

Efecto de ensilados de sangre e intestinos de pollo, como sustitutos parciales de la harina de pescado, en el crecimiento de alevinos de tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758)

Effect of chicken blood and intestines silages, as partial substitutes for fishmeal, on the growth of tilapia fingerlings (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758)

Catalina Díaz-Cachay^{1*}, Betty Gamero-Collado², Claudio Alvarez-Verde³, Carlos Llontop-Vélez³, Abel Walter Zambrano-Cabanillas⁴

RESUMEN

Se evaluó la inclusión de ensilado biológico de intestinos y sangre de pollo en el alimento para tilapia *Oreochromis niloticus*, sustituyendo el 80% del contenido proteico de la harina de pescado. Los ensilados se elaboraron con 70% de residuos, 15% de fuente energética (14% melaza y 1% azúcar) y 15% de yogur (bacterias lácticas). Se determinó el pH y acidez durante 180 días y se hizo el análisis químico empleando métodos estándares. La dieta base se formuló con la ecuación de mínimo costo, además de considerar los requerimientos nutricionales para tilapia, los niveles de inclusión y el costo de los insumos.

¹ Laboratorio de Acuicultura, Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú

² Laboratorio de Genética Aplicada, Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú

³ Estación Piscícola de Santa Eulalia, Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú

⁴ Laboratorio de Biotoxicología, Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú

* E-mail: cdiaz@unfv.edu.pe

Recibido: 26 de enero de 2023

Aceptado para publicación: 11 de agosto de 2023

Publicado: 31 de octubre de 2023

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

Se empleó una dieta control y dos dietas con ensilados. Se distribuyó aleatoriamente a 270 alevinos revertidos con un peso inicial de 5.17 ± 0.18 g en nueve acuarios (3 por dieta). Los peces fueron alimentados tres veces al día y evaluados mensualmente. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) en los promedios finales de peso y biomasa entre el control y los ensilados. El factor de conversión del alimento (FCA), y la relación de eficiencia proteica (PER) fueron similares entre dietas ($p > 0.05$). El costo para producir 1 kg de tilapia fue menor en la dieta con ensilado de intestinos (USD 1.16), seguido por el ensilado de sangre (USD 1.20), significando una reducción en los costos de alimentación de 29.26 y 26.48%, respectivamente.

Palabras clave: alimento para tilapia, ensilado biológico, intestinos de pollo, sangre de pollo, costos

ABSTRACT

The inclusion of biological silage from chicken intestines and blood in the feed for **Nilotic tilapia** *Oreochromis niloticus*, substituting 80% of the protein content of fishmeal, was evaluated. The silages were made with 70% waste, 15% energy source (14% molasses and 1% sugar) and 15% yogurt (lactic acid bacteria). The pH and acidity were determined for 180 days, and the chemical analysis was done using standard methods. The base diet was formulated with the minimum cost equation, and considering the nutritional requirements for tilapia, inclusion levels and cost of inputs. A control diet and two with silages were used. The fingerlings ($n=270$) with an initial weight of 5.17 ± 0.18 g were randomly distributed in nine aquariums (3 per diet). The fish were fed three times a day and evaluated monthly. A significant difference ($p < 0.05$) was found in the final weight and biomass averages between the control and silage. Feed conversion factor (FCA) and protein efficiency ratio (PER) were similar between diets ($p > 0.05$). The cost to produce 1 kg of tilapia was lower in the diet with intestine silage (USD 1.16), followed by blood silage (USD 1.20), meaning a reduction in feeding costs of 29.26 and 26.48%, respectively.

Key words: tilapia feed, biological silage, chicken intestines, chicken blood, costs

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) refiere que la acuicultura desempeña un rol importante en la satisfacción de las demandas proteicas de las personas, convirtiéndose en la principal fuente mundial de alimentos acuáticos, que se espera satisfaga las crecientes demandas dietéticas mundiales aumentando la producción de forma sostenible, abordando la cadena de valor de forma más amplia, los mercados y el empleo decente, teniendo en cuenta las necesidades de seguridad alimentaria de la gente de menor

nivel económico (FAO, 2022). La acuicultura es la rama de la producción de alimentos de más rápido crecimiento, y representa a nivel mundial más biomasa de peces que la pesca de captura si se incluyen las cantidades no comestibles, siendo uno de los medios más importantes para proporcionar una producción sostenible de alimentos (Boyd *et al.*, 2020; Seliger *et al.*, 2021; Azra *et al.*, 2022). Sin embargo, aún hay desafíos para la sostenibilidad del sector acuícola que utiliza harina de pescado (HP), pues a pesar de las fluctuaciones en su precio, constituye un insumo caro convirtiéndose en un factor limitante para la elaboración de alimento balanceado.

La disminución de las poblaciones de peces utilizados para fabricar HP hace que los costos de producción se eleven y se busquen alternativas para su reemplazo parcial o total. Se han utilizado ingredientes vegetales como una alternativa sostenible a la harina de pescado para algunas especies acuícolas, sin embargo, la presencia de factores antinutricionales en la mayoría de estos ingredientes interfiere con la aceptación del alimento y el rendimiento del animal (Kokou y Fountoulaki, 2018). Por otro lado, hay otras industrias como la industria avícola que está creciendo más rápido que la acuicultura en términos de volumen (Edwards *et al.*, 2019) y cuyos subproductos pueden ser aprovechados en la fabricación de alimento para peces. La industria del procesamiento de productos pesqueros y avícolas en Perú genera una elevada cantidad de desechos que, si no son utilizados, contaminan el medio ambiente.

El ensilaje es una tecnología de bajo costo que permite utilizar los residuos pecuarios. El ensilado elaborado en base a subproductos de pescado o de aves, se puede obtener por la preservación ácida o fermentación utilizando bacterias anaeróbicas, donde las enzimas proteolíticas actúan sobre las proteínas presentes en los residuos en condiciones de acidez, obteniéndose ácido láctico como producto final (Bringas-Alvarado *et al.*, 2018).

La producción de ensilado a partir de subproductos de pescado puede adaptarse a diferentes volúmenes de captura, pudiendo ser aplicado a la pesca artesanal, industrial y acuicultura (Fernández, 2021). Se han elaborado ensilajes de residuos de peces como la trucha (Perea-Román *et al.*, 2017), tanto cocidos como crudos (Barriga-Sánchez *et al.*, 2019), para la alimentación de pollos de engorde (Gómez *et al.*, 2014). Asimismo, se han estudiado los efectos de la sustitución de HP por ensilaje de residuos de pescado como de subproductos de pollo (Eissa *et al.*, 2021; Garcés *et al.*, 2021) y de plumas de pollo (Rachmawati y Samidjan, 2019), así como el

ensilaje de residuos de pescado mezclado con otros insumos como salvado de arroz (Madage *et al.*, 2015).

En el Perú, existen pocas plantas de producción de harina que acopian residuos de los principales camales de aves. Se debe considerar que, al existir la comercialización de aves vivas en mercados locales, se promueve el beneficio artesanal generando gran cantidad de residuos que terminan en botaderos informales constituyéndose en agentes de contaminación (Florida y Reategui, 2019). La producción de aves en pie en 2021, según el MIDAGRI (2022), alcanzó 2130.3 t, de los cuáles el pollo representa el 93.8% (1999 t). Las pérdidas promedio en su procesamiento representan casi el 30%, de los cuales, 3.34% es sangre y 7.27% vísceras de desecho (Florida, 2019). Así, los ensilados biológicos se presentan como una alternativa para el uso responsable de los residuos, pudiéndose elaborar de manera artesanal, ya que su elaboración no es compleja ni requiere de equipamiento sofisticado (Bringas-Alvarado *et al.*, 2018; Toppe *et al.*, 2018; Chattopadhyay y Xavier, 2021; Fernández, 2021).

Los trabajos de aplicación de ensilados con intestinos y sangre de pollo en la alimentación de tilapias son prácticamente inexistentes. Ante esto, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la inclusión de ensilados empleando sangre e intestinos de pollo, como sustitutos parciales de la harina de pescado, en el crecimiento de alevinos de tilapia nilótica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Población de Peces

Se adquirió un millar de alevinos de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) monosexo del «Centro Acuícola Ecoturístico El Gran Paso» de la ciudad de Tarapoto, Perú, que fueron acondicionados en el Laboratorio

de Acuicultura de la Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura (FOPCA) de la Universidad Nacional Federico Villarreal, en Lima, y distribuidos en acuarios de vidrio para su aclimatación.

Unidades Experimentales

Se trabajó dentro del ambiente de experimentación del laboratorio que cuenta con las condiciones para mantener la temperatura ambiental constante y posee iluminación día-noche regulada por un *timer*. Para la investigación se emplearon 9 acuarios de vidrio (3 por tratamiento) de 180 L, equipados con filtros esquineros de espuma y piedras difusoras; la aireación fue suministrada por un motor *blower Seawater* de 1 HP. Se rotularon con la letra C (control), S (ensilado de sangre) e I (ensilado de intestinos de pollo) y distribuyeron para que las condiciones fueran en lo posible las mismas para los tratamientos (distribución aleatoria de los replicados). Se seleccionaron 270 tilapias teniendo en cuenta el peso y su longitud para luego ser distribuidos al azar en los acuarios. La densidad de cultivo por acuario fue de 100 peces/m².

Elaboración de Ensilados

Los ensilados se prepararon según el procedimiento para ensilado de residuos de pescado descrito por Berenz *et al.* (1997) y Holguín *et al.* (2009). Los intestinos y sangre de pollo se obtuvieron del centro avícola «Alexander» ubicado en el mercado «Virgen del Carmen» del distrito de San Juan de Lurigancho, Lima. Los intestinos, a diferencia de la sangre, se enjuagaron con agua potable, escurrieron y pesaron (balanza electrónica Patrick's, 1 g - 3 kg). Los intestinos fueron sometidos a ebullición a 80 °C (termómetro Boeco, -10 a +150 °C) por 15 minutos, para luego ser escurridos, molidos (molidora de granos Corona) y pesados.

Los intestinos representaron el 70% de la mezcla, a la cual se agregó melaza (14%) y azúcar (1%) homogeneizándose durante 5 minutos. Se adicionó 15% de yogur natural con seis cepas (Laive). Se mezclaron por 10 minutos, colocándose en bolsas transparentes de polietileno grueso de 40 x 30 cm, se cerraron eliminando el aire y se colocaron en baldes plásticos de 10 L con tapa (Figura 1). Las bolsas se revisaron al inicio y diariamente para liberar los gases formados y extraer muestras para la determinación de pH (potenciómetro digital Crison ± 0.01 pH) y acidez (volumetría) según metodología propuesta por Martínez (2003). Una vez alcanzada la estabilidad de las mezclas, las bolsas se colocaron en refrigeración para detener la fermentación láctica.

Formulación de Dietas con Ensilado

La dieta base fue formulada tomando en cuenta el requerimiento nutricional para tilapias en etapa de precría propuesto por Mjoun *et al.* (2010) y Tacon (1989), el contenido de nutrientes de la dieta comercial, las tablas de composición, el valor nutritivo de alimentos de la NRC (2011), FEDNA (2019) y Reyes *et al.* (2017), el precio por kilogramo de insumos y los porcentajes de inclusión recomendados para alimentos balanceados de omnívoros y herbívoros (Tacon, 1989). Las dietas fueron formuladas planteando las ecuaciones lineales con sus respectivas restricciones e ingresándolas al *software* de programación lineal LINDO, utilizando la función objetivo *MIN* (minimizar costos). Con el resultado obtenido de los porcentajes de inclusión de la fórmula base, se calculó la cantidad de proteínas aportado por la harina de pescado y la cantidad requerida de ensilados para reemplazar el 80% de proteínas.

Elaboración de Dietas con Ensilado

Las dietas se prepararon siguiendo las etapas de molienda, tamizado (2.00, 1.75, 0.85 y 0.425 mm de abertura de malla), pesado de

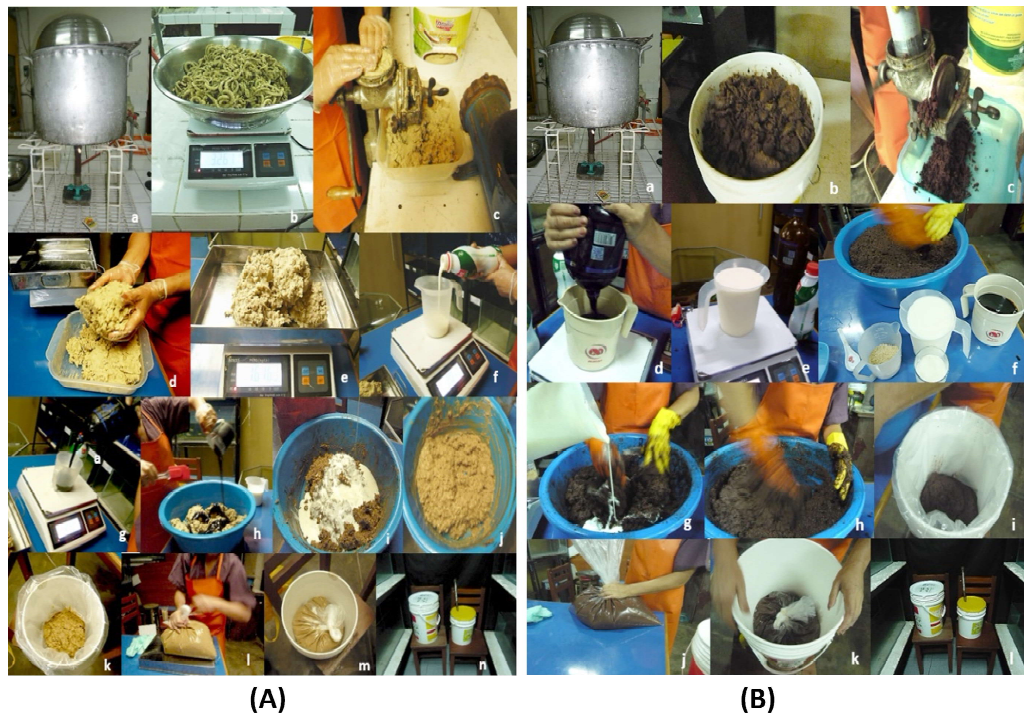


Figura 1. Elaboración de los ensilados. (A) Ensilado de intestinos de pollo. a) cocción, b) pesado de intestinos cocidos, c) molienda de intestinos, d) intestinos molidos, e) pesado de intestinos, f) pesado de yogur, g) pesado de melaza y azúcar, h) adición de melaza y azúcar a los intestinos cocidos y molidos, i) adición yogurt, j) mezclado, k) mezcla en bolsa, l) cierre de bolsa libre de aire, m) mezcla en balde, n) acondicionamiento para la fermentación. (B) Ensilado de sangre de pollo. a) cocción, b) sangre cocida, c) molienda, d) pesado de melaza, e) pesado de yogur, f) insumos pesados para la mezcla, g) adición de yogurt, melaza y azúcar a la sangre cocida y molida, h) mezclado, i) mezcla en la bolsa, j) cierre de bolsa libre de aire, k) mezcla en balde, l) acondicionamiento para la fermentación

insumos según fórmula (Cuadro 1) y mezclado. Las harinas de pescado, soya, subproducto de trigo y ensilado se unieron para obtener una mezcla inicial. Para obtener una distribución uniforme de los componentes en el producto final, se dividió en tres porciones agregándose un componente diferente a cada una, aceite a la primera, vitaminas y minerales a la segunda y a la tercera harina de maíz previamente cocida. Estas tres porciones se mezclaron hasta obtener una textura adecuada, se formaron los bollos y pasaron por un molino manual de carne (Corona) para formar los *pellets*, los cuales se secaron en

una estufa (Memmert 0-250 ± 1 °C) a 60 °C, se fragmentaron en un molino de granos, se tamizaron para obtener la granulometría adecuada y se almacenaron en recipientes con tapa.

Análisis Físicoquímico de las Dietas

El análisis físico del alimento se realizó según el procedimiento descrito por Cruz-Suárez *et al.* (2006), Hoyos *et al.* (2017) y Zettl *et al.* (2019). Se evaluó la densidad de los gránulos, el tiempo de hundimiento y la estabilidad determinada por el grado de

Cuadro 1. Porcentaje de inclusión de los insumos empleados en las dietas

Insumos	Fórmula base (%)	Fórmula de dietas (cantidades requeridas para 1000 g)	
		Ensilado de intestinos (g)	Ensilado de sangre (g)
Harina de maíz	20	200	200
Harina de pescado	30	70	70
Harina de soya	30	300	300
Salvado de trigo	20	200	200
Ensilado de intestino	-	632	-
Ensilado se sangre	-	-	705
Vitaminas	-	10	10
Minerales ¹	-	10	10
Sal	-	2.5	2.5
Aceite	-	8	4

¹ Incluye 6 g cloruro de colina con 4 g de sal

lixiviación (expresado en el porcentaje de pérdida de materia seca - PMS) después de una hora de permanencia del alimento en el agua. Para la composición nutricional (análisis proximal, químico) de las dietas, se extrajo una muestra que fue dividida en dos partes iguales para ser enviados a los laboratorios. Los métodos para el análisis químico de las dietas fueron los mismos que se emplearon para los ensilados. Se utilizaron métodos estándares de la AOAC (1990) humedad por secado a la estufa; cenizas por calcinación en la mufla; grasas equipo Soxhlet extracción con hexano; proteínas, método semi-micro Kjeldahl ($N \times 6.25$) y los carbo-hidratos se obtuvieron sumando los valores en base húmeda y restándolo de 100%.

Dieta Control

Como dieta control se empleó el alimento inicio II para tilapias de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los insumos y la composición proteica consignados en la etiqueta fueron: proteína 35% mínimo; torta de soya, harina integral extruida de soya, harina de pescado especial, harina de maíz, subpro-

ductos de trigo, aceite vegetal y de pescado, carbonato de calcio, vitaminas, minerales, cloruro de colina 60%, cloruro de sodio, anti-fúngico y antioxidantes.

Seguimiento de la Población

Se realizaron mediciones mensuales de peso utilizando una balanza electrónica y mediciones de longitud con un ictiómetro ($0-40 \text{ cm} \pm 1 \text{ mm}$). La biomasa fue determinada por diferencia de masas (peso inicial de agua contenido en un recipiente - peso final de agua con peces). Con la biomasa y tasa de alimentación o porcentaje de peso corporal (4% para individuos hasta 15 g y 2% para mayores de 15 g hasta los 27 g), se calculó la cantidad de alimento diario por acuario y se dividió en tres porciones iguales que fueron pesados y colocados en recipientes de plástico rotulados. El alimento fue suministrado tres veces al día. El desempeño de los peces se evaluó según las fórmulas sugeridas por Tacon (1989) y Parra *et al.* (2021): Incremento de peso (g) = peso final - peso inicial; Factor de conversión del alimento (FCA) = Alimento ingerido (g) / Ganancia de peso (g); Relación

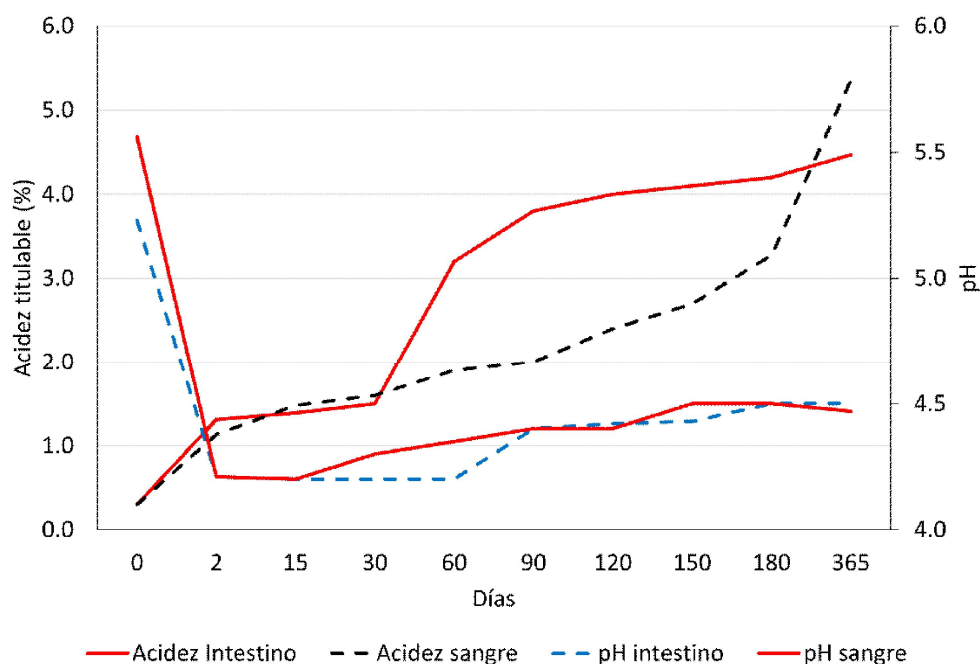


Figura 2. Acidez titulable (porcentaje de ácido láctico) y pH de ensilados de sangre e intestinos de pollo, como sustitutos parciales de la harina de pescado

de eficiencia proteica (*Protein efficiency ratio* - PER) = Incremento de peso (g) / proteína consumida (g); Tasa de crecimiento específico (TCE) = \ln peso final - \ln peso inicial / Tiempo (días) x 100.

Parámetros Físicoquímicos y Mantenimiento de Acuarios

La temperatura ambiental y del agua de los acuarios se registró dos veces al día (termómetro protegido Hitech -10 -150 °C); la calidad del agua se determinó cada 15 días a través de la medición del pH (potenciómetro digital), dureza y alcalinidad (por métodos volumétricos), amonio y nitritos (método colorimétrico, espectrofotómetro UV Visible). Además, diariamente se realizó la remoción de excretas (sifoneo), dos veces a la semana el cambio de agua, 50% a mitad de semana y el 100% el fin de semana, así como el lavado de los filtros de esponja.

Análisis de Datos

Los datos fueron digitados en hojas de cálculo de MS Excel para ordenarlos y elaborar los gráficos y cuadros. Se realizó estadística descriptiva con el software *Statgraphics*. Se efectuó el análisis de varianza, poniendo a prueba la significación estadística para la longitud, peso, biomasa, FCA y PER. Para la veracidad de los resultados se efectuó comparaciones múltiples o de contraste entre promedios, empleando la prueba LSD de Fisher.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estabilidad de los ensilados

Los datos obtenidos de pH y acidez titulable (expresado como porcentaje de ácido láctico) de los ensilados elaborados evi-

Cuadro 2. Composición química proximal de los ensilados de sangre e intestinos de pollo, como sustitutos parciales de la harina de pescado

Composición	Ensilado de intestinos (%)	Ensilado de sangre (%)
Humedad	64.55	71.21
Cenizas	1.99	1.96
Grasa	5.30	0.29
Proteína bruta	16.90	15.16
Carbohidratos	11.26	11.38

dencian el incremento de la acidez y el descenso del pH conforme van actuando las bacterias lácticas del yogurt en presencia de la melaza (Figura 2) hasta reducir el pH a valores cercanos a 4 (Holguín *et al.*, 2009) que es cuando se logra estabilizar el ensilado (Fernández *et al.*, 2013). Las bacterias ácido-lácticas del yogurt degradan las aminos biogénicas, reduciendo el crecimiento de hongos y bacterias patógenas causantes de la putrefacción, favorecen la estabilidad de ciertos aminoácidos (isoleucina, treonina, cistina, metionina y lisina) en los ensilados de resi-

duos de pescado con valores similares a la harina de pescado (Spanopoulos-Hernandez *et al.*, 2010), permitiendo que el producto se conserve por un tiempo prolongado (Copes *et al.*, 2006) y también le confieren al ensilado características organolépticas agradables (Holguín *et al.*, 2009).

La estabilidad de los ensilados de intestino y sangre de pollo se obtuvo a las 48 horas, similar a lo reportado por otros autores (Toledo y Llanes, 2006; Holguín *et al.*, 2009) para ensilados elaborados en base a residuos de pescado. La acidez para el ensilado de intestinos y de sangre fue de 1.31 y 1.13%, respectivamente y el valor de pH de 4.21 para ambos, tal y como fue reportado por Holguín *et al.* (2009). Los valores de pH durante los 180 días del estudio fluctuaron entre 4.1 a 4.5 y los de acidez entre 1.31 a 4.47% para el ensilado de intestino, mientras que para el ensilado de sangre fluctuaron entre 4.1 a 4.47 y 1.13 a 5.36%, respectivamente, valores dentro de los rangos aceptables de almacenamiento (Toledo y Llanes, 2006; Spanopoulos-Hernandez *et al.*, 2010). El pH obtenido en los ensilados biológicos representa una ventaja frente al ensilado químico ya que pueden ser empleados directamente en la preparación de alimentos, sin necesidad de un tratamiento previo de neutralización (Toledo y Llanes, 2006).

Cuadro 3. Composición fisicoquímica y precio de dietas a base de los ensilados de sangre e intestinos de pollo, como sustitutos parciales de la harina de pescado

Composición	Dieta control (%)	Ensilado de intestinos (%)	Ensilado de sangre (%)
Humedad	11.51	9.39	8.54
Cenizas	7.73	5.55	5.68
Grasa	9.47	8.00	8.00
Proteína bruta	35.0	35.23	37.47
Carbohidratos	36.29	41.83	40.31
Densidad de <i>pellets</i> (kg/m ³)	1,540	1,000	1,080
Tiempo de hundimiento (s)	1.62	5.96	3.82
Hydroestabilidad del alimento - pérdida de materia seca (% PMS)	16.24	15.91	17.01
Precio/kg (USD)	1.00	0.67	0.63

Características fisicoquímicas de los ensilados

Los resultados del análisis químico de los ensilados, expresados en base húmeda o tal como es ofrecido, se detallan en el Cuadro 2. El contenido proteico de los ensilados de sangre e intestinos son cercanos a los valores como materia cruda, donde la sangre tiene 15% en 83% de humedad (Reyes *et al.*, 2017) y las vísceras de pollo contienen 17.89% en 69.80% de humedad (Menchú y Méndez, 2012), resultados similares con la anchoveta que tiene 19.1% proteína en 70.8% de humedad (Reyes *et al.*, 2017); es decir, ambos productos tienen gran potencial para ser empleados como insumos proteicos.

Los ensilados elaborados y estabilizados se incluyeron en base húmeda a las dietas, sin previo secado ni almacenado, ya que según Spanopoulos-Hernandez *et al.* (2010), el almacenamiento puede afectar el sabor, color, textura y el valor nutricional, mientras que la luz solar, acelera la oxidación de lípidos formando compuestos complejos con algunos aminoácidos como la lisina y metionina y destruye otros como el triptófano, indispensables para el crecimiento de los peces.

Los resultados del análisis proximal de las dietas (Cuadro 3) concuerdan con los requerimientos nutricionales recomendados por Mjoun *et al.* (2010) y el NRC (2011). Si bien todos los nutrientes cumplen un rol importante en la nutrición de los peces, la proteína es la que tiene especial trascendencia por su relación directa con el crecimiento (Craig, 2017; Ullah-Khan *et al.*, 2019). Asimismo, la relación proteína: lípido tiene importancia puesto que los lípidos son necesarios para el uso eficiente de las primeras etapas del crecimiento, así para 40% de proteína se recomienda 6-8% de lípidos y para 35% de 4.5 a 6% (Eid *et al.*, 2019). En el presente estudio, si bien el contenido de lípidos en las dietas con ensilado (8%) superan en 2% el valor máximo de lípidos sugerido para la cantidad de proteína se encuentra dentro del rango

sugerido por Bhujel (2002) para dietas de alevinos.

Los resultados del análisis físico de las dietas se detallan, asimismo, en el Cuadro 3. La densidad, en caso de gránulos de alimento para peces de agua dulce, si es superior a 1000 kg/m³, los *pellets* se hunden (Zettl *et al.*, 2019). En el presente estudio, la dieta control tiene mayor densidad (1540 kg/m³) que aquellas con ensilados (1000 y 1080 kg/m³), diferencia que se ve reflejada en el tiempo de hundimiento, siendo la dieta con ensilado de intestinos la que demora más tiempo en hundirse por tener menor densidad. En cuanto al porcentaje de PMS, la dieta con ensilado de sangre tuvo mayor pérdida por lixiviación (17.01%), seguido del control (16.24%), siendo el alimento con ensilado de intestinos la de mejor hidroestabilidad (15.91%). El beneficio de una baja lixiviación implica un mayor aprovechamiento de los nutrientes, ya que los gránulos no se desintegran rápidamente y, por lo tanto, no hay deterioro en la calidad del agua permitiendo mantener un ambiente más saludable para los peces (Yashni *et al.*, 2020).

Crecimiento de la población y efecto de las dietas

Los valores promedios de los indicadores que demuestran la influencia de las dietas en el crecimiento de la población durante 180 días de evaluación se detallan en el Cuadro 4. Se encontró diferencias significativas en el peso final entre la dieta control con las dietas con ensilados. No obstante, el aprovechamiento de las dietas, evaluado con el FCA y PER, no presentó diferencias entre dietas ($p > 0.05$); asimismo, los valores de FCA del control (1.77) y de las dietas con ensilados (intestino 1.73; sangre 1.90) se encuentran dentro del rango (1.54-1.96) reportado por Hoyos *et al.* (2011) para dietas de tilapia en etapa de engorde, las cuales incluían 10, 20 y 30% de ensilado biológico a partir de residuos de tilapia. Carvalho *et al.* (2006) trabajando con los mismos porcentajes de inclusión empleando ensilado a partir de residuos de filete de tilapia y 30% de salvado de trigo en

Cuadro 4. Parámetros biológicos, nutricionales y costo de las dietas para tilapias a base de los ensilados de sangre e intestinos de pollo, como sustitutos parciales de la harina de pescado

	Dieta control (%)	Ensilado de intestinos (%)	Ensilado de sangre (%)
Individuos por unidad experimental	30	30	30
Longitud promedio inicial (cm)	6.59±0.19	6.68±0.08	6.84±0.32
Longitud final promedio (cm)	12.88±0.21	12.69±0.21	12.72±0.06
Peso promedio inicial (g)	5.17±0.04	5.17±0.18	5.16±0.32
Peso promedio final (g)	31.57±0.77 ^a	28.54±0.05 ^b	30.14±1.32 ^{a,b}
Biomasa promedio inicial (g)	155.17	155.11	154.67
Biomasa promedio final (g)	807.83 ^a	734.20 ^b	751.23 ^{a,b}
Incremento de biomasa (g)	649.66	579.09	596.56
Factor de conversión del alimento (FCA)	1.77±0.23 ^a	1.73±0.31 ^a	1.90±0.43 ^a
Ratio de eficiencia proteica (PER)	1.68±0.23 ^a	1.77±0.27 ^a	1.68±0.14 ^a
Tasa de crecimiento específico (%)	1.03 ±0.02 ^a	0.97± 0.02 ^a	1.00 ±0.04 ^a
Mortalidad (%)	0	0	0
Costo para producir 1 kg de tilapia (USD)	1.64	1.16	1.20

^{a,b,c} Letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$)

Cuadro 5. Valores promedio de parámetros fisicoquímicos del agua en crianza de tilapias alimentadas con ensilados de sangre e intestinos de pollo, como sustitutos parciales de la harina de pescado

	Dieta control	Ensilado de intestinos	Ensilado de sangre
Temperatura (°C)	23.40±1.86	23.52±1.91	23.69±2.08
Nitrógeno Nitrito (mg/L)	0.09±0.00	0.11±0.01	0.13±0.01
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	0.74±0.03	0.31±0.02	0.13±0.01
Dureza (ppm CaCO ₃)	260.53±2.01	279.95±1.34	262.54±1.51
Alcalinidad total (ppm CaCO ₃) presencia de bicarbonatos	115.03±3.68	120.16±2.63	129.13±1.06
pH	6.50±0.16	6.83±0.08	6.87±0.24

dietas para alevinos de tilapia obtuvieron valores de 1.71, 1.65 y 1.63, respectivamente, mientras que Perea-Román *et al.* (2018) empleando ensilado químico de vísceras de trucha en dietas para juveniles de tilapia roja consiguieron resultados de 1.76, 1.52 y 2.21. En cuanto al PER, los resultados obtenidos fueron cercanos a los reportados por Lessi (1997) y Carvalho *et al.* (2006).

En cuanto a los parámetros físicos (Cuadro 5), la variación de temperatura en los acuarios fue mínima, ligeramente por debajo del rango considerado como óptimo (25-30 °C) para el desarrollo de la tilapia (Pereira y Silva, 2012; Kubitz, 2017). Los valores de pH de las tres dietas estuvieron cercanos a la neutralidad (ligeramente ácida) y dentro del rango de 6.2-9.0 considerado como adecua-

do para el cultivo (Borges y Berthier, 2019; Chipepe *et al.*, 2021). Los compuestos nitrogenados como el amoníaco y los nitritos explican la carga orgánica existente en el agua, y los valores de nitrógeno amoniacal se mantuvieron por debajo de los 2.0 mg/L, considerado como valor crítico en el cultivo para las tilapias (FONDEPES, 2004); asimismo, los nitritos en las dietas con ensilados superaron ligeramente al control, pero con valores menores a 0.2 mg/L, que indican estándares de calidad para una buena crianza de tilapia (Mata *et al.*, 2018).

La dureza y la alcalinidad total en el control y en los ensilados fueron superiores a 20 mg/L, valor mínimo aceptable para el cultivo de tilapia (Cavalcante *et al.*, 2012). Por otro lado, los valores de dureza se mantuvieron por debajo del valor máximo 350 mg/L y la alcalinidad no superó los 175 mg/L de carbonato de calcio considerados como perjudiciales ya que producen formaciones calcáreas que ocasionan daño a las branquias de los peces (CENDEPESCA, 2008).

El impacto en los costos de producción de la sustitución de la harina de pescado por los ensilados en el alimento para tilapias se evaluó teniendo en cuenta el FCA y el costo de las dietas. Los resultados indican que la mejor dieta para producir 1 kg de tilapia fue el ensilado de intestinos (USD \$ 1.16), seguido de la dieta con ensilado de sangre (USD \$ 1.20), en tanto que la dieta Control representó USD \$ 1.64. Al considerar que el costo del alimento en cultivos intensivos representa entre el 30 al 70% del costo total de producción (Gaviria *et al.*, 2020; Hodar *et al.*, 2020), se puede aseverar que las dietas con los ensilados propuestos lograron reducir sustancialmente los costos sin afectar el crecimiento de los peces. En este sentido, Botero (2012) al emplear 30% de núcleo ensilado de vísceras de pollo en dietas para híbridos de cachama obtuvo un ahorro de 51.4%, precisando que mientras mayor es la inclusión menor es el costo de fabricación.

CONCLUSIONES

- Los ensilados con base a residuos de intestinos y sangre de pollo se pueden elaborar de forma artesanal y son estables hasta por 180 días (pH y acidez).
- Las dietas con ensilado cumplieron con los requerimientos nutricionales para tilapia y el análisis físico mostró ventajas en cuanto a la densidad, tiempo de hundimiento y pérdida por lixiviación.
- La ganancia de peso, factor de conversión del alimento (FCA), y relación de eficiencia proteica (PER) indicaron una influencia positiva de las dietas con ensilado en el crecimiento de los alevinos de tilapia y en el aprovechamiento de los nutrientes.
- Es factible la inclusión de estos ensilados, equivalente en volumen al 80% del contenido proteico de harina de pescado, logrando minimizar costos en el orden de 29.26% con ensilado de intestinos y 26.48% con ensilado de sangre, sin afectar los requerimientos nutricionales de la especie.

LITERATURA CITADA

1. **[AOAC] Association of Official Analytical of Chemists. 1990.** Official methods of analysis. USA. Vol 1. 771 p. [Internet]. Disponible en: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
2. **Azra MN, Okomoda VT, Ikhwanuddin M. 2022.** Breeding technology as a tool for sustainable aquaculture production and ecosystem services. *Front Mar Sci* 9: 679529. doi: 10.3389/fmars.2022.-679529
3. **Barriga-Sánchez M, Churacutipa M, Salas A. 2019.** Elaboración de ensilado biológico a partir de residuo crudo de trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) en Puno, Perú. *Ecol Aplicada* 18: 37-44.

4. **Berenz Z. 1997.** Utilización del ensilado de residuos de pescado en pollos. En: Figueroa V, Sánchez M. (ed.) Tratamiento y utilización de residuos de origen animal, pesquero y alimenticio en la alimentación animal. Estudio FAO 134. Producción y sanidad animal. p15-28. [Internet]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/w4132s/w4132s.pdf>
5. **Bhujel RC. 2002.** Nutrición y bajo costo manejo alimentario para tilapia. Panorama Acuícola 7(4). [Internet]. Disponible en: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/_archivos//000000_Especies/000008-Tilapia/071201_Manejo%20Alimentario%20para%20Tilapia%20-%20Nutricion%20y%20bajo%20costo.php
6. **Borges AM, Berthier FIM. 2019.** Criança de tilapias. 3ª ed. Brasilia, Brasil: Coleção Emater-Nº 18. 56 p.
7. **Botero C. 2012.** Aprovechamiento nutricional de núcleos ensilados de vísceras de pollo en híbridos de cachama *Piaractus brachypomus* x *Colossoma macropomun*. Tesis de Maestría. Colombia: Univ. del Tolima. 71 p.
8. **Boyd C, D'Abramo L, Glencross B, Huyben, D, Juarez L, Lockwood G, McNevin A, et al. 2020.** Achieving sustainable aquaculture: historical and current perspectives and future needs and challenges. J World Aquacult Soc 51: 578-633. doi: 10.1111/jwas.12714
9. **Bringas-Alvarado L, Zamorano-Ochoa A, Rojo-Rodríguez JB, González-Félix ML, Pérez-Velázquez M, Cárdenas-López JL, Navarro-García G. 2018.** Evaluación del ensilado fermentado de subproductos de tilapia y su utilización como ingrediente en dietas para bagre de canal. Biotecnia 20: 85-94.
10. **Carvalho GG, Vieira AJ, Mattos C, Silva F, Carvalho B. 2006.** Silagem de resíduo de peixes em dietas para alevinos de tilápia-do-nilo. Rev Bras Zootecn 25: 126-130. doi: 10.1590/S1516-35982006000100016
11. **Cavalcante DH, Silva SR, Pinheiro PD, Akao MMF, Sá MV. 2012.** Single or paired increase of total alkalinity and hardness of water for cultivation of Nile tilapia juveniles, *Oreochromis niloticus*. Acta Scient Technol 34: 177-183. doi: 10.4025/actascitechnol.v34i2.12003
12. **[CENDEPESCA] Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura. 2008.** Manual sobre reproducción y cultivo de tilapia. El Salvador: CENDEPESCA. 68 p.
13. **Chattopadhyay K, Xavier KA. 2021.** Fish silage: A functional waste by-product. Biotica Res Today 3: 216-219.
14. **Chipepe F, Vento-Tielves R, Atkinson J. 2021.** Evaluación de los principales parámetros fisicoquímicos de calidad del agua para la producción de tilapia. Rev Cienc Técnicas Agropecu 30: 12-20.
15. **Copes J, Pellicer K, Del Hoyo G, Romero G. 2006.** Producción de ensilado de pescado en baja escala para uso de emprendimientos artesanales Analecta Vet 26: 5-8.
16. **Craig S. 2017.** Understanding fish nutrition, feeds, and feeding. Virginia Cooperative Extension 420-256. [Internet]. Disponible en: <https://fisheries.tamu.edu/files/2019/01/FST-269.pdf>
17. **Cruz-Suárez L, Ruiz-Díaz P, Cota-Cerecer E, Nieto-López M, Guajardo-Barbosa C, Tapia-Salazar M, Villarreal-Cavazos D, Ricque-Marie D. 2006.** Revisión sobre algunas características físicas y control de calidad de alimentos comerciales para camarón en México. Avances Nutr Acuicola [Internet]. Disponible en: <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/175>
18. **Edwards P, Zhang W, Belton B, Little DC. 2019.** Misunderstandings, myths, and mantras in aquaculture: its contribution to world food supplies has been systematically over reported. Mar Policy 106: 103547. doi: 10.1016/j.marpol.2019.103547

19. **Eid AE, Ahmed RA, Baghdady ES, Elfeky A, El_Naby AS. 2019.** Dietary lipids requirement for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae. Egypt J Nutr Feeds 22: 407-413. doi: 10.21608/ejnf.2019.79439
20. **Eissa AE, Yusuf MS, Younis NA, Fekry M, Dessouki AA, Ismail GA, Ford H, Abdelatty AM. 2021.** Effect of poultry offal silage with or without betaine supplementation on growth performance, intestinal morphometry, spleen histomorphology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. J Anim Physiol Anim Nutr 106: 1189-1195. doi: 10.1111/jpn.13655
21. **[FEDNA] Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 2019.** Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. 4ª ed. Madrid, España: FEDNA. 604 p.
22. **[FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2022.** Reporte de la conferencia mundial sobre acuicultura Milenio +20 – Acuicultura para la alimentación y el desarrollo sostenible. Shanghái, China: FAO - Informe de Pesca y Acuicultura N.º 1376.
23. **Fernández A. 2021.** Chemical and biological ensilates. an alternative for the integral and sustainable use of fishing waste in Argentina. Marine Fishery Sci 34: 235-262. doi: 10.47193/mafis.34220-21010603
24. **Fernández A, Tabera A, Agüeria D, Manca E. 2013.** Obtención, caracterización microbiológica y físicoquímica de ensilado biológico de anchoita (*Engraulis anchoita*). REDVET 14(2). [Internet]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63631892017>
25. **Florida R, Reategui D. 2019.** Compost a base de plumas de pollos (*Gallus domesticus*). Livestock Res Rural Develop 31(1). [Internet]. Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd31/1/nelin31011.html>
26. **Florida R. 2019.** Plumaz: implicancia ambiental y uso en la industria agropecuaria. Rev Investig Altoandín 21: 225-237.
27. **[FONDEPES] Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero. 2004.** Manual de cultivo de tilapia - Programa de transferencia de tecnología en acuicultura para pescadores artesanales y comunidades campesinas. Acuerdo de colaboración AECI-PADESPA-FONDEPES. Lima, Perú. 112 p. [Internet]. Disponible en: https://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/manual_tilapia.pdf
28. **Garcés YJ, Perea C, Vivas NJ y Hoyos JL. 2021.** Obtención y evaluación de concentrado proteico hidrolizado de residuos animales como alternativa de alimentación en *Piaractus brachipomus* (Cuvier 1818). Rev Med Vet 68: 223-235. doi: 10.15446/rfmvz.v68n3.99930
29. **Gaviria YS, Camaño JA, Zapata. 2020.** Propiedades físicas de alimento para tilapia roja (*Oreochromis* spp) elaborado con ensilado químico y secado en microondas. Info Tecnol 31:105-116. doi: 10.4067/S0718-07642020000600105
30. **Gómez GN, Ortiz M, Perea C, López FJ. 2014.** Evaluación del ensilaje de vísceras de tilapia roja (*Oreochromis* spp) en alimentación de pollos de engorde. Biotecnol Sector Agropecu Agroind 12: 106-114.
31. **Hodar AR, Vasava RJ, Mahavadiya DR, Joshi NH. 2020.** Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: a review. J Exp Zoology India 23:13-21.
32. **Holguín M, Caicedo L, Veloza L. 2009.** Estabilidad de almacenamiento de ensilados biológicos a partir de residuos de pescado inoculados con bacterias ácido-lácticas. Rev Med Vet 56: 95-104.
33. **Hoyos JL, Garcés YJ, Perea C. 2011.** Evaluación de ensilaje biológico de residuos de pescado en alimentación de tilapia roja (*Oreochromis* spp). Biotecnol Sector Agropecu Agroind 9: 60-68.

34. **Hoyos JL, Villada HS, Fernández A, Ortega-Toro R. 2017.** Parámetros de calidad y metodologías para determinar las propiedades físicas de alimentos extruidos para peces. *Info Tecnol* 28: 101-114.
35. **Kokou F, Fountoulaki E. 2018.** Aquaculture waste production associated with antinutrient presence in common fish feed plant ingredients. *Aquaculture* 495: 295-310. doi: 10.1016/j.aquaculture.2018.06.003
36. **Kubitza F. 2017.** Piscicultura em Rondônia: a força de um setor organizado. *Panorama da Aquicultura* [Internet]. Disponible en: <https://panoramadaaquicultura.com.br/piscicultura-em-rondonia-a-forca-de-um-setor-organizado/>
37. **Lessi E. 1997.** Ensilajes de pescado en Brasil para la alimentación animal. En: Figueroa V, Sánchez M, eds. *Tratamiento y utilización de residuos de origen animal, pesquero y alimenticio en la alimentación animal*. FAO 134. p 29-40.
38. **Madage S, Medis W, Sultanbawa Y. 2015.** Fish silage as replacement of fishmeal in red tilapia feeds. *J Appl Aquac* 27: 95-106. doi: 10.1080/10454438.2015.1005483
39. **Martínez R. 2003.** Producción de un ensilado biológico a partir de vísceras de pescado de la especie *Prochilodus mariae* (coporo), *Pseudoplatystoma fasciatum* (bague rayado) y *Phractocephalus hemiliopterus* (cajaro). Tesis de Ingeniero Ambiental. Colombia: Univ. Nacional de Colombia. 83 p.
40. **Mata DA, Souza T, Macêdo C, Amaral R, Apolinário MO. 2018.** Limnologia e sua correlação com a produtividade da Tilápia *Oreochromis niloticus*. *Rev Agropecu Cient Semiárido* 14: 254-265. doi: 10.30969/acsa.v14i3.1053
41. **Mjoun K, Rosentrater K, Brown M L. 2010.** Tilapia: Environmental Biology and Nutritional Requirements. Fact Sheets. Paper 164. [Internet]. Disponible en: http://openprairie.sdstate.edu/extension_fact/164
42. **Menchú MT, Méndez H. 2012.** Tabla de composición de alimentos de Centroamérica. 2ª ed. Instituto de Nutrición de Centro Amperica y Panamá. Guatemala: INCAP /OPS. 128 p.
43. **[MIDAGRI] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. 2022.** Boletín estadístico mensual de la producción y comercialización de productos avícolas. Lima, Perú: MIAGRI. [Internet]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/2826318-boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras-2022>
44. **[NRC] National Research Council. 2011.** Nutrient Requirements of fish and shrimp. National Academy of Sciences, Washington, D.C.
45. **Parra JD, Velásquez OH, Pineda HR. 2021.** Parámetros zootécnicos de tilapia roja *Oreochromis* sp con densidad diferencial y aireación constante. *Rev Invest Agroprod Sustentable* 5: 39-47. doi: 10.25127/aps.20213.817
46. **Perea Román C, Hoyos JL, Garcés, Muñoz L, Gómez J. 2017.** Evaluación de procesos para obtener ensilaje de residuos piscícolas para alimentación animal. *Ciencia en Desarrollo* 8: 39-50.
47. **Perea-Román CP, Garcés-Caicedo YJ, Muñoz-Arboleda LS, Hoyos-Concha JL, Gómez-Peñaranda JA. 2018.** Valoración económica del uso de ensilaje de residuos piscícolas en la alimentación de *Oreochromis* spp. *Biotecnol Sector Agropecu Agroind* 16: 43-51. doi: 10.186-84/BSAA(16)43-51
48. **Pereira AC, Silva RF. 2012.** Produção de tilapias. Manual Técnico. Niterói, RJ, Brasil: Programa Rio Rural 52 p.
49. **Rachmawati D, Samidjan I. 2019.** The effects of chicken feather silage substitution for fish meal in the diet on growth of saline tilapia fingerlings (*Oreochromis niloticus*). In: IOP Conf. Ser Earth Environ Sci 246.
50. **Reyes M, Gómez-Sánchez I, Espinoza C. 2017.** Tablas peruanas de composición de alimentos. 10º ed. Lima, Perú: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud. 142 p.

51. **Seliger C, Haslauer M, Unfer G, Schmutz, S. 2021.** AquaZone: an integrative tool for sustainable fish farm zoning. *Sustainability* 13: 1470. doi: 10.3390/su13031470
52. **Spanopoulos-Hernandez M, Ponce-Palafox JT, Barba-Quintero G, Ruelas-Inzunza JR, Tiznado-Contreras MR, Hernández-González C, Shirai, K. 2010.** Producción de ensilados biológicos a partir de desechos de pescado, del ahumado de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y del fileteado de tilapia (*Oreochromis* sp), para la alimentación de especies acuáticas. *Rev Mex Ing Quim* 9: 167-178.
53. **Tacon A. 1989.** Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de Capacitación. FAO - Documento de Campo N° 4. 129 p. [Internet]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/AB492S/AB492S00.htm>
54. **Toledo J, Llanes J. 2006.** Estudio comparativo de los residuos de pescado ensilados por vías bioquímica y biológica. *Revista AquaTIC* 25: 28-33.
55. **Toppe J, Olsen R, Peñarubia O, James D. 2018.** Producción y utilización del ensilado de pescado. Manual sobre cómo convertir los desperdicios del pescado en ganancias y en un ingrediente valioso de la ración o como fertilizante. Roma: FAO. 28 p.
56. **Ullah-Khan K, Tellechea-Rodrigues A, Menegasso-Mansano CIF, Queiroz D, Kazue-Sakomura N, Romaneli R, Torres ThM, et al. 2019.** Dietary protein quality and proper protein to energy ratios: a bioeconomic approach in aquaculture feeding practices. *Latin Am J Aqua Res* 47: 232-239. doi: 10.3856/vol47-issue2-fulltext-3
57. **Yashni G, AlGheethi A, Mohamed R, Shanmugan V, Nayan N, Bakar J, Salleh S. 2020.** Physical properties of fish feed containing household waste as an alternative substitute in newly developed soft-dry fish feed for red tilapia. *Mater Today-Proc* 31: 65-68. doi: 10.1016/j.matpr.2020.01.191
58. **Zettl D, Cree D, Soleimani M, Tabil L. 2019.** Mechanical properties of aquaculture feed pellets using plant-based proteins. *Cogent Food Agric* 5: 1656917. doi: 10.1080/23311932.2019.1656917