



Composición química de intestinos de pollos pre-secados con harinas vegetales: proteína alternativa para la acuicultura

Aroldo Botello León^{1*} ; Kirenia Pérez Corría¹ ; Yuniel Méndez-Martínez² ;
Marcos Ortega Ojeda¹ ; Yordan Martínez Aguilar³ ; Yoel Rodríguez Valera⁴ ;
Mario Cisneros López⁵ ; Charles Morán Montaña¹ .

¹Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Zootecnia, Laboratorio de Acuicultura, Esmeraldas, Ecuador.

²Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

³Escuela Agrícola Panamericana, Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria, Valle de Yegua, San Antonio de Oriente 96, Honduras.

⁴Universidad de Granma, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Centro de Estudios de Producción Animal, Bayamo, Granma, Cuba.

⁵Ministerio de la Agricultura, Coordinación de Proyectos Internacionales, Habana, Cuba.

*Correspondence: aroldo.botello@utelvt.edu.ec

Recibido: Septiembre 2022; Aceptado: Febrero 2023; Publicado: Mayo 2023.

RESUMEN

Objetivo. Caracterizar la composición química de intestinos de pollos procesados con harinas vegetales (HV), como fuente alternativa de proteína para la acuicultura. **Materiales y métodos.** Los intestinos de pollos, molidos, cocidos y desgrasados (IPMCD), se mezclaron de forma individual con harinas vegetales (HV): polvo de arroz (PA), salvado de trigo (ST), harinas de palmiste (HPa), maíz (HM) y soya (HS), en proporciones (p:p): 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 y 40:60 (IPMCD:HV), con 20 tratamientos y diseño completamente aleatorizado. Se evaluó materia seca, proteína cruda, lípidos, fibra, cenizas, energía bruta (MJ kg⁻¹) y costos. Se aplicó análisis de componentes principales (PCA) para verificar la interacción entre proporciones. **Resultados.** Las mayores proporciones con IPMCD, incrementaron el contenido de proteína y lípidos (p<0.05) y redujeron el costo (p<0.05). Las mezclas con 50:50 y 40:60% (IPMCD:HV) mostraron mayores niveles de fibra y cenizas (p<0.05). Además, el empleo de HS en las mezclas, incrementó el porcentaje de proteína, energía y costos (p<0.05), efecto contrario con HPa que mostró los menores costos (p<0.05). **Conclusiones.** Las proporciones de IPMCD:HV alcanzaron altos niveles de materia seca, que facilitó el proceso de deshidratación. El contenido nutricional y costos de las mezclas, las acredita como posibles alimentos acuícolas, para reemplazar la proteína en las dietas, según la especie, fin productivo y requerimientos del mercado. El PCA con matriz de covarianza, sugiere que los tratamientos IPMCD:HS (80:20), IPMCD:HS (70:30) y IPMCD:HS (60:40) tienen mejores características nutricionales, aunque, IPMCD:HPa (80:20) mostró altos niveles de proteína y fue la más económica.

Palabras clave: Alimento no convencional; fuente de proteína; nutrición (*Fuente: CAB*).

Como citar (Vancouver).

Botello-León A, Pérez-Corría K, Méndez-Martínez Y, Ortega-Ojeda M, Martínez-Aguilar Y, Rodríguez-Valera Y, et al. Composición química de intestinos de pollos pre-secados con harinas vegetales: proteína alternativa para la acuicultura. Rev MVZ Córdoba. 2023; 28(2):e3058. <https://doi.org/10.21897/rmvz.3058>



©El (los) autor (es) 2023. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

ABSTRACT

Objective. Characterizing the chemical composition of pre-dried chicken intestines with vegetable meal (VM), as an alternative source of protein for aquaculture. **Materials and methods.** Chicken intestines, grounded, cooked and defatted (CIGCD), were mixed individually with VM: rice powder (RP), wheat bran (WB), palm kernel cake (PKC), cornmeal (CM) and soybean meal (SBM), in proportions (w:w): 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 and 40:60 (CIGCD:VM), for a total of 20 experimental treatments, according to a completely randomized design. Dry matter, crude protein, lipid, fiber, ashes, gross energy (MJ kg⁻¹) and costs were evaluated. The principal component analysis (PCA) was applied to verify the interaction between proportions. **Results.** The proportions with higher levels of CIGCD, protein and lipid content increased ($p < 0.05$), with reduced cost ($p < 0.05$). Those with higher values of VM, fiber and ash showed high values ($p < 0.05$). The mixtures with SBM, high figures of protein, energy and costs ($p < 0.05$) and with PKC the lowest costs ($p < 0.05$). **Conclusions.** The proportions of CIGCD:VM reached high levels of dry matter, which facilitated the dehydration process. The content of protein, lipid, energy and costs, obtained in the different mixtures, accredits them as possible aquaculture feed, to replace conventional protein in diets, according to the species, productive purpose and market requirements. The PCA with covariance matrix suggests that the mixtures CIGCD:VM, the treatments CIGCD:SBM (80:20), CIGCD:SBM (70:30) and CIGCD:SBM (60:40) have better nutritional characteristics, although, the CIGCD:PKC (80:20) ratio showed high protein levels and was the most economical.

Keywords: Nutrition; protein source; unconventional feed (*Source: CAB*).

INTRODUCCIÓN

Actualmente, a nivel mundial las especies acuícolas más producidas son los peces (ciprínidos y tilapias) y los camarones peneidos (1), son organismos poiquilotérmicos que se caracterizan por no regular su temperatura corporal, característica que los hace energéticamente eficientes, pero con altos requerimientos proteicos (25-57%) dependiendo de la especie y etapa de desarrollo (2,3,4). El mayor desafío del sector es la disponibilidad sostenida de materias primas para la producción de alimentos de buena calidad y a bajo precio (5).

Los alimentos pueden representar hasta el 80% de los costos de producción en la acuicultura, por lo que es necesario hacer un uso eficiente de los residuos de origen animal, que no compitan con la nutrición humana y contribuyan a la preservación del medio ambiente (1,3,4). Es necesario buscar alimentos alternativos a bajo costo para la acuicultura, para reemplazar las materias primas convencionales como las harinas de pescado, soya y maíz, que garanticen una producción eficiente y de calidad para el ser humano, con beneficios económicos y cuidado del medio ambiente (5,6).

Actualmente, existe una alta preocupación por el manejo eficiente de los recursos naturales y la mitigación de los impactos ambientales

causados por los desechos orgánicos, sólidos animales, efluentes líquidos y gaseosos. Es conocido que los residuos asociados a la etapa final de la cadena alimentaria tienen un mayor impacto ambiental y costo económico, con una alta acumulación de residuos y emisiones asociadas. Por ello, es necesario aprovechar el desperdicio de alimentos y una alternativa es la transformación en alimento animal (7).

En este sentido, la producción de pollos de engorde es la industria zootécnica de mayor crecimiento en el mundo, por lo que los desechos derivados del sacrificio superan los 1,7 millones de toneladas métricas anuales, constituyendo un problema ambiental (8,9). Los desechos de la Industria Avícola (DIA) se componen de desechos no comestibles, huesos, sangre, cabezas, tejido magro y grasa abdominal. La composición química del DIA varía según la especie, el manejo de la canal y la tecnología utilizada en su procesamiento. Algunos autores han reportado proteína cruda (PC) de 64%, lisina 5.2%, metionina 1.8%, treonina 3.6%, triptófano 0.8%, isoleucina 3.9%, valina 4.8%, arginina 6.5%, extracto etéreo 14.2%, ácido linoleico 3.5%, ácido linolénico 0.4%, ceniza 6.1%, calcio 1.6% y fósforo 0.72% (10,11,12).

Sin embargo, el DIA se deteriora rápidamente debido al alto contenido de humedad (70-80%), la heterogeneidad del material y la presencia de

enterobacterias que exacerban la contaminación (13,14). Por otro lado, si bien existe tecnología para convertir estos residuos en harina de carne y hueso, luego de un proceso de secado y descontaminación, el proceso tiene un costo elevado, por lo que es necesario aplicar una tecnología que permita el secado y su inclusión directa en dietas semilíquidas en animales, con menor consumo energético y que facilite la manipulación del producto final. Pérez et al (15) demostraron que la mezcla de lombriz de tierra (LTI) (20% materia seca, MS) con harinas vegetales (HV) (>90% MS), incrementó el contenido de MS entre 35-48%, lo cual dependerá de las materias primas y proporciones utilizadas. Las HV fueron el soporte para facilitar la adsorción de humedad de las LTI, lo que facilitó el manejo de las mezclas y redujo los costos (15).

La deshidratación de alimentos a través de hornos, al sol, liofilizados, microondas y otros métodos, permite alargar la vida útil del producto, reduce el contenido de agua, protege de reacciones de degradación como la enzimática y deterioro por microorganismos durante el almacenamiento (16,17). Esta investigación busca caracterizar la composición química de intestinos de pollos de engorde, presecados con harinas vegetales como fuente alternativa de proteína para la alimentación de especies acuícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Acuicultura, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, ubicado en la Estación Experimental Mutile, 0° 53' de longitud Norte, 79° 53' de latitud Oeste, a una altura de 20 metros sobre el nivel del mar, cantón y provincia de Esmeraldas, Ecuador.

Preparación de intestinos de pollo. Se utilizaron intestinos enteros de pollos machos de engorde Cobb 500[®] aparentemente sanos. Los pollos fueron alimentados considerando los requerimientos nutricionales descritos para la línea genética en estudio, con períodos de alimentación: inicio (0-8 días, 22% PC), crecimiento (9-18 días, 20% PC), finalización 1 (19-28 días, 18-19% PC) y finalización 2 (29-40

días, 18% PC). Las aves tuvieron una densidad de 12 aves/m² y fueron sacrificadas en la Planta Avícola, Ruta Spondylus, Esmeraldas, Ecuador. Los pollos de engorde se mantuvieron en ayuno durante 12 horas antes del sacrificio, a través de la vena yugular, con previo aturdimiento eléctrico, luego se recolectaron muestras de intestino (intestino delgado hasta la cloaca) (18,19). Los intestinos se trocearon manualmente y se molieron en un molino de carne (Hakka-8 Brothers, USA) con diámetro de salida de 2 mm, luego se hirvieron a 100°C durante 5 min. Posteriormente, cuando alcanzaron temperatura ambiente, se realizó la extracción manual de los residuos grasos, que constituyeron el 9.3% del peso total de los intestinos cocinados. Finalmente se obtuvo los intestinos de pollos, molidos, cocidos y desgrasados (IPMCD), de color pardo, semi-pastoso, con 74.86% de humedad, para ser almacenado a -5°C.

Elaboración de las mezclas. Los IPMCD se mezclaron manual e individualmente con las harinas vegetales (HV): polvo de arroz (PA), harina de palmiste (HPa) (*Elaeis guineensis*), harina de maíz (HM), salvado de trigo (ST) y harina de soya (HS), según a las proporciones (p:p): 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 y 40:60 (IPMCD:HV, respectivamente) (15). Los ingredientes se pesaron con una balanza digital (FX-2000i A&D Weighing, 2200±0.01 g). Todas las combinaciones se secaron individualmente a 80°C durante 24 horas (20), en un horno de convección (Binder, ED 56, Alemania), luego se molieron en un molino de martillos con tamiz (250 µm).

Caracterización química de ingredientes y mezclas de alimentos. La caracterización química de ingredientes y mezclas de alimentos se realizó por triplicado, según los procedimientos de la AOAC (21). Se determinó el contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC), cenizas y extracto libre de nitrógeno (ELN) por diferencia. La energía bruta (EB) se calculó a partir de la composición nutricional de las diferentes mezclas, utilizando los valores teóricos según Tacon (22): 5.6, 9.5 y 4.1 Kcal g⁻¹ de proteínas, lípidos y carbohidratos, respectivamente. La tabla 1 muestra la composición de nutrientes de los diferentes alimentos que se utilizaron en la elaboración de las proporciones.

Tabla 1. Composición química (% base húmeda) y precios (USD kg⁻¹) de los ingredientes usados.

Nutrientes y precios	IPMCD	Harina de palmiste	Polvo de arroz	Harina de maíz	Harina de soya	Salvado de trigo
Materia seca	25.14	92.12	92.21	90.60	90.72	90.53
Proteína cruda	14.93	14.09	9.89	8.63	46.09	13.24
Extracto etéreo	4.60	5.90	7.19	4.08	2.05	3.60
Fibra cruda	0.33	21.56	7.58	2.75	5.08	10.06
Ceniza	1.32	4.42	8.48	1.87	6.26	5.63
Extracto libre de nitrógeno	3.96	46.15	59.06	73.28	31.24	58.00
Precio (USD kg ⁻¹)	0.14	0.21	0.31	0.44	0,64	0.25

Intestinos de pollos, molidos, cocidos y desgrasados (IPMCD).

Análisis Económico. Para determinar el costo (USD/kg) de las proporciones, se tomó el precio (USD/kg) de las materias primas al momento del estudio, la cantidad de alimento utilizado, mano de obra, costos de energía y otros gastos según Botello et al (23).

Diseño experimental: Se aplicó un diseño completamente al azar con veinte tratamientos y tres repeticiones/tratamiento (5,15). Los tratamientos experimentales consistieron en las mezclas de IPMCD y las harinas vegetales (HV), las cuales se describen a continuación: IPMCD/harina de soya (80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60), IPMCD/harina de palmiste (80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60), IPMCD/salvado de trigo (80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60) y IPMCD/harina de maíz (80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60), respectivamente.

Análisis estadístico. Los datos de la caracterización nutricional y los costos de las mezclas se procesaron mediante análisis de varianza de una vía (ANOVA, $p < 0.05$). Cuando se encontraron diferencias, se aplicó la prueba de Duncan entre las clases correspondientes con significancia para $p \leq 0.05$. Además, se aplicó el Análisis de Componentes Principales (PCA) utilizando la matriz de covarianza para explorar las diferencias en la composición química (materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, ceniza y energía bruta) y los costos entre los veinte tratamientos basados en los diferentes mezclas IPMCD:HV para examinar la relación entre toda la información disponible (24). Los análisis se realizaron con el software estadístico IBM SPSS v 23 (2014).

RESULTADOS

El presente trabajo muestra que los tratamientos alcanzaron similar aporte de materia seca ($p > 0.05$) (Tabla 2), con efecto favorable de la deshidratación de IPMCD:HV. En cuanto a los niveles de PC en las mezclas, los valores más altos de PC (58.67%) se encontraron en el tratamiento con la relación IPMCD:HS (80:20) con diferencias significativas con los restantes tratamientos ($p < 0.05$), mientras que los valores más bajos (15.61%) fueron para IPMCD:HM (40:60) (Tabla 2). En cuanto a los niveles de EE, los valores más altos (10.96%) se encontraron en el tratamiento con la relación IPMCD:PA (80:20) con cifras notables en relación a los demás tratamientos, mientras que los valores más bajos (4.58%) se identificaron en IPMCD:HS (40:60). Para la variable respuesta FC, los valores más altos (18.04%) se encontraron en el tratamiento con la relación IPMCD:HPa (40:60; $p < 0.05$) y con los valores más bajos (1.93%) para IPMCD:HM (80:20).

En cuanto a la variable ceniza, los niveles más altos (8.41 y 8.62%) se encontraron para los tratamientos IPMCD:PA (40:60) y GIGCD:PA (50:50), respectivamente, sin cambios notables ($p > 0.05$) entre ellos, pero si con respecto a los demás tratamientos ($p < 0.05$), las cifras más bajas (2.02% y 2.31%) correspondieron a los tratamientos IPMCD:HS (80:20) y IPMCD:HS (70:30), respectivamente. El aporte energético estuvo influenciado por las diferentes mezclas de ingredientes, los valores más altos (19.58% y 20.00%) fueron para los tratamientos IPMCD:HS (80:20) y IPMCD:HS (70:30), respectivamente, con diferencias estadísticas con los otros tratamientos, y los niveles más bajos (15.36%) para el tratamiento IPMCD:HPa (40:60), respectivamente.

Tabla 2. Composición química (% base húmeda) de la mezcla de IPMCD con las harinas vegetales.

Alimento Mezclas	Proporciones	MS	PC	EE	FC	Ceniza	EB
IPMCD: Harina de soya	80:20	93.44	58.67 ^a	8.63 ^{ef}	3.52 ^p	6.16 ^h	20.00 ^a
	70:30	93.54	56.23 ^b	7.72 ⁱ	3.85 ^o	6.30 ^{gh}	19.58 ^{ab}
	60:40	94.46	54.07 ^c	6.68 ^j	4.16 ^o	6.61 ^{fg}	19.26 ^{bc}
	50:50	95.18	51.86 ^d	5.52 ^l	4.49 ⁿ	6.88 ^{df}	18.88 ^{cd}
	40:60	95.21	49.67 ^e	4.58 ^m	4.75 ^{mn}	7.10 ^{de}	18.45 ^{defg}
IPMCD: Harina de palmiste	80:20	94.82	31.08 ^f	9.24 ^d	12.72 ^e	3.88 ^m	17.46 ^{kl}
	70:30	94.74	27.86 ^{gh}	9.13 ^d	14.04 ^d	4.10 ^m	16.95 ^{lmn}
	60:40	95.35	25.53 ⁱ	8.95 ^{de}	15.43 ^c	4.49 ^l	16.56 ^{mn}
	50:50	95.73	22.48 ^k	8.13 ^{gh}	16.95 ^b	4.78 ^{kl}	15.94 ^o
	40:60	95.50	19.92 ^l	7.42 ⁱ	18.04 ^a	4.99 ^{jk}	15.36 ^p
IPMCD: Salvado de trigo	80:20	94.85	30.80 ^f	9.72 ^c	5.41 ^{kl}	5.20 ^{ij}	18.58 ^{def}
	70:30	95.01	27.57 ^h	8.49 ^{fg}	6.59 ⁱ	5.32 ^{ij}	17.90 ^{ghij}
	60:40	95.08	25.08 ⁱ	7.44 ⁱ	7.48 ^h	5.40 ⁱ	17.36 ^{kl}
	50:50	95.24	22.12 ^k	6.51 ^j	8.16 ^g	5.47 ⁱ	16.86 ^{lmn}
	40:60	95.16	19.64 ^{lm}	5.62 ^{kl}	8.70 ^f	5.52 ⁱ	16.39 ^{no}
IPMCD: Harina de maíz	80:20	93.39	27.81 ^{gh}	9.82 ^c	1.93 ^r	2.02 ^o	19.31 ^{bc}
	70:30	93.53	24.37 ^j	8.53 ^{fg}	2.14 ^{qr}	2.31 ^o	18.74 ^{cde}
	60:40	94.86	21.97 ^k	7.77 ^{hi}	2.29 ^q	2.73 ⁿ	18.55 ^{def}
	50:50	95.07	18.49 ⁿ	6.81 ^j	2.41 ^q	2.86 ⁿ	18.10 ^{fghi}
	40:60	94.89	15.61 ^p	6.00 ^k	2.49 ^q	2.91 ⁿ	17.69 ^{hij}
IPMCD: Polvo de arroz	80:20	93.63	28.23 ^g	10.96 ^a	4.84 ^m	7.33 ^d	18.22 ^{efgh}
	70:30	93.87	24.93 ^{ij}	10.47 ^b	5.28 ^l	7.86 ^c	17.78 ^{hij}
	60:40	94.94	22.57 ^k	9.85 ^c	5.65 ^k	8.13 ^{bc}	17.57 ^{ijk}
	50:50	95.08	19.21 ^m	9.13 ^d	6.12 ^j	8.41 ^{ab}	17.09 ^{klm}
	40:60	95.25	16.43 ^o	8.49 ^{fg}	6.45 ⁱ	8.62 ^a	16.70 ^{mn}
	EE ±	0.171	1.502	0.191	0.545	0.224	0.137
	P-valor	0.938	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Las letras difieren en la misma columna ($p < 0.05$). $n = 3$. EE ±: Error estándar. EB: Energía bruta (MJ kg^{-1}). IPMCD: Intestinos de pollos, molidos, cocidos y desgrasados.

De las materias primas utilizadas en esta investigación, los IPMCD presentó el menor costo (Tabla 1), coincidiendo con una alta disponibilidad en la región. Además, una mayor proporción de IPMCD en las mezclas, reduce el costo de los alimentos ($p < 0.05$), el cual osciló entre 0.35-0.82 USD kg^{-1} , dependiendo de la mezcla y las materias primas utilizadas. Las proporciones de menor costo se elaboraron con harina de palmiste (Tabla 3), que es una de las harinas vegetales de menor precio (Tabla 1) y de alta accesibilidad en la región y favorece el proceso de deshidratación del IPMCD.

En la figura 1 se muestra el PCA, en grupos de veinte tratamientos a partir de proporciones de IPMCD con las HV, en base a las características químicas y los costos que más se destacan. Las

componentes principales CP1 (43.23%) y CP2 (19.07%) en conjunto explicaron el 62,30% de la varianza total entre los indicadores investigados: materia seca (%), proteína cruda (%), extracto etéreo (%), fibra cruda (%), cenizas (%), energía bruta (MJ kg^{-1}) y costos (USD kg^{-1}). El primer componente (PC1), separó la proteína cruda, la energía bruta y el costo, del resto con una alta carga positiva. La fibra cruda se separó del resto, con alta carga negativa (Tabla 4). Los alimentos contenidos en este componente presentaron los valores más altos de las características mencionadas. En el segundo componente (CP2), el extracto etéreo se separó del resto, con alta carga negativa (Tabla 4). Se observa que las mezclas de IPMCD con harinas de soya (A-E) tienden a tener carga positiva en CP1, lo que muestra un alto nivel

de proteína cruda, energía bruta (MJ kg⁻¹) y costos (USD kg⁻¹). Las proporciones IPMCD:ST (T-W) y CIGCD:HM (F-G) muestran un aumento en el contenido de extracto etéreo, y se ubican más en el PC2 (Figura 1). A partir del PCA, fue posible reducir la dimensionalidad en la que se expresa el conjunto original de los tratamientos, mostrando que los tratamientos IPMCD:HS (80:20), IPMCD:HS (70:30) y IPMCD:HS (60:40) muestran mejores características con base a las variables analizadas.

Tabla 3. Costos (USD kg⁻¹) de las proporciones de IPMCD con las harinas vegetales.

Mezclas de alimentos	Proporciones	Costos (USD kg ⁻¹)
IPMCD: Harina de palmiste	80:20	0.346 ^x
	70:30	0.357 ^w
	60:40	0.367 ^u
	50:50	0.380 ^t
	40:60	0.388 ^s
IPMCD: Salvado de trigo	80:20	0.381 ^t
	70:30	0.390 ^s
	60:40	0.401 ^r
	50:50	0.409 ^q
	40:60	0.419 ^p
IPMCD: Polvo de arroz	80:20	0.428 ^o
	70:30	0.438 ⁿ
	60:40	0.447 ^m
	50:50	0.455 ^l
	40:60	0.466 ^k
IPMCD: Harina de maíz	80:20	0.490 ^j
	70:30	0.507 ⁱ
	60:40	0.525 ^h
	50:50	0.545 ^g
	40:60	0.560 ^f
IPMCD: Harina de soya	80:20	0.745 ^e
	70:30	0.764 ^d
	60:40	0.784 ^c
	50:50	0.802 ^b
	40:60	0.821 ^a
	EE ±	0.014
	P-valor	0.0001

Las letras difieren en la misma columna (p<0.05). n=5. EE ±: Error estándar. IPMCD: Intestinos de pollos, molidos, cocidos y desgrasados.

Tabla 4. Resumen de la matriz de componentes de las distintas proporciones de IPMCD:HV.

Variables	Componentes	
	1	2
Materia seca (%)	-0.28	0.58
Proteína cruda (%)	0.83	0.18
Extracto etéreo (%)	-0.30	-0.75
Fibra cruda (%)	-0.73	0.36
Ceniza (%)	0.14	0.29
Energía bruta (MJ kg ⁻¹)	0.87	-0.31
Costos (USD kg ⁻¹)	0.93	0.31
Varianza explicada, %	43.23	19.07
Varianza acumulada, %	43.23	62.30

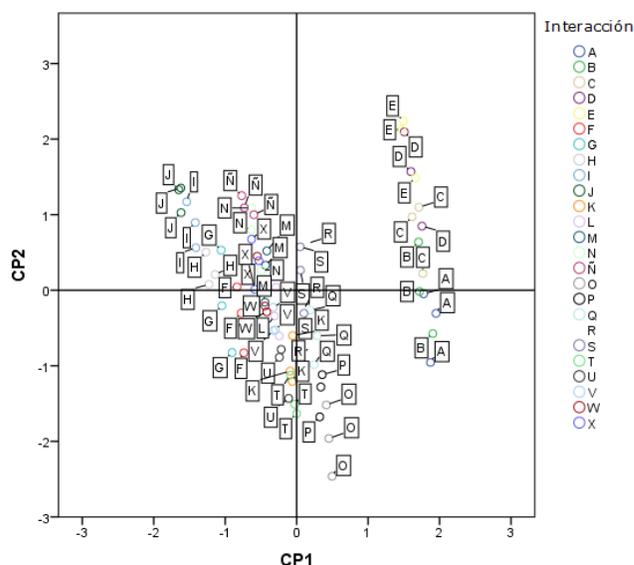


Figura 1. Análisis de componentes principales (CP1: proteína cruda, fibra cruda, energía bruta y costos, CP2: extracto etéreo) de las diferentes mezclas de intestinos de pollos, molidos, cocidos y desgrasados (IPMCD) con las harinas vegetales (HV): polvo de arroz (PA), harina de palmiste (HPa), harina de maíz (HM), salvado de trigo (ST) y harina de soya (HS), según las proporciones: 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 y 40:60 (IPMCD:HV, respectivamente). IPMCD-HS, 80:20 (A), IPMCD-HS, 70:30 (B), IPMCD-HS, 60:40 (C), IPMCD-HS, 50:50 (D), IPMCD-HS, 40:60 (E), IPMCD-HM, 80:20 (F), IPMCD-HM, 70:30 (G), IPMCD-HM, 60:40 (H), IPMCD-HM, 50:50 (I), IPMCD-HM, 40:60 (J), IPMCD-PA, 80:20 (K), IPMCD-PA, 70:30 (L), IPMCD-PA, 60:40 (M), IPMCD-PA, 50:50 (N), IPMCD-PA, 40:60 (Ñ), IPMCD-HPa, 80:20 (O), IPMCD-HPa, 70:30 (P), IPMCD-HPa, 60:40 (Q), IPMCD-HPa, 50:50 (R), IPMCD-HPa, 40:60 (S), IPMCD-ST, 80:20 (T), IPMCD-ST, 70:30 (U), IPMCD-ST, 60:40 (V), IPMCD-ST, 50:50 (W), IPMCD-ST, 40:60 (X).

DISCUSIÓN

El presente trabajo demuestra que la combinación de IPMCD (25% materia seca) con diferentes harinas vegetales (>90% MS), es una metodología viable para reducir la humedad y mejorar la composición nutricional de las proporciones finales, para ser utilizada en la alimentación de especies de acuicultura. Se destacan los IPMCD, que muestran cifras en base húmeda de proteína cruda (14.93%) y extracto etéreo (4.60%) (Tabla 1), además, de alto contenido de aminoácidos y ácidos grasos (10,12), que justifica su uso en la dieta de peces y camarones, que podría sustituir parcialmente las harinas de pescado y soya, dependiendo de la especie, etapa de desarrollo y requerimientos nutricionales, además, de reducir los costos de alimentación y dar una salida productiva a los intestinos generados en la Industria Avícola, con reducción del impacto ambiental (11,12).

El proceso de secado de los IPMCD es un factor crítico porque las proteínas se desnaturalizan con el calor. Se conoce que el secado de los alimentos influye en la calidad de las proteínas, provocando su desnaturalización por el calor; aunque la estructura primaria no se interrumpe, las estructuras secundarias a las cuaternarias pueden verse afectadas, con un posible impacto en la digestibilidad de los nutrientes (25,26,27). En el presente trabajo se demuestra que la mezcla de IPMCD con diferentes fuentes vegetales facilita la deshidratación, sin pérdida de proteína soluble, ni deterioro de la calidad proteica de los IPMCD. En este sentido, encontramos varios estudios que utilizan harinas vegetales para facilitar la deshidratación de desechos animales semilíquidos. Algunos autores utilizan salvado de trigo, polvo de arroz, harina de maíz y harina de soya, aumentando la materia seca (>90%) de diferentes residuos animales, lo que facilita el secado, mejora la composición química y se obtiene una fuente alternativa de proteína (15,23,28,29).

La harina de soya (HS) es considerada la fuente de proteína vegetal más importante en la nutrición acuícola, con alto contenido de lisina y triptófano (30,31). La combinación de HS con IPMCD (Tabla 2) mostró niveles elevados ($p < 0.05$) de PC (50-59%), lo que podría resultar en un balance adecuado de aminoácidos para la dieta animal (15). A su vez, las mezclas de IPMCD con harina de maíz (HM), presentaron los niveles más bajos ($p < 0.05$) de PC (16-28%), sin

embargo, fueron las de mayor valor energético y costos ($p < 0.05$), solo superada por la harina de soya + IPMCD. Pérez et al (15) al mezclar individualmente lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) con polvo de arroz, harina de maíz, salvado de trigo y harina de soya, obtuvieron valores de materia seca superiores al 90,0% y contenido de proteína cruda entre 25-55%, demostraron el efecto benéfico del presecado de residuos de origen animal con harinas vegetales. Vidotti et al (28) demostraron que el polvo de arroz facilitó el presecado de ensilaje de pescado en proporción (50:50), con mejoras en el perfil de aminoácidos esenciales, facilitando el almacenamiento y transporte de las mezclas.

Botello et al (23) utilizaron harina de caña de azúcar como soporte para facilitar la deshidratación de ensilajes de pescado, obtuvieron resultados similares de la composición nutricional de las mezclas, además, las proporciones alcanzaron cifras de 90.5% MS, inferiores a los resultados obtenidos en la presente investigación, quizás porque secaron las proporciones al sol y utilizaron otras materias primas. Carvalho et al (32) presecaron ensilaje de residuos de tilapia con salvado de trigo, para reducir el contenido de humedad y prevenir la proliferación de microorganismos indeseables; el alimento final alcanzó altos niveles de MS (>90%) y un buen aporte de proteína.

Entre las principales especies acuícolas en cultivo, se destacan aquellas que tienen hábitos alimenticios omnívoros, como el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y la tilapia (*Oreochromis niloticus*), las cuales son alimentadas con alimentos artificiales y uso de ingredientes de origen vegetal y animal, para suplir los altos requerimientos de proteína de buena calidad, que oscilan entre 35-40% y 26-40%, respectivamente, dependiendo de la edad y estado fisiológico de la especie (2). Las proteínas son muy importantes en la fisiología y metabolismo de los organismos acuáticos, además de ser fuentes de aminoácidos esenciales, sin embargo, es la biomolécula más cara de las materias primas utilizadas en la formulación de alimentos balanceados para acuicultura y se impone la búsqueda de alimentos alternativos de bajo precio (2,5,33). En la Tabla 2 se muestran los niveles de proteína cruda de las diferentes mezclas, que oscilan entre 16 y 59 %, lo que podría contribuir a la formulación de dietas en las especies antes mencionadas, dependiendo de la edad y estado fisiológico.

Las proporciones con mayores aportes ($p < 0.05$) de fibra cruda, fueron las elaboradas con harina de palmiste (12-18%), que limita su uso en las formulaciones para especies acuícolas (5,34). Sin embargo, en los organismos acuáticos, la fibra insoluble es fundamental para el buen funcionamiento del sistema digestivo, salud intestinal, participación en la respuesta inmune, reducción del pH intestinal, coadyuvante en la producción de ácidos grasos volátiles, entre otros (2,34). No obstante, los altos niveles ($> 10\%$) de fibra insoluble en la dieta de peces y camarones, causan pérdida de energía digerible, aumento de la velocidad de paso del quimo en el intestino, aumento del volumen fecal, reducción de la tasa de absorción de nutrientes, lo que afecta el crecimiento de los organismos (2,5,34,35).

Al formular dietas para peces y camarones, se debe analizar el aporte de nutrientes en las raciones, que suplan los requerimientos nutricionales con el mínimo costo, muy importante cuando se utilizan materias primas que varían significativamente ($p < 0.05$) en su composición nutricional y costos (Tablas 2,3). Méndez-Martínez et al (24), utilizaron el PCA para evaluar las variables: hidroestabilidad de los gránulos, digestibilidad de la proteína, energía y materia seca en dietas para juveniles del camarón (*Litopenaeus vannamei*), en un total de veinticuatro tratamientos y como resultados obtuvieron valores en el CP1: 48,3% y en el CP2: 24,9%, en conjunto explicaron el 73,2% de las diferencias en las respuestas de los indicadores investigados. Estos autores encontraron que para CP1, las principales diferencias se observaron en la materia seca, proteína y energía y para CP2 fue la hidroestabilidad en los gránulos. Esto les permitió transformar un conjunto de variables correlacionadas, en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas y reducir la dimensionalidad en la que se expresaba el conjunto original de veinticuatro tratamientos, proporcionando los mejores tratamientos (24).

En nuestra investigación se caracterizaron proporciones de IPMCD y HV, donde coincidió el CP1 con la PC y la energía, que son muy importantes en las actividades metabólicas y

crecimiento de peces y camarones (2,24,36,37), en el CP2 se destaca los lípidos, muy importante como vehículo en la absorción de vitaminas liposolubles A, E y K, son fuente de ácidos grasos esenciales, indispensables para el mantenimiento e integridad de las membranas celulares, además, de ser fuente de energía para el crecimiento de peces y camarones (20,38,39), mostrando que de los veinte tratamientos, tres de ellos tienen las mejores características a partir de las variables analizadas.

Esto también se sustenta, según el estudio de Méndez-Martínez et al (40), que evaluaron el efecto de diferentes proporciones de proteína-energía de la dieta en indicadores de crecimiento, fisiología y metabolismo en camarones juveniles (*Macrobrachium americanum*). Encontraron con el PCA, que el CP1 y el CP2 representaron el 67,21% de las diferencias en la respuesta de los indicadores determinados. Para PC1, las principales diferencias se observaron en el peso vivo promedio, la tasa de crecimiento específico y la tasa de eficiencia proteica. Para PC2, las principales diferencias estaban en el contenido total de carbohidratos y lípidos y enzimas como la proteasa y la lipasa.

En conclusión, las proporciones de IPMCD:HV alcanzaron elevados niveles de materia seca, lo que facilitó el proceso de deshidratación. El contenido de proteína, lípido, energía y costos, obtenidos en las diferentes mezclas, las acredita como posible alimento acuícola, para reemplazar la proteína convencional en las dietas, de acuerdo a la especie, fin productivo y requerimientos del mercado. El PCA con matriz de covarianza sugiere que en las mezclas IPMCD:HV, los tratamientos IPMCD:HS (80:20), IPMCD:HS (70:30) y IPMCD:HS (60:40) tienen mejores características según las variables evaluadas, aunque la relación de IPMCD:HPa (80:20), mostró altos niveles de proteína y fue la más económica.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

REFERENCES

1. Tacon AG. Trends in global aquaculture and aquafeed production: 2000–2017. *Rev Fish Sci Aquac.* 2020; 28(1):43-56. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1649634>
2. National Research Council (NRC). *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. The National Academies Press: Washington, D.C. USA; 2011. <https://www.nap.edu/catalog/13039/nutrient-requirements-of-fish-and-shrimp>
3. Fry JP, Mailloux NA, Love DC, Milli MC, Cao L. Feed conversion efficiency in aquaculture: do we measure it correctly?. *Environ Res Lett.* 2018; 13(2):024017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa273>
4. Sánchez-Muros MJ, Renteria P, Vizcaino A, Barroso FG. Innovative protein sources in shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feeding. *Rev Aquac.* 2020; 12(1):186-203. <https://doi.org/10.1111/raq.12312>
5. Botello LA, Martínez YA, Viana MT, Ortega MO, Morán CM, Pérez KC, et al. Effect of palm kernel cake in the nutrition for tilapia fry (*Oreochromis niloticus*). *Rev MVZ Córdoba.* 2022; 27(2):e2527. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2527>
6. Li L, Liu H, Zhang P. Effect of spirulina meal supplementation on growth performance and feed utilization in fish and shrimp: a meta-analysis. *Aquac Nutr.* 2022; 2022:1-15. <https://doi.org/10.1155/2022/8517733>
7. Pinto J, Boavida-Dias R, Matos HA, Azevedo J. Analysis of the Food Loss and Waste Valorisation of Animal By-Products from the Retail Sector. *Sustainability.* 2022; 14(5):2830. <https://doi.org/10.3390/su14052830>
8. Rocker MM, Lewis MJ, Mock TS, Francis DS, Bellagamba F, Moretti VM, et al. Poultry offal meal production conditions impact meal quality and digestibility in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture.* 2021; 542(2021):736909. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736909>
9. Kokoszyński D, Żochowska-Kujawska J, Kotowicz M, Sobczak M, Piwczyński D, Stęczny K, et al. Carcass characteristics and selected meat quality traits from commercial broiler chickens of different origin. *Anim Sci J.* 2022; 93(1):e13709. <https://doi.org/10.1111/asj.13709>
10. Gaudioso G, Marzorati G, Faccenda F, Weil T, Lunelli F, Cardinaletti G, et al. Processed animal proteins from insect and poultry by-products in a fish meal-free diet for rainbow trout: Impact on intestinal microbiota and inflammatory markers. *Int J Mol Sci.* 2021; 22(11):5454. <https://doi.org/10.3390/ijms22115454>
11. Hassani SM, Banavreh A, Jourdehi YA, Mohseni M, Shokri MM, Rastekenari YH. The feasibility of partial replacement fish meal with poultry by-products in practical diets of juvenile great sturgeon, *Huso huso*: Effects on growth performance, body composition, physiometabolic indices, digestibility and digestive enzymes. *Aquac Res.* 2021; 52(8):3605-3616. <https://doi.org/10.1111/are.15205>
12. Zinina O, Merenkova S, Galimov D. Optimization of microbial hydrolysis parameters of poultry by-products using probiotic microorganisms to obtain protein hydrolysates. *Fermentation.* 2021; 7(122):2-6. <https://doi.org/10.3390/fermentacion7030122>
13. Ozdemir S, Yetilmezsoy K. A mini literature review on sustainable management of poultry abattoir wastes. *J Mater Cycles Waste.* 2020; 22(1):11-21. <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00934-1>
14. Campos I, Valente LM, Matos E, Marques P, Freire F. Life-cycle assessment of animal feed ingredients: Poultry fat, poultry by-product meal and hydrolyzed feather meal. *J Clean Prod.* 2020; 252(2020):119845. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119845>

15. Pérez-Corría K, Botello-León A, Mauro-Félix A, Rivera-Pineda F, Viana M, Cuello-Pérez M, et al. Chemical composition of earthworm (*Eisenia foetida*) co-dried with vegetable meals as an animal feed. *Rev Ciencia y Agricultura*. 2019; 16(2):79-92. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n2.2019.9130>
16. Bitencourt BS, Corrêa JL, Carvalho GR, Augusto PE. Valorization of Pineapple Pomace for Food or Feed: Effects of Pre-treatment with Ethanol on Convective Drying and Quality Properties. *Waste Biomass Valorization*. 2022; 13(2020):2253-2266. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01659-9>
17. Saucier L, M'ballou C, Ratti C, Deschamps MH, Lebeuf Y, Vandenberg GW. Comparison of black soldier fly larvae pre-treatments and drying techniques on the microbial load and physico-chemical characteristics. *J. Insects Food Feed*. 2022; 8(1):45-64. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0002>
18. Botello AL, Martínez YA, Cotera MB, Morán CM, Ortega MO, Pérez KC, et al. Growth performance, carcass traits and economic response of broiler fed of palm kernel meal (*Elaeis guineensis*). *Cuba J Agric Sci*. 2020; 54(4):1-12. <http://cjasience.com/index.php/CJAS/article/view/986>
19. Badar IH, Jaspal MH, Yar MK, Ijaz M, Khalique A, Zhang L, et al. Effect of strain and slaughter age on production performance, meat quality and processing characteristics of broilers reared under tropical climatic conditions. *Europ Poult Sci*. 2021; 85(2021):1-17. <https://doi.org/10.1399/eps.2021.326>
20. Badillo-Zapata D, Zaragoza FDJ, Vega-Villasante F, López-Huerta JM, Herrera-Resendiz S, Cueto-Cortés L, et al. 2018. Requerimiento de proteína y lípidos para el crecimiento de juveniles del pez nativo *Dormitator latifrons* (Richardson, 1844). *Ecosist Recur Agropec*. 2018; 5(14):345-351. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1554>
21. AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International. 19th edition. Gaithersburg, Maryland, USA: AOAC International; 2012.
22. Tacon A. Standard Methods for the Nutrition and Feeding of Farmed Fish and Shrimp. Washington: Argent Laboratories Press; 1990.
23. Botello AL, María TV, Téllez ET, Pullés EA, Cisneros MV, Gutberto SS, et al. Fish meal substitution by protein sugar cane in diets for weight gain in red tilapia. *Agrociencia*. 2011; 45(1):23-31.
24. Méndez-Martínez Y, Gucic M, Martínez-Córdova L, Civera-Cerecedo R, Ricque-Marie D, Cortés-Jacinto E. Dry matter, protein and energy digestibility of diets for juvenile Pacific whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared at different salinities. *Cienc Rural*. 2021; 51(8):1-10. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190636>
25. Burger TG, Singh I, Mayfield C, Baumert JL, Zhang Y. The impact of spray drying conditions on the physicochemical and emulsification properties of pea protein isolate. *LWT-Food Sci Technol*. 2022; 153(2022):112495. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112495>
26. Kaur L, Mao B, Beniwal AS, Kaur R, Chian FM, Singh J. Alternative proteins vs animal proteins: The influence of structure and processing on their gastro-small intestinal digestion. *Trends Food Sci Tech*. 2022; 122(2022):275-286. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.021>
27. Kim TK, Yong HI, Cha JY, Park SY, Jung S, Choi YS. Drying-induced restructured jerky analog developed using a combination of edible insect protein and textured vegetable protein. *Food Chem*. 2022; 373(2022):131519. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131519>
28. Vidotti RM, Carneiro DJ, Viegas E. Growth Rate of Pacu, *Piaractus mesopotamicus*, Fingerlings Fed Diets Containing Co-Dried Fish Silage as Replacement of Fish Meal. *J Appl Aquac*. 2002; 12(4):77-88. https://doi.org/10.1300/J028v12n04_07
29. Goddard JS, Perret JS. Co-Drying Fish Silage for Use in Aquafeeds. *Anim Feed Sci Tech*. 2005; 118(3):337-342. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.11.004>

30. Norozi M, Rezaei M, Kazemifard M. Effect of different acid processing methodologies on the nutritional value and reduction of anti-nutrients in soybean meal. *J Food Process Preserv.* 2022; 46(e16205):1-8. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16205>
31. Santos FS, Signoretti RD, Oliveira JS, Silva GT, Rufino MD, Souza CG, et al. Effect of replacing soybean meal with peanut meal on milk production and fat composition in lactating dairy cows. *Trop Anim Health Prod.* 2022; 54(1):1-7. <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03091-0>
32. Carvalho GG, Vieira AJ, Mattos C, Ferreira F, Aparecida BM Silagem de resíduo de peixes em dietas para alevinos de tilápia do nilo. *R Bras Zootec.* 2006; 35(1):126-130.
33. Li X, Zheng S, Cheng K, Ma X, Wu G. Use of alternative protein sources for fishmeal replacement in the diet of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Part II: effects of supplementation with methionine or taurine on growth, feed utilization, and health. *Amino Acids.* 2021; 53(1):49-62. <https://doi.org/10.1007/s00726-020-02922-4>
34. Maas RM, Verdegem MC, Wiegertjes GF, Schrama JW. Carbohydrate utilisation by tilapia: a meta-analytical approach. *Rev Aquacult.* 2020; 12(2020):1851-1866. <https://doi.org/10.1111/raq.1241>
35. Chen JX, Feng JY, Zhu J, Luo L, Lin SM, Wang DS, et al. Starch to protein ratios in practical diets for genetically improved farmed Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: Effects on growth, body composition, peripheral glucose metabolism and glucose tolerance. *Aquaculture.* 2020; 515(2020):734538. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734538>
36. Konnert GD, Martin E, Gerrits WJ, Gussekloo SW, Masagounder K, Mas-Muñoz J, et al. Interactive effects of protein and energy intake on nutrient partitioning and growth in Nile tilapia. *Animal.* 2022; 16(4):100494. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100494>
37. Valdivié NM, Martínez AY, Mesa FO, Botello LA, Betancur HC, Velázquez MB. Review of *Moringa oleifera* as forage meal (leaves plus stems) intended for the feeding of non-ruminant animals. *Anim Feed Sci Tech.* 2020; 260(2020):1-9. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114338>
38. Toledo-Solís FJ, Martínez-García R, Galaviz MA, Hilerio-Ruiz AG, Alvarez-González CA, de Rodrigáñez MS. Protein and lipid requirements of three-spot cichlid *Cichlasoma trimaculatum* larvae. *Fish Physiol Biochem.* 2020; 46:23-37. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00692-9>
39. Liou CH, To VA, Zhang ZF, Lin YH. The effect of dietary lecithin and lipid levels on the growth performance, body composition, hemolymph parameters, immune responses, body texture, and gene expression of juvenile white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture.* 2023; 567(2023):739260. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739260>
40. Méndez-Martínez Y, García-Guerrero MU, Arcos-Ortega FG, Martínez-Córdova LR, Yamasaki-Granados S, Pérez-Rodríguez JC, et al. Effect of different ratios of dietary protein-energy on growth, body proximal composition, digestive enzyme activity, and hepatopancreas histology in *Macrobrachium americanum* (Bate, 1868) prawn juveniles. *Aquaculture.* 2018; 485(2018):1-11. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.11.012>