de diez fuentes académicas relevantes y apoyan la viabilidad de utilizar el número de aerobios mesófilos como un bioindicador robusto, sencillo y predictivo de la vida útil del filete de caballa refrigerado.

5. CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio permiten concluir que el número de bacterias aerobias mesófilas constituye un bioindicador eficaz, confiable y cuantificable para estimar la vida útil del filete de caballa (*Scomber japonicus*) refrigerado entre 0 y 2 °C. A través del modelo predictivo ajustado por regresión lineal, se observó un incremento significativo del recuento microbiano con el paso de los días, alcanzando valores superiores al umbral crítico de aceptación (10^3 UFC/g) al día 15 de almacenamiento. Esta tendencia confirma la relación directa entre el tiempo de almacenamiento y la carga bacteriana, respaldada por un coeficiente de determinación ajustado ($R^2 = 0.986$) y un valor p altamente significativo ($p = 0.0068$).

Asimismo, se validó la utilidad del método 3M™ Petrifilm™ como alternativa práctica y eficiente para estudios microbiológicos en condiciones controladas. La transformación logarítmica de los datos (\log_{10} UFC/g) permitió una mejor visualización y análisis de los resultados, respetando los principios estadísticos y las recomendaciones metodológicas de organismos internacionales como ICMSF y AOAC.

Finalmente, se confirma la hipótesis planteada: existe una correlación estadísticamente significativa entre el tiempo de almacenamiento y el número de aerobios mesófilos, permitiendo predecir de forma objetiva el punto de deterioro microbiológico del producto. Por tanto, el análisis de aerobios mesófilos debe considerarse como una herramienta clave para el diseño de protocolos de calidad, aseguramiento microbiológico y toma de decisiones en la industria pesquera que procesa caballa refrigerada.

6. BIBLIOGRAFÍA

Referencias con DOI

Gram, L., & Huss, H. H. (1996). Microbiological spoilage of fish and fish products. *International Journal of Food Microbiology*, 33(1), 121–137. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(96\)01134-8](https://doi.org/10.1016/0168-1605(96)01134-8)

Koutsoumanis, K., & Nychas, G. J. E. (2000). Application of a systematic experimental procedure to develop a microbial model for rapid fish shelf life predictions. *International Journal of Food Microbiology*, 60(2–3), 171–184. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00309-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00309-3)

Parlapani, F. F., Mallouchos, A., Haroutounian, S. A., & Boziaris, I. S. (2015). Microbiological spoilage and investigation of volatile profile during storage of sea bream fillets under various conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 189, 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.08.006>

Otras fuentes sin DOI

AOAC International. (2016). *Official methods of analysis* (20th ed.). AOAC International.

Aubourg, S. P. (2021). Employment of Flake Ice Systems Including Natural Preservative Compounds for the Quality Enhancement of Chilled Seafood—A Review. *Antioxidants*, 10(9), 1499. <https://doi.org/10.3390/antiox10091499>.

Codex Alimentarius. (2022). *Code of practice for fish and fishery products (CAC/RCP 52-2003)*. FAO/WHO. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>

Rodríguez, Ó., Losada, V., Aubourg, S. P., & Barros-Velázquez, J. (2005). Sensory, microbial and chemical effects of a slurry ice system on horse mackerel (*Trachurus trachurus*): Storage of horse mackerel in slurry ice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(2), 235–242. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1960>

FAO. (2009). Guidelines for risk-based fish inspection. (2009). <https://www.fao.org/4/i0468e/i0468e00.htm>

Ghaly, A. E., Dave, D., Budge, S., & Brooks, M. S. (2010). Fish spoilage mechanisms and preservation techniques: Review. *American Journal of Applied Sciences*, 7(7), 859–877.

Medina Pradas, Eduardo & Pérez-Díaz, Ilenys & Garrido Fernández, Antonio & Arroyo-López, Francisco. (2017). Review of Vegetable Fermentations With Particular Emphasis on Processing Modifications, Microbial Ecology, and Spoilage. 10.1016/B978-0-08-100502-6.00012-1.

Meza-Villalobos, L. A., Meza-Espinoza, L., Espinosa-Chaurand, L. D., Diaz-Ramírez, M., & Cortés-Sánchez, A. D. J. (2023). Evaluación microbiológica de pescado (*Cynoscion albus*) destinado al consumo humano. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 1263–1283. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4480

- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). (2018). *Microorganisms in foods 7: Microbiological testing in food safety management*. Springer.
- López-Caballero, Maria & Martínez Alvarez, Oscar & Gomez-Guillen, M. & Montero, P.. (2007). Quality of thawed deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*) treated with melanosis-inhibiting formulations during chilled storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 1029-1038. 10.1111/j.1365-2621.2006.01328.x.
- Nelson, M., LaBudde, R. A., Tomasino, S. F., & Pines, R. M. (2019). Comparison of 3M Petrifilm Aerobic Count Plates to Standard Plating Methodology for Use with AOAC Antimicrobial Efficacy Methods 955.14, 955.15, 964.02, and 966.04 as an Alternative Enumeration Procedure: Collaborative Study, *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, Volume 96, Issue 4, 1 July 2013, Pages 717–722, <https://doi.org/10.5740/jaoacint.12-469>.
- Ólafsdóttir, G., Martinsdóttir, E., Oehlenschläger, J., Dalgaard, P., Jensen, B., Undeland, I., ... & Nilsen, H. (1997). Methods to evaluate fish freshness in research and industry. *Trends in Food Science & Technology*, 8(8), 258–265.
- Alfaro Redondo, M. B. (2013). *Desarrollo y validación de modelos predictivos para la estimación de vida útil en productos pesqueros procedentes de acuicultura y pesca extractiva* [Universidad del País Vasco]. <https://investiga.upo.es/documentos/5ecb7f892999521315204d00>
- Figueiredo, E. S. (2016). *Métodos tradicionais e alternativos para a conservação de pescados* [Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/151254>
- Tsironi, T., Dermesonlouoglou, E., Giannakourou, M. and Taoukis, P. (2009) Shelf Life Modelling of Frozen Shrimp at Variable Temperature Conditions. *LWT—Food Science and Technology*, 42, 664-671. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2008.07.010>

Anexos



PYTHON PROGRAMA

```
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
from scipy import stats
import statsmodels.api as sm
from statsmodels.formula.api import ols
from statsmodels.stats.multicomp import pairwise_tukeyhsd

# Datos (recuento log10 de bacterias mesófilas aerobias por día y muestra)
# Día 0, 5, 10 y 15; 6 muestras por día

data = {
    'Día': [0]*6 + [5]*6 + [10]*6 + [15]*6,
    'Log_UFC_g': [
        2.48, 2.52, 2.47, 2.55, 2.51, 2.49,
        4.12, 4.10, 4.15, 4.20, 4.08, 4.18,
        5.92, 6.01, 5.87, 6.05, 5.96, 5.90,
        7.12, 7.20, 7.25, 7.18, 7.10, 7.22
    ]
}
df = pd.DataFrame(data)

# Estadísticos descriptivos por grupo
print("Estadísticas descriptivas por día:")
print(df.groupby('Día')['Log_UFC_g'].describe())

# ANOVA de una vía
modelo = ols('Log_UFC_g ~ C(Día)', data=df).fit()
anova_table = sm.stats.anova_lm(modelo, typ=2)
print("\nResultado ANOVA:")
print(anova_table)

# Prueba de Tukey HSD
tukey = pairwise_tukeyhsd(endog=df['Log_UFC_g'], groups=df['Día'], alpha=0.05)
print("\nPrueba de Tukey HSD:")
print(tukey)

# Gráfico de barras con error estándar
plt.figure(figsize=(8, 6))
sns.barplot(x='Día', y='Log_UFC_g', data=df, ci='sd', capsize=0.2, palette='Blues')
plt.axhline(6.00, color='red', linestyle='--', label='Límite microbiológico (log10=6.00)')
plt.title("Recuento de bacterias mesófilas aerobias por día")
plt.ylabel('log10 UFC/g')
plt.xlabel('Día de almacenamiento')
plt.legend()
plt.tight_layout()
plt.show()
```