



Formulación y caracterización de pan de molde enriquecido con harina de anchoveta (*Engraulis ringens*) y yuyo (*Chondracanthus chamissoi*)

Formulation and characterization of bread enriched with anchovy (*Engraulis ringens*) and seaweed (*Chondracanthus chamissoi*) flours

Formulação e caracterização de pão de forma enriquecido com farinhas de anchova (*Engraulis ringens*) e yuyo (*Chondracanthus chamissoi*)

Víctor Hernán Elias Yupanqui¹

victor.elias@unica.edu.pe

Richard Smith Gutierrez Huayra²

rsgutierrezh@unacvirtual.edu.pe

Cesar Augusto Ontiveros Bohorquez³

cesarontiverosbohorquez@gmail.com

Angela Margot Ccora Huamán⁴

accora@continental.edu.pe

Marco Antonio Idone Lopez⁵

maidonel@unacvirtual.edu.pe

¹Universidad San Luis Gonzaga de Ica. Ica, Perú

²Universidad Nacional del Callao. Lima, Perú

³Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Lima, Perú

⁴Universidad Continental. Huancayo, Perú

⁵Universidad Nacional del Callao. Lima, Perú

Artículo recibido: 3 de julio 2025 / Arbitrado: 25 de agosto 2025 / Publicado: 10 de septiembre 2025

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil

o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i27.412>

RESUMEN

La búsqueda de alimentos con valor nutricional mejorado ha impulsado la innovación en la industria de la panificación. Este estudio se centró en determinar una formulación viable para un pan de molde enriquecido mediante la sustitución parcial de harina de trigo por harinas de anchoveta (*Engraulis ringens*) y yuyo (*Chondracanthus chamissoi*), recursos marinos abundantes en la costa peruana. Se aplicó un diseño experimental con un enfoque cuantitativo, elaborando cuatro formulaciones con diferentes niveles de sustitución y un control. Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas, nutricionales, microbiológicas y sensoriales. Los resultados indicaron un incremento significativo en el contenido de proteínas (hasta 18.5 g/100g), ácidos grasos omega-3 (hasta 480 mg/100g), calcio y hierro en las formulaciones enriquecidas. Aunque la adición de harinas marinas aumentó la dureza y modificó el color, la formulación con 15% de harina de anchoveta y 10% de yuyo (F2) demostró la mejor combinación de valor nutricional y aceptabilidad sensorial. Se concluye que es factible desarrollar un pan de molde funcional y nutritivo, promoviendo el uso sostenible de recursos hidrobiológicos.

Palabras clave: Panificación; Enriquecimiento de alimentos; *Engraulis ringens*; *Chondracanthus chamissoi*; Análisis sensorial; Valor nutricional

ABSTRACT

The search for foods with enhanced nutritional value has driven innovation in the baking industry. This study focused on determining a viable formulation for a sandwich bread enriched by partially substituting wheat flour with flours from anchovy (*Engraulis ringens*) and seaweed (*Chondracanthus chamissoi*), abundant marine resources on the Peruvian coast. An experimental design with a quantitative approach was applied, developing four formulations with different substitution levels and a control. Physicochemical, nutritional, microbiological, and sensory properties were evaluated. The results showed a significant increase in protein content (up to 18.5 g/100g), omega-3 fatty acids (up to 480 mg/100g), calcium, and iron in the enriched formulations. Although the addition of marine flours increased hardness and modified color, the formulation with 15% anchovy flour and 10% seaweed flour (F2) demonstrated the best combination of nutritional value and sensory acceptability. It is concluded that it is feasible to develop a functional and nutritious sandwich bread, promoting the sustainable use of hydrobiological resources.

Key words: Baking; Food enrichment; *Engraulis ringens*; *Chondracanthus chamissoi*; Sensory analysis; Nutritional value

RESUMO

A busca por alimentos com valor nutricional melhorado impulsionou a inovação na indústria de panificação. Este estudo centrou-se em determinar uma formulação viável para um pão de forma enriquecido através da substituição parcial da farinha de trigo por farinhas de anchova (*Engraulis ringens*) e yuyo (*Chondracanthus chamissoi*), recursos marinhos abundantes na costa peruana. Foi aplicado um desenho experimental com uma abordagem quantitativa, elaborando quatro formulações com diferentes níveis de substituição e um controle. Foram avaliadas as propriedades físico-químicas, nutricionais, microbiológicas e sensoriais. Os resultados indicaram um aumento significativo no teor de proteínas (até 18,5 g/100 g), ácidos gordos ômega-3 (até 480 mg/100 g), cálcio e ferro nas formulações enriquecidas. Embora a adição de farinhas marinhas tenha aumentado a dureza e modificado a cor, a formulação com 15% de farinha de anchova e 10% de yuyo (F2) demonstrou a melhor combinação de valor nutricional e aceitabilidade sensorial. Conclui-se que é viável desenvolver um pão de forma funcional e nutritivo, promovendo o uso sustentável de recursos hidrobiológicos.

Palavras-chave: Panificação; Enriquecimento de alimentos; *Engraulis ringens*; *Chondracanthus chamissoi*; Análise sensorial; Valor nutricional

INTRODUCCIÓN

El pan es un pilar fundamental en la dieta de millones de personas a nivel mundial, constituyendo una fuente energética primaria debido a su alto contenido de carbohidratos. Sin embargo, el pan de molde convencional, elaborado predominantemente a base de harina de trigo refinada, presenta un perfil nutricional limitado, con bajo contenido de proteínas de alto valor biológico, fibra, vitaminas y minerales. Esta realidad, sumada a una creciente conciencia por parte de los consumidores sobre la relación entre dieta y salud, ha generado una demanda por alimentos funcionales que no solo satisfagan las necesidades energéticas, sino que también aporten beneficios adicionales para el bienestar general. En este contexto, el enriquecimiento de productos de panificación emerge como una estrategia prometedora para mejorar la calidad nutricional de la dieta poblacional sin requerir cambios drásticos en los hábitos de consumo.

La fortificación de productos de panificación con ingredientes no convencionales ha sido objeto de numerosas investigaciones en las últimas décadas. Los estudios han explorado la incorporación de leguminosas, pseudocereales, subproductos agroindustriales y, más recientemente, recursos marinos. Esta última categoría resulta particularmente atractiva debido a la extraordinaria riqueza nutricional de los organismos marinos y su disponibilidad en regiones costeras. La industria de la panificación, por su parte, enfrenta desafíos constantes relacionados

con la innovación de productos, la reducción de costos y la diferenciación en mercados cada vez más competitivos. La integración de ingredientes funcionales representa una oportunidad para abordar simultáneamente estas necesidades del mercado y las demandas nutricionales de la población.

El Perú, gracias a su vasta riqueza marina, posee recursos hidrobiológicos de gran potencial para la industria alimentaria que, históricamente, han sido subutilizados para el consumo humano directo. Entre ellos destacan la anchoveta (*Engraulis ringens*) y diversas macroalgas marinas como el yuyo (*Chondracanthus chamissoi*). La anchoveta es reconocida mundialmente por ser una fuente excepcional de proteínas de alta calidad y, de manera particular, por su elevado contenido de ácidos grasos poliinsaturados omega-3, como el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA), esenciales para la salud cardiovascular y el desarrollo neurológico. Por su parte, el yuyo es un alga roja que se caracteriza por su notable aporte de fibra dietética, vitaminas y, sobre todo, una gran diversidad de minerales como calcio, hierro, yodo y zinc, compuestos bioactivos con múltiples propiedades funcionales.

La problemática que aborda esta investigación es multifactorial. Por un lado, la industria de la panificación enfrenta el desafío de los costos fluctuantes y a menudo elevados de las materias primas tradicionales, como la harina de trigo. Por otro lado, existe una clara necesidad de desarrollar productos que respondan a las deficiencias

nutricionales prevalentes en ciertos segmentos de la población, como la anemia por deficiencia de hierro o el bajo consumo de proteínas de calidad. La incorporación de harinas no tradicionales, provenientes de recursos locales y sostenibles como la anchoveta y el yuyo, se presenta como una solución integral a esta problemática, permitiendo no solo mejorar el perfil nutricional del pan, sino también diversificar la oferta alimentaria y agregar valor a los recursos marinos del país.

La literatura científica respalda ampliamente el potencial de esta estrategia de enriquecimiento. Investigaciones previas han demostrado que la adición de harina de pescado en la panificación mejora significativamente el valor proteico del producto final. Los trabajos pioneros de Donoso y Yañez (1), establecieron que un pan con 6% de harina de pescado alcanzaba un valor proteico similar a uno con 12% de leche descremada, demostrando la eficiencia de este ingrediente como fuente de proteínas de alto valor biológico. Más recientemente, Monteiro et al. (2) determinaron que la harina de tilapia mejoraba el valor nutricional del pan manteniendo una aceptabilidad sensorial favorable, aunque identificaron que niveles superiores al 10% de sustitución comenzaban a afectar negativamente las propiedades organolépticas.

Bastos et al. (3), realizaron un estudio exhaustivo sobre el enriquecimiento de pan con residuos de fileteado de pescado, encontrando que la incorporación de hasta 5% de harina de pescado incrementaba significativamente

el contenido proteico sin comprometer la aceptabilidad sensorial. Zebib et al. (4) reportaron incrementos del 25.34% en proteínas y 33.33% en grasa al incorporar harina de pescado en formulaciones de pan, destacando también mejoras en el contenido de cenizas. Estos hallazgos son consistentes con los de Oprea et al. (5), quienes estudiaron el uso de hidrolizados de proteína de pescado y confirmaron que estas adiciones mejoran sustancialmente el perfil nutricional de productos de panadería, aunque requieren una cuidadosa optimización para mantener la calidad sensorial.

De manera similar, el uso de algas marinas ha mostrado resultados prometedores en la fortificación de productos de panificación. Alegría y Vásquez (6), elaboraron un pan de molde enriquecido con *Chondracanthus chamissoi*, concluyendo que la formulación con 12.5% de algas obtenía la mayor aceptabilidad sensorial, a pesar de que niveles superiores (15%) ofrecían mayores propiedades nutritivas. Gamero-Vega et al. (7), caracterizaron exhaustivamente el alga *Chondracanthus chamissoi* de las costas peruanas, reportando un contenido proteico significativo y destacando su capacidad antioxidante y propiedades funcionales como la capacidad de retención de agua y aceite, características que la hacen particularmente adecuada para aplicaciones en panificación.

La incorporación de omega-3 en productos de panificación presenta desafíos específicos relacionados con la oxidación lipídica y el

desarrollo de sabores indeseables. De Conto et al. (8), estudiaron el efecto de la adición de omega-3 microencapsulado en pan, encontrando que, aunque la fortificación era técnicamente viable, la aceptabilidad sensorial disminuía con niveles altos de enriquecimiento debido a la oxidación. Serna-Saldivar y Abril (9), propusieron estrategias para la producción de panes fortificados con DHA y omega-3, enfatizando la importancia del uso de antioxidantes y técnicas de microencapsulación para preservar la calidad sensorial durante el almacenamiento.

Estos estudios, si bien valiosos, suelen enfocarse en un único ingrediente de enriquecimiento o en una sola dimensión nutricional. La presente investigación busca explorar el efecto sinérgico de combinar una fuente de alta proteína y omega-3 (anchoveta) con una fuente rica en minerales y fibra (yuyo), con el objetivo de desarrollar un producto de panificación con un perfil nutricional más completo y equilibrado.

La justificación de este estudio radica, por tanto, en el potencial de crear un producto de panificación con un perfil nutricional superior, que contribuya a la seguridad alimentaria y a la salud pública. La harina de anchoveta puede elevar el contenido proteico del pan a niveles comparables con los de otras fuentes animales, mientras que el yuyo puede suplir deficiencias comunes de micronutrientes. La combinación de ambas harinas podría resultar en un alimento funcional con un perfil completo de aminoácidos,

ácidos grasos esenciales y minerales. Este enfoque no solo atiende la demanda de alimentos más saludables, sino que también promueve la utilización sostenible de los recursos marinos peruanos, generando una alternativa de bajo costo y alto valor agregado para la industria alimentaria.

Desde una perspectiva de salud pública, el desarrollo de alimentos fortificados con recursos marinos adquiere particular relevancia en el contexto latinoamericano. Según datos de la Organización Mundial de la Salud, la deficiencia de micronutrientes, especialmente hierro, yodo y vitamina A, afecta a millones de personas en la región, con consecuencias graves para el desarrollo cognitivo infantil y la productividad económica. El pan, como alimento de consumo masivo y accesible económicamente, representa un vehículo ideal para la fortificación poblacional. La incorporación de ingredientes naturalmente ricos en estos micronutrientes, como las algas marinas, podría contribuir significativamente a reducir estas deficiencias sin requerir programas de suplementación farmacológica, que suelen tener menor adherencia y mayor costo.

En consecuencia, el objetivo de esta investigación fue determinar una formulación óptima para un pan de molde enriquecido con harinas de anchoveta (*Engraulis ringens*) y yuyo (*Chondracanthus chamissoi*). Para alcanzar este fin, se plantearon los siguientes objetivos específicos: 1) analizar el valor nutricional de las diferentes formulaciones de pan de molde enriquecido, 2) evaluar la aceptabilidad sensorial

en términos de sabor, aroma, color y textura, y 3) determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas del producto final para asegurar su calidad e inocuidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, correspondiendo a un tipo de investigación aplicada y un nivel explicativo. Se empleó un diseño experimental para evaluar el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harinas de anchoveta y yuyo en las propiedades del pan de molde. El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos de la Universidad Nacional de San Luis Gonzaga de Ica, Perú, durante el año 2025.

Las materias primas marinas fueron seleccionadas por su abundancia y valor nutricional. La anchoveta (*Engraulis ringens*) fresca fue adquirida en el desembarcadero pesquero de Pisco, seleccionando ejemplares que cumplieran con los estándares de frescura organoléptica. El yuyo (*Chondracanthus chamissoi*) fue recolectado en la zona litoral de la provincia de Pisco. El resto de los insumos, incluyendo harina de trigo panadera, levadura instantánea, azúcar, sal, manteca y mejorador de masa, fueron adquiridos de proveedores comerciales locales, asegurando su calidad y consistencia para el proceso de panificación.

La preparación de las harinas marinas se realizó mediante procedimientos estandarizados para asegurar su calidad e inocuidad. Para la harina

de anchoveta, la materia prima fue sometida a un riguroso proceso que incluyó recepción, selección, lavado, eviscerado y fileteado. Posteriormente, los filetes fueron cocidos a 90°C durante 30 minutos, seguido de un proceso de secado en un deshidratador a una temperatura controlada inferior a 70°C por 6 horas, hasta alcanzar una humedad final adecuada. Finalmente, el producto seco fue pulverizado en un molino de martillos, obteniéndose una harina fina con un rendimiento aproximado del 12% respecto al peso inicial. Para la harina de yuyo, el alga recolectada fue lavada cuidadosamente para eliminar impurezas y arena, y posteriormente secada a una temperatura inferior a 40°C durante 24 horas. El yuyo seco fue molido hasta obtener una harina fina, con un rendimiento final cercano al 10%.

La Figura 1, presenta el diagrama de flujo completo del proceso de obtención de las harinas de anchoveta y yuyo, así como el proceso de panificación. Este diagrama muestra de manera detallada cada etapa del proceso, incluyendo los parámetros de temperatura, tiempo y los rendimientos obtenidos en cada fase. El proceso de obtención de harina de anchoveta inicia con 100% de materia prima y, tras las sucesivas etapas de procesamiento, alcanza un rendimiento final del 12%. De manera similar, el proceso de harina de yuyo parte de 100% de alga fresca y culmina con un rendimiento del 10%. Ambas harinas son posteriormente integradas en el proceso de panificación junto con los demás ingredientes para obtener el producto final.

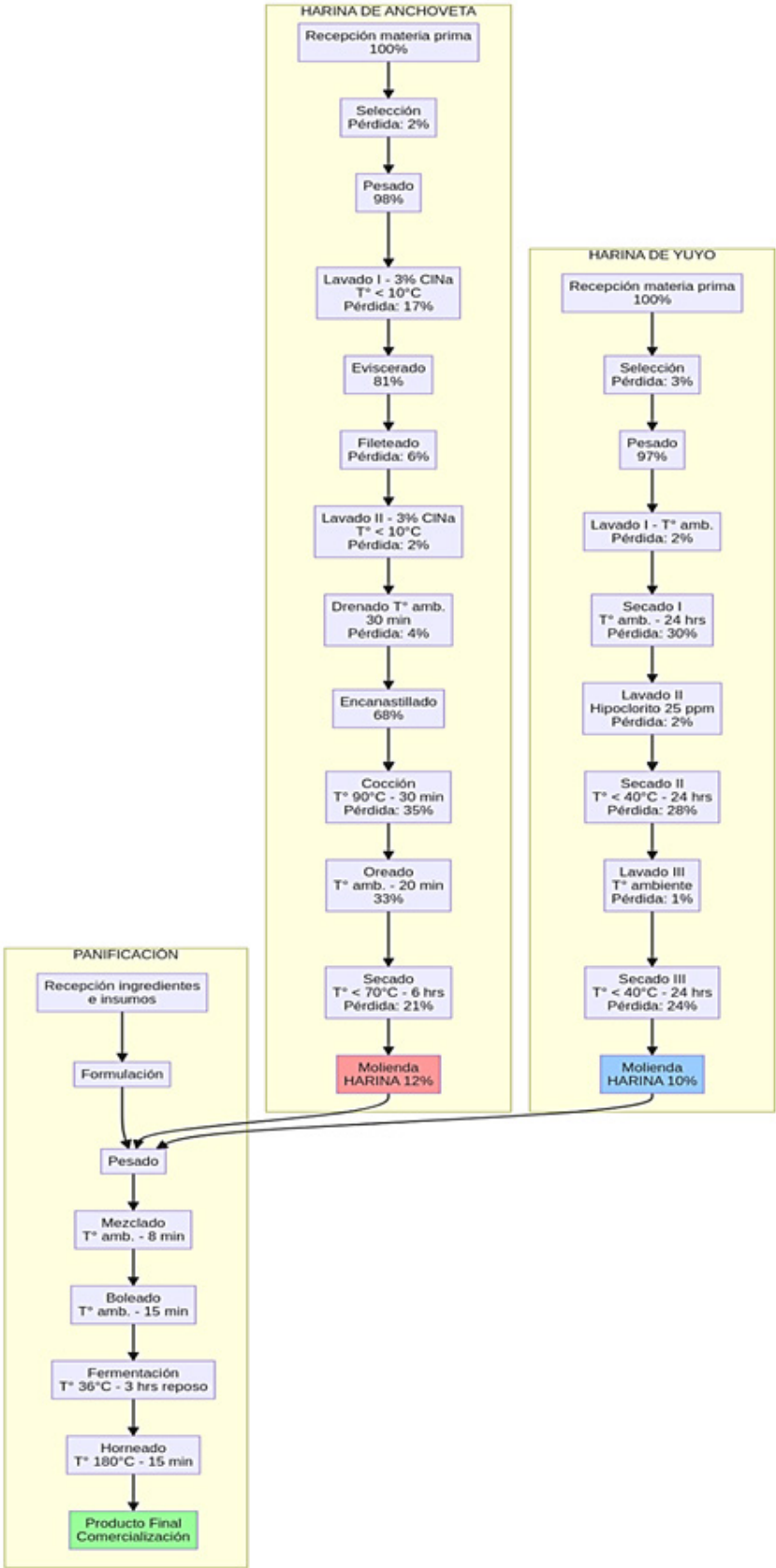


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de obtención de harinas de anchoveta y yuyo, y proceso de panificación.

Se diseñó un experimento con cinco tratamientos, incluyendo un pan control y cuatro formulaciones experimentales. El pan control (T0) se elaboró con 100% de harina de trigo. Las formulaciones experimentales consistieron en la sustitución parcial de la harina de trigo por una mezcla de harina de anchoveta y yuyo en las siguientes proporciones: F1 (75% trigo, 20% anchoveta, 5% yuyo), F2 (75% trigo, 15% anchoveta, 10% yuyo), F3 (50% trigo, 40% anchoveta, 10% yuyo) y F4 (50% trigo, 35% anchoveta, 15% yuyo). Cada formulación se preparó por triplicado para garantizar la reproducibilidad de los resultados.

El proceso de panificación se estandarizó para todos los tratamientos. Los ingredientes secos fueron mezclados, seguidos de la adición de los ingredientes húmedos y el amasado hasta el completo desarrollo de la red de gluten. La masa se dejó reposar y luego se sometió a una primera fermentación en una cámara a 30°C con 85% de humedad relativa durante 40 minutos. Posteriormente, la masa fue dividida, boleada y colocada en moldes para una segunda fermentación a temperatura ambiente hasta que alcanzó el volumen deseado. El horneado se realizó en dos etapas: una fase inicial a 220°C durante 15 minutos con inyección de vapor, y una fase final a 180°C hasta la cocción completa del producto.

Una vez obtenidos los panes, se procedió a realizar una serie de análisis exhaustivos. Los análisis fisicoquímicos incluyeron la determinación

de humedad, pH, dureza de la miga (utilizando un texturómetro) y volumen específico. El análisis nutricional se centró en cuantificar el contenido de proteína total (método Kjeldahl), grasa (Soxhlet), cenizas, fibra, perfil de ácidos grasos con énfasis en EPA y DHA (cromatografía de gases), y contenido de minerales clave como calcio, hierro y yodo (espectrofotometría de absorción atómica). Para la evaluación microbiológica, se realizó un recuento de aerobios mesófilos y mohos y levaduras en los panes a lo largo de 15 días de almacenamiento a temperatura ambiente para determinar su vida útil. Finalmente, se llevó a cabo un análisis sensorial con un panel de 30 consumidores no entrenados, quienes evaluaron atributos como color, aroma, sabor, textura y aceptabilidad general utilizando una escala hedónica de 9 puntos.

Los datos obtenidos de los análisis por triplicado fueron procesados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias de Tukey, con un nivel de significancia de $p < 0.05$, utilizando software estadístico especializado. Esto permitió identificar diferencias significativas entre las formulaciones y determinar el tratamiento con las características más deseables.

Es importante destacar que la selección de los porcentajes de sustitución se basó en una revisión exhaustiva de la literatura y en pruebas preliminares. Los niveles de sustitución del 25% y 50% fueron elegidos para representar un rango

amplio que permitiera evaluar tanto formulaciones con modificaciones moderadas como aquellas con cambios sustanciales en la composición. La decisión de variar las proporciones de anchoveta y yuyo dentro de cada nivel de sustitución total respondió al objetivo de identificar la combinación óptima que maximizara el enriquecimiento nutricional mientras se minimizaban los impactos negativos en las propiedades tecnológicas y sensoriales.

El control de calidad durante todo el proceso fue riguroso. Las materias primas fueron almacenadas en condiciones apropiadas para prevenir su deterioro: la harina de anchoveta y yuyo se mantuvieron en recipientes herméticos a temperatura ambiente en un lugar fresco y seco, mientras que los ingredientes perecederos como la levadura se refrigeraron hasta su uso. Durante la panificación, se monitorearon constantemente la temperatura y la humedad relativa de las cámaras de fermentación, así como la temperatura del horno, utilizando termómetros calibrados y un higrómetro digital. Cada lote de pan fue identificado y codificado para garantizar la trazabilidad de las muestras durante los análisis posteriores.

Para el análisis de textura, se utilizó un texturómetro con una sonda cilíndrica de 36 mm de diámetro, aplicando una compresión del 40% de la altura de la rebanada de pan a una velocidad de 1 mm/s. Las mediciones se realizaron en el centro de la rebanada, a 24 horas de la cocción,

para permitir la estabilización de la estructura del pan. El volumen específico se determinó mediante el método de desplazamiento de semillas de colza, dividiendo el volumen del pan entre su peso. Para el análisis de ácidos grasos, las muestras fueron sometidas a una extracción lipídica mediante el método de Folch, seguida de una transesterificación para obtener ésteres metílicos de ácidos grasos, que fueron posteriormente analizados por cromatografía de gases con detector de ionización de llama.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización de las harinas utilizadas como materia prima Tabla 1, revela diferencias sustanciales en su composición, lo que fundamenta su selección para el enriquecimiento del pan. La harina de anchoveta destaca por su excepcional contenido proteico (62.3%), superando ampliamente a la harina de trigo (10.5%). Además, presenta un nivel de grasa considerable (9.8%), que es la principal portadora de los ácidos grasos omega-3. Por su parte, la harina de yuyo se caracteriza por un contenido de cenizas extraordinariamente alto (42.5%), indicativo de su riqueza en minerales, y un aporte de fibra (8.5%) superior al de las otras harinas. Estas composiciones contrastantes son la base para lograr un enriquecimiento nutricional sinérgico en el producto final.

Tabla 1. Composición química de las harinas de anchoveta, yuyo y trigo utilizadas en la formulación del pan de molde.

Parámetro	Harina de Anchoveta	Harina de Yuyo	Harina de Trigo
Humedad (%)	8.5	9.2	12.0
Proteína (%)	62.3	12.0	10.5
Grasa (%)	9.8	0.8	1.2
Cenizas (%)	15.2	42.5	0.6
Fibra (%)	0.5	8.5	2.5
Carbohidratos (%)	3.7	27.0	73.2
Energía (kcal/100g)	345	165	350

Los análisis fisicoquímicos de las diferentes formulaciones de pan (Tabla 2) muestran el impacto de la sustitución de harina de trigo. Se observa una tendencia al incremento del contenido de humedad a medida que aumenta la proporción de harinas marinas, lo cual puede atribuirse a la mayor capacidad de retención de agua de las proteínas y fibras de la anchoveta y el yuyo. El pH también mostró un ligero aumento en las formulaciones

enriquecidas. Un hallazgo crucial fue el aumento progresivo de la dureza de la miga y la disminución del volumen específico con mayores niveles de sustitución. Esto indica que la incorporación de harinas no panificables interfiere con el desarrollo óptimo de la red de gluten, resultando en panes más densos y compactos, un factor crítico para la aceptabilidad del consumidor.

Tabla 2. Parámetros físico-químicos de las formulaciones de pan de molde.

Formulación	Humedad (%)	pH	Dureza (N)	Volumen específico (cm ³ /g)
Control (100% trigo)	38.5	5.8	12.5	3.8
F1 (75% trigo + 20% anchoveta + 5% yuyo)	40.2	6.1	15.8	3.2
F2 (75% trigo + 15% anchoveta + 10% yuyo)	41.5	6.2	16.2	3.0
F3 (50% trigo + 40% anchoveta + 10% yuyo)	43.8	6.4	18.5	2.5
F4 (50% trigo + 35% anchoveta + 15% yuyo)	44.2	6.5	19.8	2.3

El análisis nutricional Tabla 3, confirma el éxito del enriquecimiento. Todas las formulaciones experimentales presentaron un contenido de proteína significativamente mayor que el pan

control (8.5 g/100g), alcanzando un máximo de 18.5 g/100g en la formulación F3. De manera similar, el contenido de grasa y, crucialmente, de ácidos grasos omega-3 (EPA+DHA) se incrementó

de forma notable, pasando de ser inexistente en el control a un máximo de 480 mg/100g en F3. El aporte de minerales también fue sustancialmente mejorado; el contenido de calcio se multiplicó

por más de diez en algunas formulaciones, y el de hierro y yodo aumentó de manera muy significativa, abordando directamente deficiencias nutricionales comunes.

Tabla 3. Composición nutricional de las formulaciones de pan de molde (por 100g de producto).

Formulación	Proteína (g)	Grasa (g)	Omega-3 (EPA+DHA) (mg)	Calcio (mg)	Hierro (mg)	Yodo (µg)
Control	8.5	2.8	0	25	1.2	5
F1	14.2	4.5	285	180	3.8	45
F2	13.8	4.2	220	245	4.5	85
F3	18.5	6.8	480	220	5.2	52
F4	17.9	6.5	425	310	6.1	98

La evaluación microbiológica de la Figura 1, indicó que las formulaciones enriquecidas con harinas marinas presentaron un crecimiento de aerobios mesófilos ligeramente más lento en comparación con el pan control. Todas las formulaciones se mantuvieron por debajo del límite aceptable (5 log UFC/g) durante los primeros

9-12 días de almacenamiento. Este efecto podría atribuirse a la menor disponibilidad de agua (mayor humedad ligada) o a posibles compuestos con actividad antimicrobiana presentes en las algas, lo que sugiere una vida útil comparable o incluso ligeramente superior a la del pan convencional.

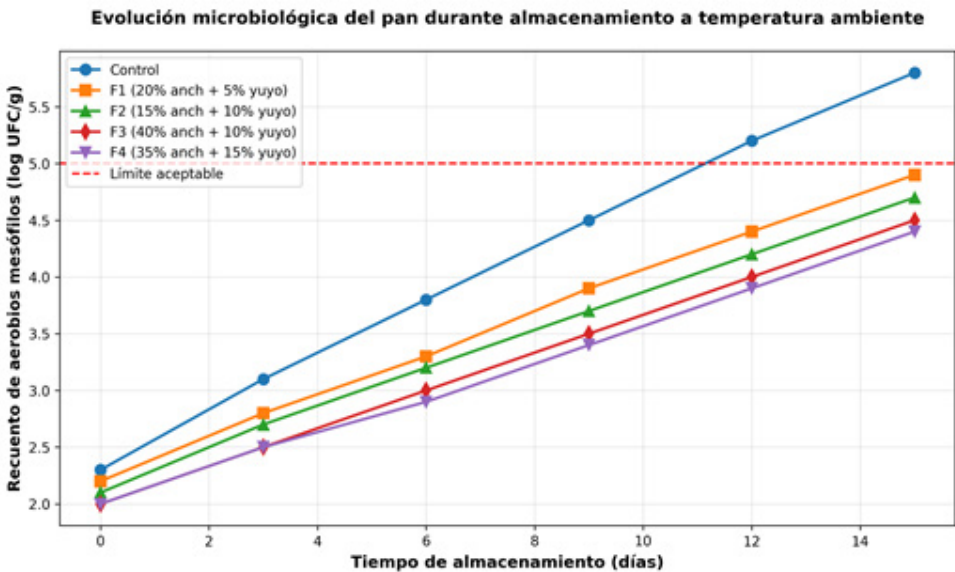


Figura 2. Evolución microbiológica del pan durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

El análisis sensorial de la Figura 2, fue determinante para identificar la formulación más viable. Como era de esperar, el pan control obtuvo las puntuaciones más altas en todos los atributos. A medida que aumentaba el nivel de sustitución, las puntuaciones de color, aroma, sabor y textura tendían a disminuir. Las formulaciones F3 y F4, con un 50% de sustitución, recibieron las calificaciones más bajas, especialmente en sabor y aroma, descritos por algunos panelistas como "demasiado intenso" o "a pescado". Sin embargo, las

formulaciones F1 y F2, con un 25% de sustitución, obtuvieron puntuaciones considerablemente más altas. Notablemente, la formulación F2 (15% anchoveta + 10% yuyo) fue la mejor valorada entre las enriquecidas, logrando una aceptabilidad general muy cercana a la de F1, pero con un perfil nutricional (especialmente en minerales) superior. Esto sugiere que la proporción de 10% de yuyo fue más efectiva para equilibrar las características sensoriales que la de 5%.

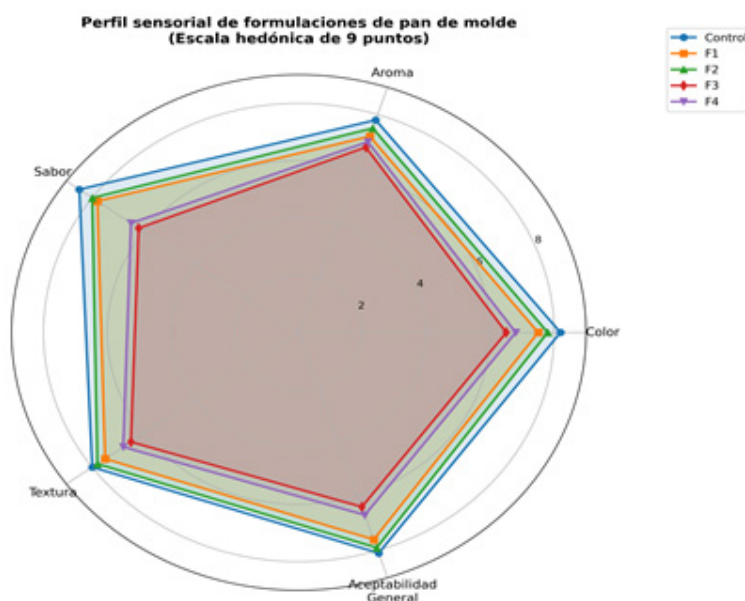


Figura 3. Perfil sensorial de las formulaciones de pan de molde (Escala hedónica de 9 puntos).

Discusión

Los resultados de este estudio demuestran la viabilidad técnica de producir un pan de molde funcional mediante la incorporación de harinas de anchoveta y yuyo, aunque también revelan los desafíos tecnológicos y sensoriales

inherentes a esta estrategia. El impacto de la sustitución de harina de trigo en las propiedades fisicoquímicas del pan es consistente con la literatura. El aumento de la dureza y la disminución del volumen específico son efectos bien documentados al incorporar harinas no

panificables, que diluyen la concentración de gluten e interfieren con la formación de una matriz de masa elástica y cohesiva capaz de retener el gas de la fermentación. Los hallazgos de este trabajo concuerdan con los de Monteiro et al. (2), quienes también observaron un aumento en la dureza al incorporar harina de tilapia. La clave, por tanto, no es eliminar este efecto, sino encontrar un nivel de sustitución que represente un equilibrio aceptable entre la mejora nutricional y la preservación de una textura agradable para el consumidor.

El análisis del valor nutricional es, sin duda, el aspecto más destacado de la investigación. El incremento proteico logrado, que en la formulación F3 duplica la cantidad del pan control, transforma un alimento básico en una fuente significativa de proteínas de alto valor biológico. Este resultado es comparable e incluso superior a los reportados por Donoso y Yañez (1) con un 6% de harina de pescado. Más importante aún es el aporte de ácidos grasos omega-3, particularmente EPA y DHA. Una porción de 100g del pan F3 podría cubrir una parte sustancial de la ingesta diaria recomendada de estos ácidos grasos, lo cual tiene implicaciones directas para la salud pública, especialmente en la prevención de enfermedades cardiovasculares. Asimismo, el enriquecimiento con minerales provenientes del yuyo, como el calcio y el hierro, aborda directamente deficiencias nutricionales muy extendidas. Los niveles de hierro alcanzados en las formulaciones F3 y F4

son particularmente relevantes en el contexto de la lucha contra la anemia, un problema de salud pública en el Perú.

La evaluación de la aceptabilidad sensorial es crucial para la traslación de un producto de laboratorio al mercado. Los resultados confirman que el sabor y el aroma son las principales barreras para la incorporación de altos porcentajes de harina de pescado. El sabor característico, a menudo descrito como "retrogusto a pescado", puede ser un factor de rechazo para el consumidor promedio. Sin embargo, es notable que las formulaciones con un 25% de sustitución (F1 y F2) lograron puntuaciones de aceptabilidad general superiores a 7.5 en una escala de 9 puntos, lo que indica una buena acogida.

La formulación F2 (15% anchoveta y 10% yuyo) resultó ser la más interesante, ya que, a pesar de tener menos anchoveta que F1, su aceptabilidad fue muy similar. Esto sugiere que la mayor proporción de yuyo, con su sabor salino y umami, pudo haber contribuido a enmascarar o equilibrar el sabor de la anchoveta, una hipótesis que merece mayor investigación. Este hallazgo contrasta parcialmente con el estudio de Alegría y Vásquez (6), donde el 12.5% de alga fue el nivel óptimo; en nuestro caso, la combinación con anchoveta parece permitir una sinergia sensorial beneficiosa.

La estabilidad microbiológica observada, que sugiere una vida útil similar o ligeramente extendida en los panes enriquecidos, es un

beneficio adicional inesperado. Este fenómeno podría deberse a una combinación de factores, incluyendo la reducción de la actividad de agua por la alta capacidad de retención de las proteínas y alginatos, y la posible presencia de compuestos con actividad antimicrobiana en las algas, como se ha sugerido en otros estudios. Este aspecto aumenta el atractivo comercial del producto, ya que no compromete, e incluso podría mejorar, su durabilidad en anaquel.

Las implicaciones prácticas de este estudio son significativas. Demuestra que es posible transformar dos recursos marinos abundantes y de relativo bajo costo en ingredientes de alto valor agregado para la industria alimentaria. La producción de un pan funcional como el desarrollado aquí podría posicionarse en un nicho de mercado de consumidores conscientes de su salud, y también podría ser considerado para programas sociales de alimentación escolar o de apoyo a poblaciones vulnerables, dada su alta densidad de nutrientes. No obstante, la viabilidad industrial dependerá de la optimización de los procesos para obtener harinas con características sensoriales más neutras y de la implementación de estrategias de marketing que comuniquen eficazmente los beneficios del producto para superar las posibles barreras de percepción del consumidor.

Desde una perspectiva tecnológica, los desafíos observados en este estudio son

consistentes con los principios fundamentales de la ciencia de la panificación. El gluten, formado por las proteínas glutenina y gliadina del trigo, es responsable de la estructura viscoelástica de la masa que permite la retención del gas producido durante la fermentación. La dilución del gluten por la incorporación de harinas no panificables reduce inevitablemente la capacidad de la masa para formar una red tridimensional robusta. Sin embargo, las proteínas de la anchoveta, aunque no forman gluten, pueden contribuir a la estructura del pan mediante interacciones proteína-proteína y proteína-almidón. Desai et al. (10), estudiaron la incorporación de polvo de proteína de pescado en pan y encontraron que, aunque la digestibilidad del almidón se veía afectada, el perfil de aminoácidos mejoraba sustancialmente, lo que coincide con nuestros hallazgos.

El papel de las algas marinas en la panificación es particularmente interesante desde el punto de vista de las propiedades funcionales. Los polisacáridos presentes en el yuyo, como los carragenanos, poseen capacidad gelificante y pueden actuar como hidrocoloides, mejorando la retención de humedad y potencialmente retardando el envejecimiento del pan. Véliz et al. (11), estudiaron la variación estacional de los carragenanos en *Chondracanthus chamissoi* y encontraron que la composición química varía significativamente, lo que sugiere que la época de recolección del alga podría influir en las

propiedades del producto final. Este aspecto merece mayor investigación para optimizar la calidad y consistencia del pan enriquecido.

La cuestión de la oxidación lipídica en productos enriquecidos con omega-3 es crítica para la viabilidad comercial. Los ácidos grasos poliinsaturados son altamente susceptibles a la oxidación, especialmente durante el horneado a altas temperaturas y durante el almacenamiento. Ferrari et al. (12), demostraron que la encapsulación de aceite de pescado y vitamina C en panes funcionales puede tener un impacto positivo en los atributos sensoriales y las propiedades tecnológicas. En nuestro estudio, aunque no se utilizó microencapsulación, la estabilidad microbiológica observada y la aceptabilidad sensorial de las formulaciones F1 y F2 sugieren que los niveles de oxidación se mantuvieron dentro de rangos aceptables durante el período de evaluación. No obstante, para una producción a escala industrial con períodos de almacenamiento más prolongados, sería recomendable implementar estrategias de protección de los lípidos, como el uso de antioxidantes naturales o sintéticos.

La comparación de nuestros resultados con estudios similares revela tanto convergencias como divergencias interesantes. Jansen (13), reportó que la adición de 3% y 6% de harina de pescado a pan resultaba en valores de proteína neta de 9.7% y 11.8%, respectivamente. Nuestros

resultados muestran incrementos aún mayores, lo que podría atribuirse a la mayor concentración de proteína en la harina de anchoveta utilizada (62.3%) en comparación con las harinas de pescado de generaciones anteriores. Sayed-Ahmad et al. (14), evaluaron la fortificación de harina de trigo y encontraron que la clave del éxito radica en equilibrar el valor nutricional con las características sensoriales, un principio que guió el diseño de nuestras formulaciones y que se refleja en la identificación de F2 como la formulación óptima.

Finalmente, es importante reconocer las limitaciones de este estudio. La evaluación sensorial se realizó con un panel de consumidores no entrenados, y sería valioso complementarla con un panel de catadores expertos para caracterizar de forma más precisa los perfiles de aroma y sabor mediante análisis descriptivo cuantitativo. Además, la investigación se centró en un tipo específico de pan y sería interesante explorar la aplicación de estas harinas en otros productos de panificación, como galletas, bizcochos o barras energéticas, donde las expectativas sensoriales del consumidor podrían ser diferentes y permitir mayores niveles de enriquecimiento. Futuras investigaciones deberían enfocarse en técnicas de microencapsulación del aceite de pescado o en tratamientos de desodorización de la harina de anchoveta para mitigar su impacto sensorial y permitir mayores niveles de enriquecimiento.

Asimismo, sería relevante realizar estudios de biodisponibilidad de los nutrientes para confirmar que el enriquecimiento se traduce efectivamente en beneficios nutricionales para el consumidor. Finalmente, un análisis de costo-beneficio y estudios de mercado serían esenciales para evaluar la viabilidad comercial del producto a escala industrial.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y la discusión precedente, se concluye que es técnicamente factible formular y desarrollar un pan de molde enriquecido con harinas de anchoveta (*Engraulis ringens*) y yuyo (*Chondracanthus chamissoi*), obteniendo un producto con un valor nutricional significativamente superior al del pan convencional. La combinación sinérgica de una fuente rica en proteínas y omega-3 con una fuente rica en minerales y fibra permite crear un alimento funcional con potencial para contribuir a la mejora de la salud pública.

De manera específica, se concluye que la sustitución parcial de la harina de trigo mejora drásticamente el perfil nutricional del pan, incrementando notablemente el contenido de proteínas, ácidos grasos esenciales EPA y DHA, calcio y hierro. Sin embargo, esta sustitución también genera efectos tecnológicos adversos, como el aumento de la dureza y la reducción

del volumen, y presenta desafíos sensoriales, principalmente relacionados con el sabor y aroma aportados por la harina de pescado.

La formulación F2, que consistió en una sustitución del 25% de la harina de trigo por una mezcla de 15% de harina de anchoveta y 10% de harina de yuyo, representó el equilibrio más favorable entre la mejora nutricional y la aceptabilidad por parte de los consumidores. Esta formulación logró altas puntuaciones en la evaluación sensorial, demostrando que es posible alcanzar un enriquecimiento sustancial sin sacrificar de manera crítica las características organolépticas que el consumidor espera de un pan de molde.

Se recomienda que futuras líneas de investigación se centren en la optimización de los procesos de obtención de las harinas marinas para neutralizar sus perfiles sensoriales, así como en la exploración de su uso en una gama más amplia de productos alimenticios. La promoción de este tipo de productos innovadores, basada en la comunicación de sus beneficios para la salud y la sostenibilidad de sus ingredientes, será clave para su éxito en el mercado y para maximizar su impacto positivo en la nutrición de la población.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

1. Donoso D. Valor proteico del pan enriquecido con harina de pescado. Paho.org. <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/12527/v55n5p520.pdf?sequence=1>
2. Monteiro L, Mársico E, Soares M, Magalhães A, Canto C, Costa-Lima R, et al. Nutritional profile and chemical stability of pasta fortified with Tilapia (*Oreochromis niloticus*) flour. *PLoS One*. 2016;11(12): e0168270. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0168270>
3. Bastos S, Tavares T, de Sousa M, Leal R, Fabrício L, Pimenta C, et al. Fish filleting residues for enrichment of wheat bread: chemical and sensory characteristics. *J Food Sci Technol*. 2014;51(9):2240–5. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-014-1258-1>
4. Zebib H, Teame T, Aregawi T, Meresa T. Nutritional and sensory acceptability of wheat bread from fish flour. *Cogent Food Agric*. 2020;6(1):1714831. <http://dx.doi.org/10.1080/23311932.2020.1714831>
5. Oprea O, Sannan S, Tolstorebrov I, Claussen I, Gaceu L. Effects of fish protein hydrolysate on the nutritional, rheological, sensorial, and textural characteristics of bread. *Foods*. 2024;13(5):698. <http://dx.doi.org/10.3390/foods13050698>
6. Alegría, R., Vásquez, B. Pan de molde enriquecido con alga (*Chondracanthus chamissoi*), semillas de linum usitatissimum y salvia hispánica [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional del Santa. 2023. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/4651>
7. Gamero-Vega G, Vásquez-Corales E, Ormeño-Llanos M, Cordova-Ruiz M, Quitral V. Characterization of red seaweed *Chondracanthus chamissoi* from the coasts of Perú: Chemical composition, antioxidant capacity and functional properties. *Plant Foods Hum Nutr [Internet]*. 2024;79(1):137–42. <http://dx.doi.org/10.1007/s11130-023-01135-w>
8. De Conto L, Porto R, Pereira L, Chang Y, Steel C. Effects of the addition of microencapsulated omega-3 and rosemary extract on the technological and sensory quality of white pan bread. *Lebenson Wiss Technol*. 2012;45(1):103–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2011.07.027>
9. Serna-Saldivar S, Abril R. Production and nutraceutical properties of breads fortified with DHA- and omega-3-containing oils. In: *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*. Elsevier; 2011. 313–23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380886-8.10029-7>
10. eDesai A, Beibeia T, Lu X, Gao J, Brennan M, Guo X, et al. How the inclusion of cod (*Pseudophycis bachus*) protein enriched powder to bread affects the in vitro protein and starch digestibility, amino acid profiling and antioxidant properties of breads. *Eur Food Res Technol*. 2021;247(5):1177–87. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-021-03699-w>
11. Véliz K, Chandía N, Rivadeneira M, Thiel M. Seasonal variation of carrageenans from *Chondracanthus chamissoi* with a review of variation in the carrageenan contents produced by Gigartinales. *J Appl Phycol*. 2017;29(6):3139–50. <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-017-1203-6>
12. Ferrari S, Galla R, Mulè S, Uberti F. Analysis of the beneficial effects of probiotics on the gut-prostate axis using prostatic co-culture model. *Foods*. 2024;13(22):3647. <http://dx.doi.org/10.3390/foods13223647>
13. Jansen G. Total protein value of protein- and amino acid-supplemented bread. *Am J Clin Nutr*. 1969;22(1):38–43. <http://dx.doi.org/10.1093/ajcn/22.1.38>
14. Sayed-Ahmad B, Talou T, Straumite E, Sabovics M, Kruma Z, Saad Z, et al. Evaluation of nutritional and technological attributes of whole wheat based bread fortified with Chia flour. *Foods*. 2018;7(9):135. <http://dx.doi.org/10.3390/foods7090135>