

Article: Original

Preliminary formulation of a Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) feed with alternative ingredients and local by-products**Formulación preliminar de un alimento para tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*) con ingredientes alternativos y subproductos locales**¹Lenin Vicente Loayza Peñaranda  , ²María José Farías González  , ³Ledi Vergara Miranda  .¹Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador²Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador³Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador***Corresponding author:** Lenin Vicente Loayza Peñaranda 

Submitted: 17-07-2026

Revised: 27-07-2026

Accepted: 06-08-2026

Published: 13-08-2026

Cite as:

Loayza Peñaranda, L. V., Farías González, M. J., & Vergara Miranda, L. (2026). Formulación preliminar de un alimento para tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*) con ingredientes alternativos y subproductos locales. *Sapiens Evolución Científica*, 4(1), 1-16. <https://doi.org/10.71068/ec000116>

ABSTRACT

Aquafeed formulation with alternative raw materials requires a clear distinction between theoretical estimates and experimentally determined composition. This study aimed to preliminarily formulate and produce a feed prototype for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) using alternative ingredients and local by-products, and to mathematically estimate its protein contribution. An applied, exploratory-descriptive study was conducted. The formulation included a fish-viscera-derived ingredient, soybean meal, duckweed (*Lemna minor*), rice, coffee residues, sunflower oil, and salt. Fish viscera were washed, ground, heat-treated, and acidified with acetic acid. The final mixture had a total mass of 2462 g. Protein contribution was calculated using theoretical nutritional coefficients and reached 30.03%. This percentage was not determined by proximate analysis and depends on the adopted coefficients, some of which lack batch-specific verification. The prototype could be mixed, shaped, and dried using low-complexity operations under the documented laboratory conditions. Digestibility, proximate composition, water stability, productive performance, cost per kilogram, and environmental impact were not evaluated. In conclusion, a technically producible preliminary formulation was obtained with a mathematically estimated protein contribution close to the target; its nutritional adequacy and productive performance require experimental validation.

Keywords: alternative ingredients; aquaculture feed; by-products; duckweed; Nile tilapia; theoretical protein**RESUMEN**

La formulación de alimentos acuícolas con materias primas alternativas requiere distinguir entre estimaciones teóricas y composición determinada experimentalmente. El objetivo fue formular y elaborar preliminarmente un prototipo de alimento para tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con ingredientes alternativos y subproductos locales, y estimar matemáticamente su aporte proteico. Se realizó un estudio aplicado, exploratorio-descriptivo. La formulación incluyó un ingrediente derivado de vísceras de pescado, harina de soya, lenteja de agua (*Lemna minor*), arroz, residuos de café, aceite de girasol y sal. Las vísceras fueron lavadas, trituradas, tratadas térmicamente y acidificadas con ácido acético. La mezcla definitiva tuvo una masa de 2462 g. El aporte proteico se calculó mediante coeficientes nutricionales teóricos y alcanzó 30,03 %. Este porcentaje

no fue determinado mediante análisis proximal y depende de los coeficientes adoptados, algunos de los cuales carecen de verificación específica para el lote utilizado. El prototipo pudo mezclarse, conformarse y secarse mediante operaciones de baja complejidad. No se evaluaron digestibilidad, composición proximal, estabilidad en agua, desempeño productivo, costo por kilogramo ni impacto ambiental. En conclusión, se obtuvo una formulación preliminar técnicamente elaborable y matemáticamente cercana al objetivo proteico; su adecuación nutricional y productiva requiere validación experimental.

Palabras clave: acuicultura; formulación de alimento; ingredientes alternativos; lenteja de agua; subproductos; tilapia del Nilo

INTRODUCTION

La acuicultura constituye una actividad estratégica para el suministro mundial de alimentos de origen acuático y para la diversificación de las fuentes de proteína destinadas al consumo humano. La FAO destaca que el crecimiento sostenido del sector exige mejorar simultáneamente la eficiencia productiva, el aprovechamiento de recursos y la sostenibilidad de los sistemas de cultivo (1). En este escenario, la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) ocupa una posición relevante por su adaptabilidad, aceptación comercial y amplia producción. Su expansión incrementa la necesidad de disponer de alimentos técnicamente formulados que respondan a los requerimientos nutricionales de la especie y a las condiciones concretas de producción.

La alimentación representa uno de los componentes decisivos del cultivo de tilapia, porque condiciona el crecimiento, la eficiencia de conversión y una parte importante de los costos operativos. La presión sobre ingredientes convencionales de origen marino ha impulsado la búsqueda de fuentes vegetales y subproductos capaces de incorporarse a las dietas sin comprometer su calidad nutricional (2,3). No obstante, la selección de materias primas alternativas exige valorar composición química, digestibilidad, perfil de aminoácidos, energía, inocuidad y posibles factores antinutricionales. Por esta razón, el porcentaje de proteína calculado constituye solamente un criterio inicial y no puede interpretarse, por sí solo, como evidencia de adecuación nutricional del alimento (4).

Entre las materias primas con potencial para formulaciones acuícolas se encuentran la harina de soya, la lenteja de agua (*Lemna minor*), los subproductos pesqueros y determinados residuos agroindustriales. Estas fuentes presentan ventajas asociadas con disponibilidad o valorización de materiales, pero también muestran variaciones derivadas del origen, humedad, procesamiento y condiciones de almacenamiento. La literatura especializada advierte que la utilidad real de un ingrediente depende de su caracterización y de la respuesta biológica obtenida dentro de una dieta completa (5). En consecuencia, utilizar coeficientes nutricionales procedentes de referencias bibliográficas permite construir estimaciones preliminares, aunque tales valores deben diferenciarse de resultados obtenidos mediante análisis proximal del lote empleado.

En contextos de experimentación a pequeña escala, la formulación preliminar puede constituir una etapa útil para establecer proporciones, documentar operaciones de procesamiento y determinar si una mezcla puede aproximarse matemáticamente a un objetivo proteico. Sin embargo, existe un problema metodológico cuando la estimación teórica se presenta como si representara la composición real del producto. Los requerimientos de *O. niloticus* cambian según talla, etapa

fisiológica, sistema de cultivo y calidad de los ingredientes, de modo que un valor porcentual aislado no demuestra suficiencia nutricional (6). Esta diferencia resulta especialmente importante cuando las materias primas carecen de caracterización específica y el proceso todavía no incluye digestibilidad, bioensayos o evaluación físico-química del alimento.

La formulación del problema se centra en la limitada evidencia disponible para determinar si una combinación local de ingredientes alternativos y subproductos puede transformarse, mediante operaciones de baja complejidad, en un prototipo reproducible cuyo aporte proteico teórico se aproxime al 30 %, sin confundir esa estimación con proteína bruta medida experimentalmente. La dificultad comprende tanto la factibilidad física de la elaboración como la coherencia del balance proteico. A partir de esta delimitación se plantea la pregunta de investigación: ¿es factible formular y elaborar preliminarmente un prototipo de alimento para tilapia del Nilo con los ingredientes seleccionados, alcanzando un aporte proteico teórico cercano al 30 % bajo las condiciones documentadas?

Como respuesta provisional al problema se establece la siguiente hipótesis de trabajo: la combinación de un ingrediente derivado de vísceras de pescado, harina de soya, lenteja de agua, arroz, residuos de café, aceite de girasol y sal permite formular y elaborar preliminarmente un prototipo para tilapia del Nilo cuyo aporte proteico teórico se aproxime al 30 %. Esta hipótesis se restringe al balance matemático y a la posibilidad de elaboración observada; no supone que el producto alcance ese porcentaje en un análisis proximal ni que garantice digestibilidad, crecimiento, conversión alimenticia o sostenibilidad. Su contrastación, en esta fase, se limita a los registros de formulación, masa y procesamiento disponibles.

En correspondencia con la pregunta y la hipótesis, el objetivo general fue formular y elaborar preliminarmente un prototipo de alimento para tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con ingredientes alternativos y subproductos locales, y estimar matemáticamente su aporte proteico teórico. El estudio se circunscribió al diseño de la formulación, tratamiento documentado de las materias primas, elaboración del prototipo, balance de masa y observación cualitativa del proceso. No se realizaron análisis proximales, ensayos de digestibilidad, pruebas controladas de alimentación, estimaciones económicas ni evaluaciones ambientales. Esta delimitación permite interpretar los resultados dentro de su alcance real y evita atribuir al prototipo propiedades nutricionales o productivas que todavía requieren validación experimental independiente.

LITERATURE REVIEW

- Requerimientos nutricionales de la tilapia y criterios de formulación

La formulación de dietas para tilapia del Nilo debe partir de los requerimientos del animal y no de un valor aislado de proteína. Glencross señala que la utilidad de un ingrediente depende de su caracterización, digestibilidad y respuesta biológica, porque dos materias primas con porcentajes semejantes de proteína pueden diferir notablemente en disponibilidad de nutrientes (5). Esta distinción es central en estudios preliminares: un balance matemático permite aproximar una

composición objetivo, pero no demuestra por sí mismo que los nutrientes estén disponibles para el pez ni que la dieta sostenga crecimiento eficiente.

Los requerimientos proteicos de *O. niloticus* varían con la etapa de desarrollo, el tamaño, las condiciones de cultivo y la densidad energética de la dieta. Torres-Novoa y Hurtado-Nery sintetizan esa variabilidad y muestran que no existe un porcentaje único aplicable a todas las fases productivas (6). Por ello, utilizar aproximadamente 30 % de proteína como objetivo de formulación debe entenderse como una referencia operativa y no como demostración de adecuación nutricional integral. La evaluación completa exige considerar aminoácidos esenciales, energía digestible, lípidos, minerales, vitaminas y la relación entre nutrientes.

- Harina de soya como fuente proteica vegetal

La harina de soya es una de las fuentes vegetales más utilizadas en alimentos acuícolas por su disponibilidad y concentración proteica. En tilapia, Llanes y Toledo observaron que niveles elevados de inclusión pueden ser utilizados, aunque el desempeño depende del balance general de la dieta y del nivel de sustitución (7). Su empleo requiere atender el perfil de aminoácidos, la energía y la presencia de factores antinutricionales. En consecuencia, asignar un coeficiente proteico a la soya resulta útil para un cálculo preliminar, pero el valor real del lote y su aporte nutricional efectivo deben verificarse cuando se pretenda validar el alimento.

- Lenteja de agua (*Lemna minor*): composición y variabilidad

La lenteja de agua ha recibido atención como biomasa de rápido crecimiento con potencial para alimentación animal. Una revisión reciente describe su interés alimentario y ambiental, pero también resalta que su composición cambia según condiciones de cultivo, manejo y procesamiento (8). Esa variabilidad limita la transferencia directa de un porcentaje de proteína desde la literatura hacia un lote específico. En una formulación preliminar, la información publicada puede servir como referencia para construir el balance, siempre que el resultado se presente explícitamente como estimación y no como composición proximal determinada en laboratorio.

Opiyo et al. encontraron variaciones en la composición nutricional de *L. minor* cultivada bajo diferentes esquemas de fertilización, confirmando que el medio de producción influye en la biomasa obtenida (9). Chakrabarti et al. caracterizaron además perfiles de aminoácidos y ácidos grasos, mostrando que la evaluación de esta macrófita no debe restringirse a proteína bruta (10). Desde una perspectiva histórica, Leng et al. ya habían propuesto la lenteja de agua como recurso proteico para animales y peces, aunque su uso requiere adaptación a las condiciones de producción y a la especie objetivo (11).

La evidencia experimental en tilapia aporta un criterio adicional. Opiyo et al. evaluaron la sustitución parcial de harina de pescado con *L. minor* y observaron respuestas de crecimiento y composición corporal bajo condiciones controladas (12). Estos resultados apoyan la pertinencia de investigar la macrófita, pero no autorizan a extrapolar automáticamente sus resultados a cualquier formulación. El nivel de inclusión, el procesamiento, la humedad, la composición del resto de la dieta y la calidad

de la biomasa son variables que deben considerarse antes de atribuir un efecto nutricional específico al ingrediente.

- Ingredientes alternativos y sustitución de fuentes convencionales

La sustitución de harina de pescado mediante proteínas vegetales forma parte de una tendencia amplia en acuicultura. Hussain et al. revisan diversas fuentes vegetales y destacan que su potencial depende de digestibilidad, composición de aminoácidos, factores antinutricionales y procesamiento (13). De manera complementaria, Serra et al. señalan que la selección de proteínas alternativas debe integrar criterios nutricionales, tecnológicos y de disponibilidad, evitando asumir que una materia prima es equivalente a otra solo por su concentración proteica (14). Estas consideraciones respaldan un enfoque prudente para prototipos elaborados con mezclas de ingredientes heterogéneos.

- Subproductos pesqueros, acidificación y ensilaje

Los residuos del procesamiento pesquero, incluidas las vísceras, contienen fracciones proteicas y lipídicas aprovechables, pero su elevada humedad favorece el deterioro y exige medidas de estabilización. Suárez et al. estudiaron ensilados de vísceras de tilapia y mostraron que el procesamiento modifica las características del material final (15). Por ello, un coeficiente proteico procedente de un material procesado no debe transferirse sin verificación a otro producto obtenido con condiciones distintas. Temperatura, tiempo, concentración de ácido, humedad y eventual desengrasado pueden modificar la composición y la estabilidad.

Las revisiones recientes sobre ensilaje de residuos pesqueros subrayan la importancia del control de pH, la estabilidad microbiológica y la estandarización del proceso para obtener materias primas reproducibles (16). En el presente tipo de formulación, una acidificación de conservación puede contribuir al manejo del subproducto, pero no debe equipararse automáticamente con un ensilaje validado si no se documentan los parámetros críticos. Esta diferencia metodológica es relevante porque la calidad del ingrediente derivado de vísceras condiciona de manera importante cualquier estimación posterior de proteína de la mezcla.

- Residuos de café y valorización de subproductos agroindustriales

Los residuos de café representan un subproducto agroindustrial cuya incorporación en alimentos requiere caracterización específica. Phinrub et al. evaluaron residuos de café gastado como sustituto parcial del salvado de arroz en dietas para tilapia y mostraron que su utilización puede estudiarse bajo niveles de inclusión definidos (17). No obstante, ese antecedente no establece un contenido proteico universal para todos los residuos de café. El origen del grano, el proceso de extracción, la humedad, la fibra y otros componentes pueden variar, por lo que el coeficiente empleado en una formulación debe estar respaldado por análisis o documentación del material concreto.

- Evidencia reciente sobre ingredientes no convencionales en tilapia

Una revisión sistemática de ingredientes no convencionales para tilapia muestra la diversidad de materias primas evaluadas y confirma que la respuesta depende de la naturaleza del ingrediente, su procesamiento y el nivel de inclusión (18). En paralelo, estudios recientes sobre requerimientos

proteicos de tilapia destacan que las necesidades cambian entre fases productivas y reproductivas, lo cual refuerza la necesidad de contextualizar cualquier objetivo porcentual de proteína (19). En conjunto, estas evidencias justifican utilizar el cálculo proteico como una etapa de diseño, pero no como sustituto de la validación química y biológica.

La formulación sin harina de pescado también ha sido investigada en tilapias en engorde, mostrando que el nivel de proteína debe evaluarse dentro de dietas completas y bajo condiciones productivas definidas (20). Otros trabajos han explorado sustituciones parciales mediante larvas de mosca soldado negra y camarón de agua dulce en sistemas de pequeños productores, ampliando el repertorio de fuentes disponibles (21). Estos estudios ilustran que la innovación en ingredientes puede responder a contextos locales, aunque su pertinencia debe demostrarse mediante mediciones de crecimiento, conversión alimenticia, supervivencia y calidad nutricional.

La búsqueda de sustitutos también incluye concentrados proteicos de hojas. Ayyat et al. evaluaron concentrados derivados de remolacha y zanahoria como reemplazos novedosos de harina de pescado en juveniles de tilapia (22). Amer et al. estudiaron hidrolizado proteico de moringa como sustituto en dietas de *O. niloticus*, incorporando indicadores productivos para valorar su respuesta (23). Estos antecedentes muestran que el desarrollo de ingredientes alternativos avanza hacia materiales muy diversos, pero la evidencia útil se obtiene cuando la caracterización del ingrediente se vincula con una formulación definida y una evaluación biológica controlada.

También se han investigado procesos de fermentación para mejorar materias primas vegetales. Van Doan et al. evaluaron la sustitución parcial de harina de soya por cáscara de maíz fermentada en tilapia criada en sistema biofloc, relacionando el ingrediente con respuestas de crecimiento y fisiología (24). La fermentación ejemplifica cómo el procesamiento puede modificar el valor funcional de un subproducto y, por tanto, por qué los coeficientes nutricionales no deben considerarse propiedades invariables. Para un prototipo preliminar, la trazabilidad del material y del tratamiento aplicado resulta indispensable para interpretar cualquier cálculo posterior.

- Síntesis del fundamento para la formulación preliminar

La evidencia revisada converge en tres criterios. Primero, la proteína calculada es solo una dimensión de la calidad nutricional y debe diferenciarse de la proteína determinada analíticamente. Segundo, las materias primas alternativas y los subproductos presentan variabilidad asociada al origen, humedad, procesamiento y lote. Tercero, la factibilidad de mezclar y conformar un prototipo no demuestra digestibilidad, estabilidad física, eficiencia productiva, reducción de costos ni sostenibilidad ambiental. En consecuencia, el valor del presente enfoque radica en documentar de forma reproducible una etapa inicial de formulación y elaboración, manteniendo explícitos los límites de la estimación teórica y definiendo las validaciones necesarias antes de considerar el producto como alimento nutricionalmente comprobado.

METHOD

Enfoque, alcance y diseño de la investigación

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, debido a que la formulación se sustentó en mediciones de masa, proporciones de mezcla, balances de materia y estimaciones matemáticas del aporte proteico. Por su finalidad, correspondió a una investigación aplicada con alcance exploratorio-descriptivo, orientada al desarrollo preliminar de un producto.

Se realizó un estudio aplicado, exploratorio-descriptivo de formulación y elaboración preliminar de un prototipo, en el laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, en el marco de la asignatura de Bioquímica de la Carrera de Acuicultura. No se establecieron tratamientos, grupo control, réplicas experimentales ni comparación entre formulaciones, y no se realizaron bioensayos con peces.

Materias primas y materiales

Se utilizaron un ingrediente derivado de vísceras de pescado, harina de soya, lenteja de agua (*Lemna minor*), arroz, residuos de café, aceite de girasol y sal. Para el tratamiento de las vísceras se empleó ácido acético al 95 %. Los registros fuente no especifican la especie ni procedencia de las vísceras, la procedencia de los residuos de café, la condición de la lenteja de agua, la presentación comercial de la soya, el tipo exacto de arroz ni, para todos los ingredientes, si la masa correspondía a material húmedo, seco o acondicionado. Estas variables no se reconstruyeron ni se asumieron, porque no están documentadas en el material disponible.

Selección, trazabilidad y caracterización teórica de los ingredientes

Los coeficientes nutricionales se conservaron como coeficientes operativos de la formulación y se contrastaron con literatura cuando existía un antecedente pertinente. No se realizaron análisis proximales del lote. El valor de 8 % para residuos de café se utilizó en el cálculo final porque es el coeficiente registrado en la formulación definitiva; el valor preliminar de 12 % se descartó para evitar dos coeficientes simultáneos. Este 8 % no cuenta con verificación analítica específica del lote. De igual manera, el tipo exacto de arroz y su coeficiente de 8 % no pudieron verificarse con la documentación disponible (Tabla 1).

Tabla 1. Valores nutricionales adoptados para la formulación y nivel de respaldo de los datos

Ingrediente	Proteína usada (%)	Base del dato
Ingrediente derivado de vísceras de pescado	55	Coeficiente operativo de la formulación original; no verificado analíticamente para el lote. Suárez et al. (15) estudiaron materiales procesados diferentes.
Harina de soya	44	Coeficiente operativo de la formulación; compatible con valores de referencia, pero no medido en el lote (3,4).

Ingrediente	Proteína usada (%)	Base del dato
Lenteja de agua (Lemna minor)	30	Coeficiente teórico basado en literatura sobre biomasa seca de L. minor; no medido en el lote (8-10).
Residuos de café	8	Coeficiente usado en la formulación definitiva. El valor preliminar de 12 % se descartó; el 8 % no fue verificado analíticamente para el lote (17).
Aceite de girasol y sal	0	Sin aporte proteico considerado en el balance.
Arroz	8	Coeficiente operativo heredado; el tipo exacto de arroz no está documentado y el valor no fue verificado para el lote.

Los valores de la Tabla 1 evidencian que la formulación se construyó con coeficientes operativos de distinto nivel de respaldo. La harina de soya y la lenteja de agua cuentan con referencias compatibles, mientras que el ingrediente derivado de vísceras, el arroz y los residuos de café presentan mayor incertidumbre para el lote utilizado. Por ello, la estimación proteica resultante debe interpretarse como una aproximación matemática que requiere confirmación mediante caracterización proximal específica de las materias primas.

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los porcentajes corresponden a coeficientes utilizados para estimar el aporte proteico y no a resultados de análisis proximal del lote experimental. La estimación final depende especialmente de los coeficientes asignados al ingrediente derivado de vísceras y a los residuos de café.

Formulación preliminar del alimento

La formulación inicial asignó 20 % de harina de soya, 26 % de ingrediente derivado de vísceras, 3 % de residuos de café, 6 % de sal, 18 % de arroz, 8 % de aceite de girasol y 19 % de lenteja de agua. Para cada ingrediente, el aporte proteico teórico se calculó multiplicando su proporción de inclusión por el coeficiente proteico adoptado y dividiendo entre 100. La suma de los aportes individuales proporcionó la estimación proteica total de la mezcla.

Aporte proteico del ingrediente (%) = $\frac{[\text{Inclusión del ingrediente (\%)} \times \text{Coeficiente proteico adoptado (\%)}]}{100}$

Con los coeficientes empleados en la formulación original se obtuvo una estimación inicial de 30,6 % de proteína. Este valor se utilizó únicamente como herramienta de ajuste y no como resultado de composición proximal.

Procesamiento de las vísceras de pescado

Las vísceras fueron lavadas, troceadas y trituradas. Posteriormente se aplicó calentamiento para reducir humedad antes de la acidificación. La documentación fuente no registra temperatura máxima, duración del calentamiento ni un criterio instrumental de finalización; por ello, estos parámetros no se inventaron y constituyen una limitación de reproducibilidad del procedimiento.

Tratamiento con ácido acético

Para 640 g de vísceras se estableció una adición de ácido acético equivalente aproximadamente al 4 % de la masa de la materia prima.

$$\text{Masa de ácido} = 640 \text{ g} \times 4/100 = 25,6 \text{ g}$$

$$V = m/\rho = 25,6 \text{ g} / 1,05 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1} = 24,38 \text{ mL}$$

Se utilizaron aproximadamente 24 mL de ácido acético al 95 %, incorporados gradualmente con mezclado continuo durante 5–10 min. El material tratado se mantuvo en un recipiente plástico cerrado y protegido de la luz hasta su incorporación a la mezcla. Los registros disponibles no consignan el tiempo exacto transcurrido entre acidificación e incorporación ni un valor de pH final. En consecuencia, el procedimiento se describe como acidificación de conservación y no como un ensilaje estandarizado equivalente a los protocolos publicados (15,16).

Reformulación y formulación definitiva

Después del procesamiento se dispuso de 640 g del ingrediente derivado de vísceras. Las masas iniciales se obtuvieron al aplicar las proporciones porcentuales a la masa de referencia disponible. La primera reformulación mantuvo 640 g de dicho ingrediente y escaló los demás componentes, alcanzando 2461,54 g y 30,66 % de proteína teórica. El ajuste final fue iterativo: se redujo harina de soya, de mayor coeficiente proteico, y se aumentó arroz, de menor coeficiente, conservando prácticamente la masa total hasta aproximar el cálculo al objetivo nominal de 30 %. No se utilizó un algoritmo de optimización ni restricciones nutricionales adicionales.

La formulación definitiva quedó constituida por 640 g de ingrediente derivado de vísceras de pescado, 450 g de harina de soya, 443 g de lenteja de agua, 510 g de arroz, 197 g de residuos de café, 148 g de aceite de girasol y 74 g de sal, para una masa total de 2462 g.

Mezclado, conformación, secado y almacenamiento

Los ingredientes sólidos fueron mezclados manualmente; después se añadieron la sal y, gradualmente, el aceite de girasol. La mezcla se moldeó manualmente en pellets o gránulos y se sometió a secado solar durante tres días. Los registros fuente no documentan temperatura, humedad relativa, irradiancia, ubicación exacta, sistema de protección frente a contaminación ni un criterio instrumental para determinar el final del secado. Tras el secado se realizó trituración adicional para reducir grumos, homogeneización manual y almacenamiento en una bolsa plástica limpia, en un lugar seco, fresco y protegido de la luz.

Cálculo del contenido proteico teórico

La proteína de la formulación se estimó matemáticamente a partir de la masa de cada ingrediente y del coeficiente proteico adoptado. El cálculo no corresponde a una determinación proximal del producto final.

Proteína teórica (%) = $[\Sigma(\text{masa de cada ingrediente} \times \text{coeficiente proteico adoptado} / 100) / \text{masa total de la mezcla}] \times 100$

Proteína total aportada (g) Masa total de la formulación (g)

Registro y procesamiento de la información

Se utilizaron revisión documental, balance de materia, cálculo porcentual y observación directa. La información fue registrada en tablas de formulación y mediante evidencia fotográfica. No se aplicó técnica estadística, debido a que no se desarrollaron tratamientos independientes ni réplicas de elaboración.

Limitaciones metodológicas

Las principales limitaciones metodológicas fueron la ausencia de análisis proximal del lote, la falta de réplicas independientes, la trazabilidad incompleta de algunas materias primas y condiciones de procesamiento, y la no determinación de humedad, lípidos, cenizas, fibra, energía, digestibilidad, estabilidad en agua, flotabilidad, dureza, durabilidad, costo por kilogramo e impacto ambiental. Estas limitaciones restringen la interpretación a una formulación preliminar y a un cálculo proteico teórico.

RESULTS

Formulación inicial y reformulación

La formulación preliminar produjo una estimación de 30,6 % de proteína a partir de los coeficientes adoptados. La disponibilidad final de 640 g del ingrediente derivado de vísceras obligó a recalcular la mezcla. La primera reformulación alcanzó 2461,54 g y una estimación proteica de 30,66 %. El ajuste final redujo la harina de soya de 492,31 a 450 g y aumentó el arroz de 467,69 a 510 g.

Composición de la formulación definitiva

La formulación definitiva alcanzó una masa total de 2462 g. Con los coeficientes operativos adoptados, la suma del aporte proteico teórico estimado fue 739,46 g y el contenido proteico teórico estimado fue 30,03 % (Tabla 2). Este resultado es matemático y no corresponde a proteína bruta determinada experimentalmente.

Tabla 2. Composición de la formulación definitiva y aporte proteico teórico estimado

Ingrediente	Cantidad (g)	Inclusión (%)	Coeficiente proteico (%)	Proteína aportada (g)
Ingrediente derivado de vísceras de pescado	640	26,00	55	352,00
Harina de soya	450	18,28	44	198,00

Ingrediente	Cantidad (g)	Inclusión (%)	Coefficiente proteico (%)	Proteína aportada (g)
Lenteja de agua (Lemna minor)	443	17,99	30	132,90
Arroz	510	20,71	8	40,80
Residuos de café	197	8,00	8	15,76
Aceite de girasol	148	6,01	0	0,00
Sal	74	3,01	0	0,00
Total	2462	100,00	—	739,46

La Tabla 2 muestra que el ingrediente derivado de vísceras aporta la mayor cantidad teórica de proteína, seguido por la harina de soya y la lenteja de agua. En conjunto, estos componentes explican la mayor parte de los 739,46 g estimados en la mezcla. El valor final de 30,03 % se aproxima al objetivo de formulación, pero su precisión depende directamente de los coeficientes adoptados; por tanto, no representa una medición experimental de proteína bruta del prototipo.

Fuente: Elaboración propia

Nota: La estimación de 30,03 % es condicional a los coeficientes adoptados y no equivale a proteína bruta determinada analíticamente. Los coeficientes de vísceras, arroz y residuos de café requieren confirmación específica del lote.

Proteína teórica (%) = $(739,46 \text{ g} / 2462 \text{ g}) \times 100 = 30,03 \%$

Características físicas observadas

Durante la elaboración se registró cualitativamente una masa moldeable, la posibilidad de conformación manual, pérdida visible de humedad durante el secado y presencia posterior de grumos que motivó trituración adicional. Estas observaciones describen el proceso, pero no validan propiedades físicas del alimento porque no se midieron humedad, granulometría, dureza, flotabilidad, estabilidad en agua ni durabilidad (Tabla 3).

Tabla 3. Observaciones físicas del proceso de elaboración

Etapas	Observación registrada	Acción aplicada	Resultado cualitativo
Mezclado y amasado	Integración progresiva de sólidos y fase lipídica.	Mezclado y amasado manual.	Masa integrada y maleable.
Conformación	Consistencia suficiente para moldeo.	Formación manual de pellets o gránulos.	Producto conformado.
Secado	Pérdida visible de humedad tras tres días.	Secado solar directo.	Producto aparentemente más seco.
Possecado	Grumos y diferencias visibles de tamaño.	Trituración o molienda adicional.	Reducción de grumos.
Homogeneización final	Necesidad de redistribuir los componentes.	Mezclado manual posterior.	Apariencia más homogénea.

Las observaciones de la Tabla 3 confirman que fue posible integrar, conformar, secar y homogeneizar manualmente el prototipo bajo las condiciones registradas. La aparición de grumos después del secado hizo necesaria una trituración adicional, lo que evidencia variaciones visibles en la estructura del producto. Estos resultados describen factibilidad operativa a pequeña escala, pero no permiten inferir calidad física del alimento, ya que no se midieron humedad residual, dureza, granulometría, flotabilidad, estabilidad en agua ni durabilidad.

Fuente: Elaboración propia

Nota: Las observaciones fueron cualitativas. No se determinaron instrumentalmente humedad residual, granulometría, dureza, flotabilidad, estabilidad en agua ni durabilidad.

Evidencias observadas de elaboración

Las evidencias obtenidas se limitaron a hechos directamente registrados durante la formulación y elaboración. No se presentan como resultados la viabilidad económica, la sostenibilidad ambiental ni la eficiencia productiva, porque esas dimensiones no fueron cuantificadas.

Tabla 4. Evidencias directamente observadas durante la formulación y elaboración del prototipo

Dimensión	Evidencia directamente observada
Técnica	Se elaboraron 2462 g de prototipo con equipos básicos.
Nutricional	Se obtuvo un cálculo de aporte proteico teórico estimado de 30,03 % con coeficientes operativos.
Física	Se logró conformación manual; tras el secado se observaron grumos y se aplicó trituración adicional.
Materias primas	Se incorporaron vísceras de pescado, lenteja de agua y residuos de café junto con otros ingredientes.
Proceso	Se registraron mezclado, conformación, secado solar durante tres días, trituración y homogeneización.
Productiva	No se realizó bioensayo con peces ni se midió desempeño productivo.

La Tabla 4 delimita con claridad el alcance de la evidencia obtenida: se documentaron la masa elaborada, el cálculo proteico teórico, la conformación manual y las principales etapas del proceso. La ausencia de bioensayos impide relacionar estas evidencias con crecimiento, conversión alimenticia o supervivencia de los peces. Asimismo, el uso de materias primas alternativas solo demuestra su incorporación al prototipo; no permite afirmar ventajas económicas o ambientales sin mediciones comparativas específicas.

Fuente: Elaboración propia

Nota: La tabla presenta únicamente evidencias registradas; las interpretaciones, necesidades de validación y perspectivas se desarrollan en la Discusión.

DISCUSSION

Interpretación del aporte proteico teórico

El principal hallazgo cuantitativo fue la obtención de una formulación cuya estimación proteica alcanzó 30,03 %. Sin embargo, la revisión de trazabilidad muestra que este resultado depende de coeficientes que no fueron medidos en las materias primas del lote. Esta distinción es fundamental: una formulación matemáticamente balanceada no garantiza que la composición real coincida con la estimada. El enfoque propuesto por Glencross enfatiza precisamente que la valoración de ingredientes debe sustentarse en caracterización analítica, digestibilidad y respuesta biológica (5).

El coeficiente de 55 % asignado al ingrediente derivado de vísceras constituye la principal fuente de incertidumbre. Suárez et al. reportaron composiciones muy diferentes para vísceras frescas, ensilaje químico y ensilaje químico desengrasado, obtenidos mediante procedimientos distintos al empleado en este estudio (15). Por ello, ni esos valores ni el 55 % pueden transferirse automáticamente al producto actual. La literatura reciente sobre ensilaje de residuos pesqueros confirma que la composición final depende del tratamiento, la humedad y las condiciones de conservación (16).

Harina de soya y lenteja de agua

La harina de soya representó 18,28 % de la mezcla final. Aunque el presente estudio no evaluó desempeño biológico, los antecedentes de Llanes y Toledo demuestran que *O. niloticus* puede utilizar dietas con niveles elevados de harina de soya cuando la formulación global satisface sus necesidades nutricionales (7). Esto respalda su inclusión como fuente proteica, pero no valida por sí mismo el coeficiente de proteína del lote utilizado.

La lenteja de agua representó 17,99 % de la formulación. El coeficiente de 30 % empleado es plausible en comparación con los valores de proteína en materia seca reportados por Opiyo et al. y con la caracterización de Chakrabarti et al. (9,10). No obstante, la variabilidad composicional descrita por Jaimes Prada et al. y Opiyo et al. obliga a considerar la condición de cultivo, humedad y procesamiento de la biomasa (8,9). Además, estudios de alimentación con tilapia muestran que la respuesta depende del nivel de inclusión y del balance de la dieta, por lo que la composición proximal debe complementarse con bioensayos (12).

Residuos de café y trazabilidad de ingredientes

En los registros preliminares de residuos de café apareció un coeficiente de 12 %, mientras que la formulación definitiva utilizó 8 %. Para mantener un único cálculo reproducible, el presente manuscrito adopta 8 % exclusivamente como coeficiente operativo de la formulación final. Este valor no se interpreta como composición analítica del residuo utilizado. Phinrub et al. respaldan la pertinencia de investigar residuos de café en dietas para tilapia, pero no validan un contenido proteico específico para este lote (17).

El arroz presenta una limitación de trazabilidad comparable: el registro fuente no identifica si se empleó arroz blanco, quebrado, harina de arroz o salvado. Por ello, el coeficiente operativo de 8 % se mantiene únicamente para reproducir el cálculo realizado y no como valor composicional confirmado.

Esta ausencia de identificación impide atribuir al lote una composición específica y debe considerarse al interpretar la estimación proteica.

Relación con los requerimientos de tilapia

El valor teórico cercano al 30 % se sitúa dentro de rangos utilizados en algunas dietas para tilapia, pero los requerimientos proteicos varían con etapa, talla, sistema de cultivo y calidad de los ingredientes (6,19). En consecuencia, la proximidad matemática a 30 % no demuestra adecuación nutricional.

El prototipo tampoco puede considerarse nutricionalmente balanceado en sentido integral: no se determinaron aminoácidos esenciales, energía, lípidos, minerales, vitaminas, digestibilidad ni composición proximal. La evidencia reciente sobre ingredientes alternativos confirma que la evaluación debe integrar composición, digestibilidad, nivel de inclusión y respuesta biológica (13,14).

Novedad aplicada, viabilidad y perspectivas

La contribución del trabajo es aplicada y contextual: documenta una formulación preliminar que integra materias primas de distinta naturaleza y que pudo elaborarse mediante operaciones de baja complejidad. El uso de subproductos representa un potencial de valorización, pero el estudio no realizó análisis de ciclo de vida, huella ambiental, comparación cuantitativa de impactos ni análisis económico; por tanto, no demuestra sostenibilidad ambiental, reducción de costos ni superioridad productiva.

Una etapa posterior debe incluir análisis proximal de todas las materias primas y del alimento final, humedad y actividad de agua, estabilidad en agua, flotabilidad, dureza, granulometría, evaluación microbiológica, perfil de aminoácidos y cálculo del costo por kilogramo. Posteriormente deberá desarrollarse un bioensayo con *O. niloticus*, alimento comercial de referencia y réplicas, midiendo ganancia de peso, tasa específica de crecimiento, consumo, conversión alimenticia, eficiencia proteica y supervivencia. Estas determinaciones permitirán establecer si la propuesta puede evolucionar desde un prototipo formulado hacia un alimento técnicamente validado.

CONCLUSIONS

En correspondencia con el objetivo general, se formuló y elaboró preliminarmente un prototipo de alimento para tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) mediante ingredientes alternativos y subproductos locales, alcanzando una masa final de 2462 g. El balance matemático basado en los coeficientes operativos adoptados produjo un aporte proteico teórico estimado de 30,03 %, cercano al objetivo nominal del 30 %. Este resultado confirma la factibilidad del procedimiento de formulación como etapa inicial, pero no equivale a una determinación experimental de proteína bruta ni demuestra adecuación nutricional integral.

La elaboración permitió integrar los ingredientes, conformar manualmente el prototipo, aplicar secado solar y efectuar una trituración posterior para reducir los grumos observados. Estas operaciones muestran que la formulación pudo materializarse a pequeña escala con los recursos descritos, cumpliendo la dimensión de elaboración prevista en el objetivo. No obstante, las

observaciones fueron exclusivamente cualitativas y no permiten validar humedad, dureza, granulometría, flotabilidad, estabilidad en agua o durabilidad. En consecuencia, la factibilidad técnica observada debe entenderse como preliminar y limitada a las condiciones documentadas del proceso.

La interpretación del aporte proteico calculado está condicionada por la trazabilidad incompleta y por la ausencia de análisis proximal de las materias primas, especialmente del ingrediente derivado de vísceras, el arroz y los residuos de café. Por ello, el producto debe mantenerse denominado como prototipo de alimento formulado y no como alimento nutricionalmente balanceado validado. Para avanzar desde la formulación preliminar hacia una evaluación de desempeño se requieren caracterización química de los ingredientes y del producto final, pruebas físicas, digestibilidad y bioensayos controlados con *O. niloticus*, además de evaluaciones económicas y ambientales independientes si se pretende formular conclusiones sobre esas dimensiones.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in action. Rome: FAO; 2024.
<https://doi.org/10.4060/cd0683en>
2. Tacon AGJ, Metian M. Feed matters: Satisfying the feed demand of aquaculture. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture. 2015;23(1):1-10.
<https://doi.org/10.1080/23308249.2014.987209>.
3. Gatlin DM III, Barrows FT, Brown P, Dabrowski K, Gaylord TG, Hardy RW, et al. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review. Aquaculture Research. 2007;38(6):551-579. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01704.x>.
4. National Research Council. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. Washington, DC: The National Academies Press; 2011. <https://doi.org/10.17226/13039>
5. Glencross BD. A feed is still only as good as its ingredients: An update on the nutritional research strategies for the optimal evaluation of ingredients for aquaculture feeds. Aquaculture Nutrition. 2020;26(6):1871-1883. <https://doi.org/10.1111/anu.13138>.
6. Torres-Novoa DM, Hurtado-Nery VL. Requerimientos nutricionales para tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Orinoquia. 2012;16(1):63-68. <https://doi.org/10.22579/20112629.266>.
7. Llanes J, Toledo J. Desempeño productivo de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con la inclusión de altos niveles de harina de soya en la dieta. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 2011;45(2):183-186. Disponible en:
<https://www.cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/140>.
8. Jaimes Prada O, Lora Diaz O, Tache Rocha K. Lenteja de agua (*Lemna minor*): potencial alimentario y ambiental. Revisión. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 2024;15(2):404-424.
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i2.6107>.
9. Opiyo M, Mbogo K, Obiero K, Orina P, Muendo P. Nutritional composition of duckweed (*Lemna minor*) cultured with inorganic fertilizer and organic manure in earthen ponds. Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research. 2023;9(3):123-129.
<https://doi.org/10.17216/limnofish.1152512>.

10. Chakrabarti R, Clark WD, Sharma JG, Goswami RK, Shrivastav AK, Tocher DR. Mass production of *Lemna minor* and its amino acid and fatty acid profiles. *Frontiers in Chemistry*. 2018;6:479. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00479>.
11. Leng RA, Stambolie JH, Bell R. Duckweed: A potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. *Livestock Research for Rural Development*. 1995;7(1). Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd7/1/3.htm>
12. Opiyo M, Mbogo K, Abwao J, Kyule D, Amahwa C, Nyonje BM, Munguti J. Partial replacement of fishmeal with duckweed (*Lemna minor*) improves growth performance and body composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) L. *Sustainable Aquatic Research*. 2024;3(3):127-136. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14555064>.
13. Hussain SM, Bano AA, Ali S, Rizwan M, Adrees M, Zahoor AF, et al. Substitution of fishmeal: Highlights of potential plant protein sources for aquaculture sustainability. *Heliyon*. 2024;10(4):e26573. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26573>.
14. Serra V, Pastorelli G, Tedesco DEA, Turin L, Guerrini A. Alternative protein sources in aquafeed: Current scenario and future perspectives. *Veterinary and Animal Science*. 2024;25:100381. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2024.100381>.
15. Suárez LM, Montes JR, Zapata JE. Optimización del contenido de ácidos en ensilados de vísceras de tilapia roja (*Oreochromis* spp.) con análisis del ciclo de vida de los alimentos derivados. *Información Tecnológica*. 2018;29(6):83-94. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000600083>.
16. Maksimenko A, Belyi L, Podvolotskaya A, Son O, Tekutyeva L. Exploring sustainable aquafeed alternatives with a specific focus on the ensilaging technology of fish waste. *Fermentation*. 2024;10(5):258. <https://doi.org/10.3390/fermentation10050258>.
17. Phinrub W, Sookying S, Srisuttha P, Sutthi N, Panase P. Exploring the nutritional potential of spent coffee grounds as a substitute for rice bran in feeds for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: An evaluation of growth performance and biological indices. *Aquaculture Nutrition*. 2024;2024:4858465. <https://doi.org/10.1155/2024/4858465>.
18. Zuluaga-Hernández CD, Hincapié CA, Osorio M. Non-Conventional Ingredients for Tilapia (*Oreochromis* spp.) Feed: A Systematic Review. *Fishes*. 2023;8(11):556. <https://doi.org/10.3390/fishes8110556>.
19. Meurer F, Novodvorski J, Bombardelli RA. Protein requirements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during production and reproduction phases. *Aquaculture and Fisheries*. 2025;10(2):171-182. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2024.03.004>.
20. Novodvorski J, Matos EJA, Gonçalves RM, Bombardelli RA, Meurer F. Protein Requirements of Fattening Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fed Fish Meal-Free Diets. *Aquaculture Journal*. 2024;4(3):135-147. <https://doi.org/10.3390/aquacj4030010>.
21. Kals J, Opiyo MA, Rurangwa E, Soma K, Ndambi A, Vernooij A. Use of black soldier fly larvae and freshwater shrimp to partly substitute commercial diet for Nile tilapia cultured in smallholder fish farms. *Front Sustain Food Syst*. 2024;8:1298551. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1298551>.
22. Ayyat MS, Ayyat AMN, Abdel-Rahman MS, Al-Sagheer AA. Appraisal of leaf protein concentrate derived from sugar beet and carrot as a novel fish meal substitute for juvenile Nile tilapia.

Animal Feed Science and Technology. 2024;307:115833.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115833>.

23. Amer SA, Abdel Rahman AN, ElHady M, Osman A, Younis EM, Abdel-Warith AAA, et al. Use of moringa protein hydrolysate as a fishmeal replacer in diet of *Oreochromis niloticus*.

Aquaculture. 2024;579:740202. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740202>.

24. Van Doan H, Wannavijit S, Tayyath K, Quynh TTD, Sumon MAA, Linh NV, et al. Partial replacement of soybean meal with fermented corn husk enhances growth and physiological responses in Nile tilapia reared in biofloc system. Aquaculture. 2026;611:743032.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.743032>.

CONSIDERACIONES ÉTICAS

El estudio se limitó a la formulación del alimento y a la elaboración de un prototipo, y no involucró participantes humanos ni la administración experimental del alimento a animales vivos. Por lo tanto, en esta fase no se realizaron intervenciones en seres humanos ni en animales. Cualquier ensayo futuro de alimentación que involucre *Oreochromis niloticus* deberá someterse, antes de su ejecución, a los procedimientos correspondientes de revisión institucional en materia de ética y bienestar animal.

DECLARACIÓN SOBRE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)

Los autores declaran que ChatGPT (OpenAI) fue utilizado únicamente como herramienta de apoyo para la organización de la estructura del manuscrito. Su uso se limitó a ordenar y estructurar las secciones del documento, sin intervenir en la generación de datos, resultados, cálculos, referencias, interpretaciones científicas, conclusiones ni contenido sustantivo de la investigación. La responsabilidad sobre la información presentada, su exactitud, integridad y validez científica corresponde exclusivamente a los autores.

FUNDING:

Esta investigación no recibió subvenciones específicas ni apoyo financiero de organismos de financiación pertenecientes a los sectores público, comercial o sin fines de lucro.

CONFLICT OF INTEREST:

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés financieros, personales, profesionales o institucionales que pudieran haber influido en la realización, los resultados o la publicación de esta investigación.

AUTHOR CONTRIBUTION

Nombres de autores e iniciales: Lenin Vicente Loayza Peñaranda¹ (LVLP), María José Farías González² (MJFG), Ledi Vergara Miranda³ (LVM)

1. Conceptualización: (LVLP) (MJFG) (LVM)

2. Curación de datos: (LVLP) (MJFG) (LVM)

3. Análisis formal: (LVLP) (MJFG) (LVM)

4. Adquisición de fondos: ()

5. Investigación: (LVLP) (MJFG) (LVM)

6. Metodología: (LVLP) (MJFG) (LVM)

7. Administración del proyecto: (LVLP) (MJFG) (LVM)

8. Recursos: ()

9. Software: ()

<https://doi.org/10.71068/ec000116>

10. Supervisión: (LVLP) (MJFG) (LVM)
11. Validación: (LVLP) (MJFG) (LVM)
12. Visualización: (LVLP) (MJFG) (LVM)
13. Redacción – borrador original: (LVLP)
14. Redacción – revisión y edición: (LVLP)