OTRO

REVISTA DE Biología Tropical

https://doi.org/10.15517/8gw0mf84

Composición proximal y perfil lipídico muscular por TLC-FID en siete especies de peces de agua dulce de la Laguna Campoma, Venezuela

Ana Paola Echavarria-Velez[1]*; https://orcid.org/0000-0002-3756-0082
Yetsi Del Valle Tineo[2]; https://orcid.org/0009-0009-0703-248X
Haydelba D' Armas[3]; https://orcid.org/0000-0001-9301-3801
María A. Ranaudo [4]; https://orcid.org/0000-0001-8060-6675

1. Facultad Ciencias de la Ingeniería, Universidad Estatal de Milagro, Milagro, Ecuador; aechavarriav@unemi.edu.ec (*Correspondencia)
2. Escuela de Ciencias, Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela; htrinidad86@hotmail.com
3. Escuela de Ciencias, Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela; hdarmasr@gmail.com
4. Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas; mranaudo@gmail.com

Recibido 27-V-2025. Corregido 20-VI-2025. Aceptado 12-VIII-2025.

ABSTRACT

Proximate composition and muscle lipid profile by TLC-FID of seven freshwater fish species from Campoma Lake, Venezuela

Introduction: Lipids in fish play a fundamental role in growth, reproduction, and homeostasis, maintaining cellular integrity.
Objective: To assess the nutritional quality of seven fish species from Lake Campoma through analysis of their proximate composition and lipid profile.
Methods: A total of 10 kg of each species: *Cichlasoma kraussii*, *Pimelodus clarias*, *Hoplias malabaricus*, *Aequidens pulcher*, *Hypostomus plecostomus*, *Hoplosternum littorale*, and *Centropomus mexicanus* were collected through direct fishing in Lake Campoma. Samples were refrigerated and transported to the laboratory, where muscle tissue was dissected for subsequent analysis. Lipid fractions were determined using thin-layer chromatography with flame ionization detection (TLC-FID). Principal component analysis (PCA) was applied to explore the relationships among the evaluated parameters.
Results: *C. mexicanus* exhibited the highest lipid (2.33 %) and protein content (2.41 %). In all analyzed species, phospholipids were the predominant lipid class (34–85 %), followed by free fatty acids (7 %), triacylglycerols (4 %), and cholesterol (< 34 %). Water was the major component in the proximate analysis, ranging from 76.5 % in *C. kraussii* to 82.5 % in *P. clarias*, which may increase susceptibility to microbial spoilage if not stored properly. No clear association was observed between species and ash content.
Conclusions: The evaluated species demonstrated high nutritional and energy value, supporting their inclusion in human diets. *C. mexicanus* stood out due to its high protein and energy content, while *H. littorale* and *H. malabaricus* were identified as the most nutritionally rich. These findings highlight the importance of these freshwater species as valuable sources of macronutrients and essential bioactive compounds.

Key words: proximate composition; freshwater fish; TLC-FID; total lipids; multivariant analysis.

RESUMEN

Introducción: Los lípidos en peces son esenciales para su crecimiento, reproducción y homeostasis, ya que mantienen la integridad celular.

Objetivo: Evaluar la calidad nutricional de siete especies de peces de la Laguna Campoma mediante el análisis de su composición proximal y perfil lipídico.

Métodos: Se recolectaron 10 kg de cada especie mediante pesca directa en la laguna Campoma: *C. kraussii*, *P. clarias*, *H. malabaricus*, *A. pulcher*, *H. plecostomus*, *H. littorale* y *C. mexicanus*. Las muestras fueron refrigeradas y transportadas al laboratorio, donde se extrajo el tejido muscular para análisis. La fracción lipídica se determinó por cromatografía en capa fina con detector de ionización en llama (TLC-FID). Se aplicó un análisis de componentes principales (PCA) para observar las relaciones entre variables.

Resultados: *C. mexicanus* presentó el mayor contenido lipídico (2.33 %) y proteico (2.41 %). En todas las especies analizadas, los fosfolípidos fueron los lípidos predominantes (34-85 %), seguidos por ácidos grasos libres (7 %), triacilgliceroles (4 %) y colesterol (< 34 %). El análisis proximal mostró que el agua fue el componente más abundante (76.5 % en *C. kraussii* y 82.5 % en *P. clarias*), lo que podría favorecer el deterioro si no se almacena adecuadamente. No se observó una relación clara con el contenido de cenizas.

Conclusiones: Las especies analizadas presentan un alto valor energético y nutricional, lo que respalda su recomendación como parte de la dieta. *C. mexicanus* destacó por su contenido proteico y energético, mientras que *H. littorale* y *H. malabaricus* fueron consideradas las más nutritivas. Los resultados destacan la importancia de estas especies dulceacuícolas como fuentes de macronutrientes y compuestos bioactivos esenciales.

Palabras clave: composición proximal; peces dulceacuícolas; TLC-FID; lípidos totales; análisis multivariante.

INTRODUCCIÓN

El análisis de la composición proximal y el contenido lipídico de los peces de agua dulce es fundamental para evaluar su valor nutricional y su potencial para el consumo humano. Este estudio profundiza en la caracterización de especies de la Laguna Campoma (Venezuela), aportando datos relevantes para el sector pesquero, la industria alimentaria y la gestión sostenible de estos recursos en ecosistemas tropicales (Cusiyunca-Phoco et al., 2024).

Los lípidos, especialmente los ácidos grasos derivados de los triacilglicéridos representan la principal fuente de energía aeróbica en los músculos de los peces, permitiendo que otros nutrientes como proteínas, vitaminas y minerales se destinen al crecimiento (Araujo et al., 2021). Además, participan en procesos fisiológicos clave como la reproducción, homeostasis y mantenimiento estructural celular (Islam et al., 2021).

El pescado destaca por su elevado contenido proteico de alta calidad, aportando todos los aminoácidos esenciales (Cañada-Millán et al., 2021) También es fuente de ácidos grasos poliinsaturados, especialmente omega-3, con efectos beneficiosos sobre la salud cardiovascular y el desarrollo neuronal (Mogobe et al., 2024). Asimismo, su abundancia en minerales esenciales como fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro y yodo lo convierte en un componente fundamental de una dieta equilibrada.

Dado el interés nutricional de los lípidos, su análisis en distintas especies permite evaluar su impacto en la salud pública y orientar estrategias de aprovechamiento sostenible (Ondo-Azi et al., 2013). En este estudio se empleó cromatografía en capa fina con detección por ionización de llama (TLC-FID) para identificar y cuantificar fosfolípidos, triacilglicéridos y colesterol en el tejido muscular de siete especies: *Caquetaia kraussii*, *Pimelodus clarias maculatus*, *Hoplosternum littorale*, *Centropomus mexicanus* y *Hoplias malabaricus* (D'Armas et al., 2015). Esta técnica permite la caracterización de fosfolípidos, triacilglicéridos y colesterol, complementando otros métodos analíticos (Lau et al., 2025).

Asimismo, la cromatografía gas-líquido ha sido utilizada para la identificación y cuantificación de ácidos grasos en diversas fracciones

lipídicas (Leal-Rodrigues et al., 2020). La información obtenida resulta valiosa para el desarrollo de estrategias de conservación y manejo de estas especies en ecosistemas tropicales.

Este estudio caracteriza la composición lipídica y proximal de las especies C. *kraussii, P. clarias, H. malabaricus, A. pulcher, H. plecostomus, H. littorale* y *C. mexicanus* para evaluar su valor nutricional y posible inclusión en la dieta humana. Se identifican especies con bajo contenido graso y alto valor proteico, útiles para dietas saludables. Los resultados orientan a nutricionistas, tecnólogos y acuicultores en el aprovechamiento sostenible de estos recursos, contribuyendo a la seguridad alimentaria en regiones tropicales (Ullah et al., 2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección y preparación de las muestras. El muestreo se llevó a cabo en la Laguna Campoma, ubicada en el estado Sucre, Venezuela (10°24'30" N, 63°33'45" W) (Fig. 1). Mediante pesca directa, se capturaron al azar tres ejemplares representativos de la población de siete especies, recolectando 10 kg de cada una: *C. kraussii, P. clarias, H. malabaricus, A. pulcher, H. plecostomus, H. littorale* y *C. mexicanus*. Los ejemplares fueron transportados al laboratorio bajo condiciones de refrigeración controlada (0-4 °C), conforme a las recomendaciones del *Codex Alimentarius* y las directrices de la (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación & Organización Mundial de la Salud [FAO], 2005) para productos pesqueros.

En el laboratorio, se realizó un corte profundo en la región muscular para obtener los filetes, los cuales fueron posteriormente limpiados, lavados y macerados utilizando un molino eléctrico. Finalmente, las muestras fueron almacenadas bajo refrigeración para su posterior análisis.

Extracción de lípidos totales. Se extrajeron 1.5 g de tejido muscular con 30 mL de cloroformo-metanol (2:1 V/V), en una proporción de volumen veinte veces superior a la masa del tejido (Motta Soler, 2019). La mezcla se agitó durante una hora, se filtró y el residuo se reextrajo con la mitad del volumen de solvente. El filtrado se trató con NaCl 0.05 mol/L y se refrigeró durante 16 horas. La fase orgánica se secó con sulfato de sodio anhídrido, se filtró y el solvente se evaporó en un desecador. Finalmente, la fracción lipídica se conservó bajo atmósfera de nitrógeno y refrigeración.

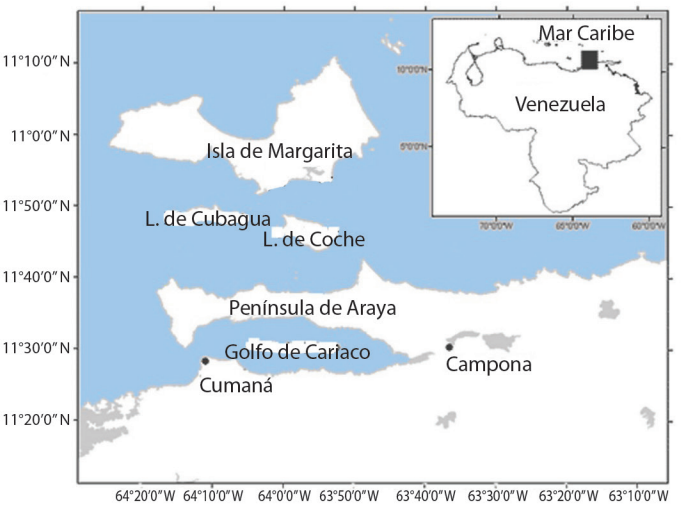

Fig. 1. Ubicación geográfica del área de estudio de las especies analizadas.

Determinación de lípidos mediante TLC-FID (Iatroscan). Los lípidos totales extraídos del tejido muscular se cuantificaron mediante cromatografía de capa fina con detección por ionización en llama (TLC-FID), utilizando un sistema Iatroscan MK-5 con interfaz Peak-Simple para la adquisición y procesamiento de datos (D'Armas et al., 2015; Przybylski et al., 2013). Las condiciones operativas para el Iatroscan fueron flujo de hidrógeno 168–170 mL/min, flujo de aire 1.5 L/min, y una velocidad de análisis de 35 s/barra. La identificación de los lípidos se realizó por comparación con estándares comerciales (Sigma®), preparados y desarrollados en las mismas condiciones que los extractos. Para el desarrollo cromatográfico se utilizó como fase móvil una mezcla de hexano:éter dietílico:ácido acético (40:20:31, v/v/v), empleando varillas capilares de cuarzo recubiertas con sílice de capa fina (Iatron-Chromarods S5), activadas en el Iatroscan previo a la aplicación de las muestra o estándares. Se aplicaron alícuotas de 2 µL de cada solución a analizar (0.2-34.0 mg/mL en cloroformo) mediante un microdispensador Drummond Scientific de volumen fijo, realizando al menos cinco réplicas por muestra.

Tras el desarrollo cromatográfico y secado (100 °C, 3 min), los lípidos se detectaron y cuantificaron mediante la integración de áreas de los picos. La interpretación de los cromatogramas se basó en los tiempos de retención de los estándares (Sinanoglou et al., 2013; Anyakudo et al., 2020) y los resultados se expresaron como porcentaje del contenido lipídico total.

Determinación de la composición proximal. El contenido de proteínas totales se determinó mediante el método de Biuret (Fuentes-Paredes et al., 2012). Se homogenizó 1 g de tejido en frío con 9 mL de NaOH, se centrifugó (3 000 rpm, 15 min) y se utilizó el sobrenadante. Se mezclaron 0.6 mL de sobrenadante con 0.4 mL de agua y 4 mL del reactivo de Biuret (Zheng et al., 2017), la absorbancia se midió a 540 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Vis (Shimadzu UV-1800). La concentración de proteínas se calculó a partir de una curva de calibración elaborada con albúmina de suero bovino (10 mg/mL).

La humedad se determinó por secado en estufa (110 °C, 24 h) mediante pérdida de masa. Las cenizas se evaluaron por calcinación en mufla a 450 °C durante 12 h. Los carbohidratos totales se calcularon por diferencia: 100 % - (% proteínas + % grasa + % cenizas + % humedad), de acuerdo con el método AOAC (Fonseca Rodríguez et al., 2013).

Análisis estadístico. Las diferencias entre especies en el contenido de cada fracción lipídica fueron evaluadas mediante análisis univariado en el software IBM SPSS Statistics (v.28). Se verificaron los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Para las variables que cumplieron ambos supuestos, se aplicó un ANOVA de una vía, seguido de comparaciones múltiples mediante la prueba Tukey HSD para la identificación de grupos estadísticamente homogéneos. En las variables que no cumplieron los criterios paramétricos, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. El análisis de componentes principales (PCA) se realizó en el software R (v4.3.1), utilizando matrices de datos estandarizadas. para generar biplots del plano 1-2, con el fin de evaluar las relaciones entre los parámetros analizados. Se obtuvieron dos biplots: uno para los componentes lipídicos de siete especies de peces (fosfolípidos, ácidos grasos libres, triacilglicéridos y colesterol) y otro para los parámetros del análisis proximal (lípidos, proteínas, humedad, cenizas y carbohidratos).

RESULTADOS

En el presente estudio se determinó el contenido lipídico, la composición proximal y el análisis multivariante de siete especies de peces. Para el estudio estadístico, dichas muestras se identificaron bajo la siguiente nomenclatura: *C. kraussii (Ck); P. clarias (Pc); H. malabaricus (Hm); A. pulcher (Ap); H. plecostomus (Hp); H. littorale (Hl)* y *C. mexicanus (Cm)*. Los números

Tabla 1
Efecto de la especie sobre la composición relativa de fracciones lipídicas en peces dulceacuícolas.

Especie	Fosfolípidos	AGL	Triacilgliceroles	Colesterol	E.C
C. kraussi	$76.36^{a} \pm 0.08$	$6.90^{b} \pm 0.36$	$4.96^{bc} \pm 0.36$	$9.79^{b} \pm 0.42$	$1.99^{c} \pm 0.37$
P. clarias maculatus	$75.26^{a} \pm 0.01$	$5.56^{b} \pm 0.12$	$3.65^{c} \pm 2.62$	$5.22^{c} \pm 0.01$	$10.30^{b} \pm 2.50$
H. malabaricus	$85.00^{a} \pm 1.40$	$4.86^{b} \pm 0.11$	$2.35^{c} \pm 0.81$	$5.75^{c} \pm 0.30$	$2.03^{c} \pm 0.17$
A. pulcher	$73.56^{a} \pm 0.35$	$2.83^{c} \pm 0.12$	$3.76^{c} \pm 0.10$	$19.85^{a} \pm 0.13$	ND
H. plecostomus	$54.84^{b} \pm 0.34$	$3.69^{c} \pm 0.69$	$5.11^{b} \pm 0.06$	$36.35^{a} \pm 0,28$	ND
H. littorale	$34.04^{c} \pm 1.29$	$3.72^{c} \pm 0.15$	$6.16_{b} \pm 0.21$	$30.82^{a} \pm 0.27$	$25.26^{a} \pm 1.19$
C. mexicanus	$47.82^{bc} \pm 0.80$	$7.12^{a} \pm 1.13$	$13.91^{a} \pm 0.35$	$31.14^{a} \pm 0.02$	ND

AGL: ácidos grasos libres; E.C: éster de colesterol; ND: No Detectado.

que acompañan estos nombres corresponden al número de repeticiones en las mediciones de cada variable de las especies estudiadas (1, 2 y 3).

Determinación cuantitativa del contenido lipídico. Los resultados obtenidos mediante cromatografía de capa fina automatizada (Tabla 1, Fig. 2) muestran la separación de los distintos lípidos presentes en las especies dulceacuícolas analizadas. La identificación de los lípidos se realizó por comparación con patrones comerciales.

En la Tabla 1, se observa el análisis que reveló la presencia de fosfolípidos (FOSF), ácidos grasos libres (AGL), colesterol (COL), triacilgliceroles (TA) y ésteres de colesterol (EC), con un patrón de polaridad decreciente: FL > AGL > COL > EC > TAG.

Para evaluar diferencias en el perfil lipídico entre especies, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Las variables fosfolípidos, colesterol y ésteres de colesterol cumplieron ambos supuestos y fueron analizadas mediante un ANOVA de una vía, seguido del test post hoc de Tukey HSD, mientras que, para ácidos grasos libres y triacilgliceroles, que no cumplieron los criterios paramétricos, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

El análisis ANOVA de una vía presentado en la Tabla 1, reveló diferencias estadísticamente significativas entre especies para fosfolípidos, colesterol y ésteres de colesterol ($p < 0.0001$). En el caso de los ésteres de colesterol fue altamente significativo ($F = 378.66$), y la prueba de

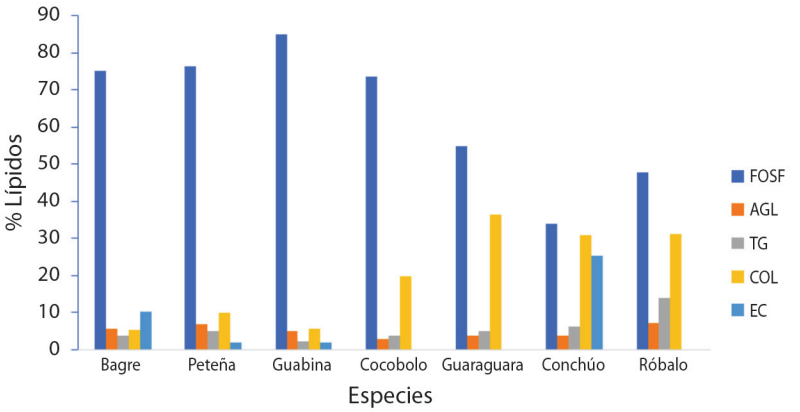

Fig. 2. Relación promedio de los diferentes tipos de lípidos presentes en las especies. (fosfolípidos (FOSF); ácidos grasos libres (AGL); colesterol (COL); triacilgliceroles (TG) y ésteres de colesterol (EC)).

Tukey identificó tres grupos estadísticamente homogéneos: *Hoplosternum littorale* presentó el mayor contenido (a), *Pseudoplatystoma clarias* se ubicó en un segundo grupo (b), mientras que *Hoplias malabaricus* y *Cyphocharax kraussi* conformaron un tercer grupo con los valores más bajos (c).

En la Figura 2, se observó un alto contenido de fosfolípidos en contraste a los triacilgliceroles con un bajo nivel en todas las especies. Se encontró que la guabina presentó la mayor concentración de FL (85.00 %), mientras que el *H. littorale* (conchúo) mostró la menor (34.04 %). Los TG oscilaron entre 5.22 % *P. clarias maculatus* (bagre) y 36.35 % *H. malbaricus* (guabina). Los AGL fueron más abundantes en el *C. mexicanus* (róbalo) (7.12 %) y menos en el A. *pulcher* (cocobolo) (2.83 %). Los EC variaron entre 25.26 % el *H. littorale,* (conchúo) y 1.99 % *C. kraussi* (peteña). El colesterol mostró valores de 13.91 % *C. mexicanus* (róbalo) y 2.35 % *H. malbaricus* (guabina).

Análisis multivariante del contenido lipídico. El PCA Biplot permite explorar la estructura de datos multivariados proyectando las dos primeras componentes principales, lo que facilita la interpretación de la variabilidad y las relaciones entre variables del contenido lipídico. En la Fig. 3 se muestra el PCA-Biplot del plano 1-2 que indica que la inercia acumulada asciende al 93.3 %. Además, presenta el uso de tres conglomerados para las variables del contenido lipídico de las siete especies estudiadas. Los resultados muestran la distribución normal de 21 puntos de datos alrededor de tres grupos en la Fig. 3.

Determinación de la Composición proximal. Se representa con la Tabla 2, Fig. 4 y Fig. 5.

Análisis multivariante de la composición proximal. En la Fig. 5 se muestra la formación de tres grupos en función de cinco variables del análisis proximal: proteínas (PROT), carbohidratos (CARB), humedad (HUM), grasas (GR) y cenizas (CEN). La inercia acumulada explicada por las dos primeras dimensiones del biplot asciende a 77.5 %, con la Dimensión 1 (57.3 %) y la Dimensión 2 (20.2 %), lo que permite

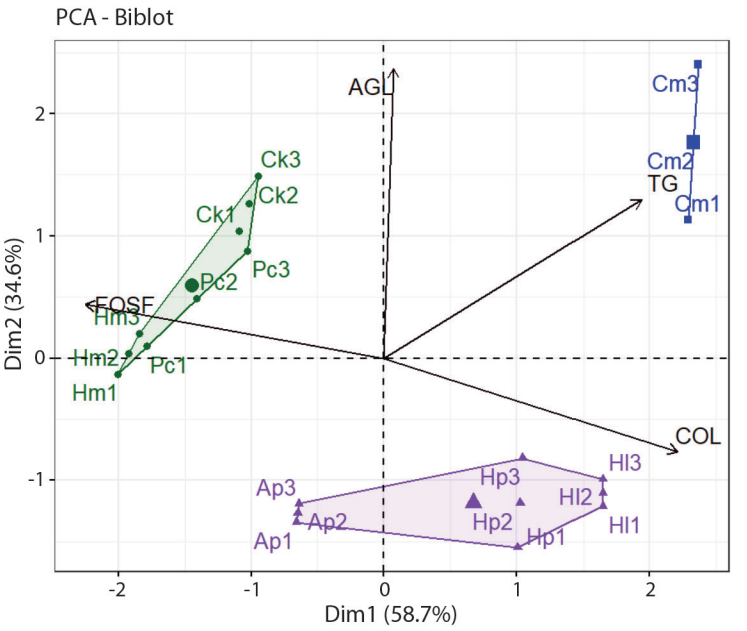

Fig. 3. Biplot para variables del contenido lipídico de las siete especies de peces con tres repeticiones cada una de ellas. Las variables evaluadas fueron: Fosfolípidos (FOSF), Ácidos grasos libres (AGL), Triacilgliceroles (TG) y Colesterol (COL).

Tabla 2
Composición proximal (%) promedio de las siete especies.

Especie	Lípidos	Proteína	Humedad	Cenizas	Carbohidratos
C. kraussi	0.270	1.03	82.3	1.09	15.26
P. clarias maculatus	0.240	0.74	82.5	0.98	13.28
H. malabaricus	0.390	2.24	78.9	1.16	17.36
pulcher	1.12	0.64	81.0	0.99	16.29
H. plecostomus	1.41	0.72	79.1	5.70	12.22
H. littorale	1.99	1.71	78.6	4.23	12.89
C. mexicanus	2.33	2.41	76.5	6.70	12.12

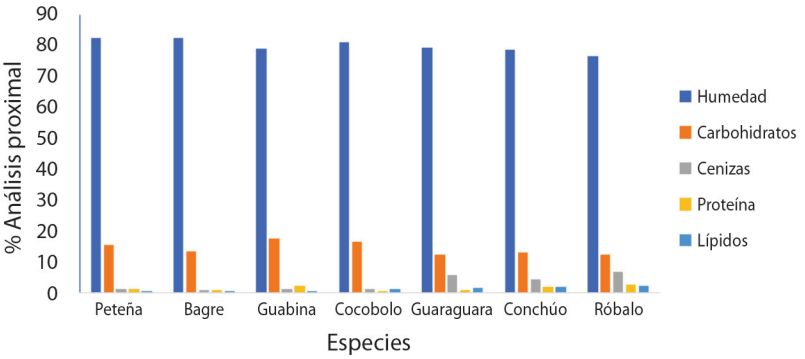

Fig. 4. Relación promedio de la composición proximal de las especies.

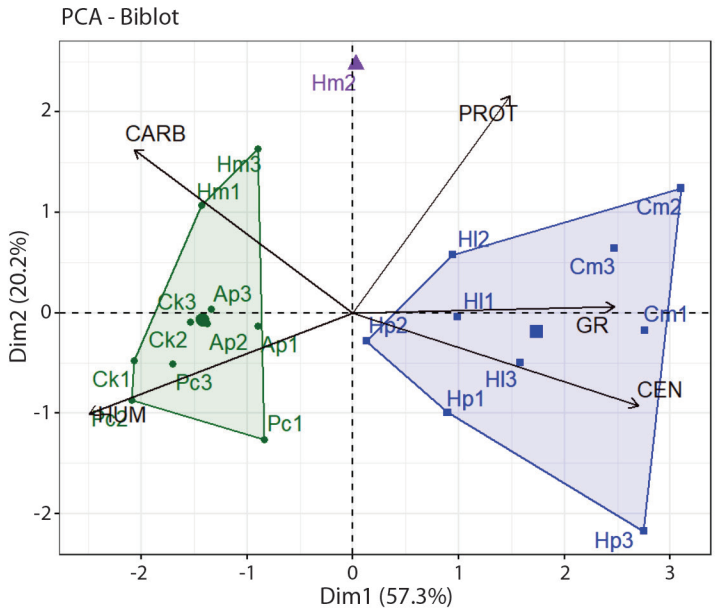

Fig. 5. Biplot para variables del análisis proximal de las siete especies de peces con tres repeticiones cada una de ellas. Las variables evaluadas fueron: Proteínas (PROT), Carbohidratos (CARB), Humedad (HUM), Grasas (GR) y Cenizas (CEN).

una representación robusta de la variabilidad estructural del conjunto multivariado.

El análisis revela la formación de tres grupos de observaciones. El Grupo 1 (verde) incluye nueve muestras (Hm1, Hm3, Ap1–3, Ck1–3, Pc3) y se asocia con carbohidratos y humedad. El Grupo 2 (azul) está conformado por nueve muestras (Hp1–3, Hl1–3, Cm1–3) relacionadas con grasas y cenizas, lo que sugiere un perfil lipídico-mineral. El Grupo 3 (púrpura) contiene solo la muestra Hm2, la cual se ubica en la parte superior del plano, mostrando una fuerte asociación con proteínas, y contribuye significativamente a la Dim2. Esta distribución refleja diferencias nutricionales claras entre las especies, con agrupamientos basados en similitud composicional.

DISCUSIÓN

El *C. mexicanus* (róbalo), a pesar de su mayor contenido de colesterol, presentó niveles elevados de AGL, lo que sugiere un posible efecto compensatorio en la salud cardiovascular. Se ha demostrado que estos ácidos grasos (AGL) reducen la presión sanguínea y previenen enfermedades trombóticas y cardiovasculares (Piñeiro-Corrales et al., 2013). Las otras seis especies mostraron concentraciones de colesterol inferiores al 6 %, lo que las hace opciones nutricionalmente.

El análisis de los resultados obtenidos demostró que el *H. littorale* (conchúo) y *C. mexicanus* (róbalo), arrojaron menor porcentaje de fosfolípidos, pero mayores concentraciones de colesterol y triacilglicéridos. Estos últimos están asociados a las lipoproteínas de baja densidad (LDL), las cuales son responsables del transporte de colesterol hacia los tejidos y su eventual depósito en la pared arterial. Debido a la insolubilidad de los lípidos (fosfolípidos, triacilglicéridos y colesterol) en el plasma, estos se asocian con apoproteínas específicas para formar lipoproteínas que permiten su circulación sanguínea. Las LDL, en particular, desempeñan un papel clave en los procesos de aterogénesis y son consideradas precursoras de enfermedades cardiovasculares prematuras (Vekic et al., 2022).

El alto porcentaje de fosfolípidos (~85 %) en los extractos lipídicos de las siete especies analizadas resalta su importancia estructural y funcional dentro de las membranas celulares, así como su posible aplicación en la industria nutracéutica. La baja concentración de ácidos grasos (AG) (~7 %) indica que, aunque presentes, no constituyen la fracción predominante en estos organismos. No obstante, la variabilidad en la distribución de triacilgliceroles (>4 %) y colesterol (<37 %) sugiere diferencias metabólicas entre especies, lo que puede influir en su digestibilidad y absorción en la dieta humana.

Como se mencionó anteriormente, la Fig. 2 mostró un alto contenido de fosfolípidos y, en contraste, un bajo nivel de triacilgliceroles en todas las especies. Esto podría atribuirse a la transformación de los triacilgliceroles en el hepatopáncreas por enzimas hidrolíticas presentes en los tejidos, especialmente cuando el estado fisiológico demanda energía en forma de lípidos. Durante este proceso, se generan 1.2-diglicéridos, precursores en la síntesis de fosfolípidos, lo que explicaría su aumento en las muestras analizadas (Izquierdo-Córser et al., 2000).

Las bajas concentraciones de triacilglicéridos en las muestras en estudio pueden deberse a su síntesis a partir de ácidos grasos originados de carbohidratos y proteínas, o al almacenamiento de triacilglicéridos provenientes de la alimentación de la especie. Siendo la composición lipídica en peces determinada por factores como la dieta, el metabolismo y la capacidad de síntesis de lípidos. Los triacilglicéridos pueden originarse tanto del metabolismo de carbohidratos y aminoácidos como del almacenamiento de lípidos dietarios, dependiendo de la especie y su alimentación. Esto refleja un equilibrio entre síntesis, uso y almacenamiento de lípidos (Bu et al., 2024).

La Fig. 3 presenta el uso de tres conglomerados para las variables del contenido lipídico de las siete especies estudiadas. Los resultados muestran la distribución normal de 21 puntos de datos alrededor de tres grupos en la Figura.

El tamaño de cada clúster tiene relación con el número de puntos de datos, el tamaño del clúster 1 es 9 (color púrpura), el tamaño del clúster 2 es 9 (color verde) y el tamaño del clúster 3 es 3 (color azul). Las muestras Ap1, Ap2, Ap3, Hp1, Hp2, Hp3, Hl1, Hl2 y Hl3 (Cluster 1 "color púrpura") muestran mayor relación con el contenido de colesterol mientras que las muestras Hm1, Hm2, Hm3, Pc1, Pc2, Pc3, Ck1, Ck2 y Ck3 pertenecientes al Cluster 2 (color verde) muestran mayor relación con el contenido de fosfolípidos y ácidos grasos libres. Las muestras Cm1, Cm2 y Cm3 (Cluster 3 "color azul") muestran relación con el contenido de triacilgliceroles.

El Cluster 1 (Púrpura, n = 9): Asociado con un mayor contenido de colesterol. La relación con el colesterol sugiere que estas especies podrían tener un metabolismo lipídico con mayor acumulación de este compuesto (Lee et al., 2022). Cluster 2 (Verde, n=9): Relacionado con fosfolípidos y ácidos grasos libres (Hao et al., 2024). Esta distribución indica que estas especies presentan una composición lipídica orientada hacia lípidos estructurales y ácidos grasos disponibles para procesos metabólicos. Cluster 3 (Azul, n = 3): Relacionado con triacilgliceroles (Mgbechidinma et al., 2023). Este grupo más pequeño sugiere una acumulación de triglicéridos, posiblemente por estrategias de almacenamiento energético.

Estos resultados podrían estar influenciados por factores como la dieta, el hábitat y la fisiología de cada especie. El mayor contenido de colesterol en el Cluster 1 podría estar relacionado con una dieta más rica en fuentes animales, mientras que el predominio de fosfolípidos y ácidos grasos libres en el Cluster 2 podría reflejar un metabolismo más activo en la membrana celular y procesos energéticos. Finalmente, la acumulación de triacilglicéridos en el Cluster 3 sugiere un almacenamiento lipídico más eficiente. Estos patrones han sido descritos previamente en peces mesopelágicos, donde las diferencias en el perfil lipídico entre especies fueron atribuidas a adaptaciones metabólicas, alimenticias y ecológicas específicas

La Tabla 2 presenta el análisis proximal de las siete especies estudiadas, evidenciando una relación entre los parámetros evaluados, excepto en el contenido de cenizas. El agua fue el componente más abundante, con un 76.5 % en el róbalo y 82.5 % en el bagre, lo que podría favorecer el crecimiento microbiano y acelerar el deterioro si no se almacena adecuadamente (Voronin, 2023).

Como se observa en la Fig. 4, el contenido de cenizas fue máximo en *C. mexicanus* (6.70 %), lo que sugiere una mayor concentración de minerales esenciales. Este resultado es relevante para la suplementación de minerales en dietas humanas y animales. En cuanto a la humedad, los valores extremos observados en *C. mexicanus* (76.5 %) y *P. clarias* (82.5 %) pueden influir en la estabilidad y conservación de estos peces tras la captura y procesamiento.

El contenido de lípidos varió entre 2.33 % (róbalo) y 0.24 % (bagre), con valores inferiores al 3 % en todas las especies, clasificándolas como pescados magros (Łuczyńska et al., 2014). Su bajo contenido lipídico los hace adecuados para el consumo y potencialmente beneficiosos en la prevención de enfermedades cardiovasculares y trombóticas (Haque & Silva, 2023).

El contenido proteico más alto en *C. mexicanus* (2.41 %) confirma su relevancia como fuente de aminoácidos esenciales, seguida por *H. malabaricus* y *H. littorale*, lo que subraya el potencial de estas especies para complementar dietas con deficiencias proteicas. En contraste, *A. pulcher* exhibió el menor contenido proteico (0.64 %), lo que podría limitar su valor en este aspecto.

Los carbohidratos, aunque presentes en menor proporción en comparación con otros macronutrientes, mostraron concentraciones más altas en *H. malabaricus* (17.36 %), *A. pulcher* (16.29 %) y *C. kraussi* (15.26 %). En este sentido, su presencia podría influir en la palatabilidad y en la disponibilidad de energía rápida para los consumidores, destacando la importancia del pescado en la alimentación frente a fuentes ricas en carbohidratos como harinas y carnes.

Comparaciones con estudios previos (D'Armas et al., 2009) indican similitud en los valores de lípidos (1.50-6.20 %), proteínas (18.70-25.53 %), humedad (70.73-78.64 %) y cenizas (0.94-1.94 %). Aunque las condiciones experimentales difieren, se observan coincidencias entre los organismos dulceacuícolas analizados, a pesar de variaciones en su hábitat, hábitos alimenticios y morfología.

El análisis proximal permite clasificar a *C. mexicanus*, *H. littorale* y *H. plecostomus* como especies de alto valor energético, mientras que *C. mexicanus*, *H. littorale* y *H. malabaricus* son las más nutritivas. Por otro lado, *C. kraussi*, *P. clarias* y *A. pulcher* se perfilan como suplementos energéticos adecuados.

La Fig. 5 presenta el uso de tres conglomerados para las variables del análisis proximal de las siete especies estudiadas. Los resultados muestran la distribución normal de 21 puntos de datos alrededor de tres grupos en la figura. El tamaño de cada clúster tiene relación con el número de puntos de datos, el tamaño del clúster 1 es 1 (color púrpura), el tamaño del clúster 2 es 11 (color verde) y el tamaño del clúster 3 es 9 (color azul). La muestra Hm2 (Cluster 1 "color púrpura") muestran mayor relación con el contenido de proteínas mientras que las muestras Hm1, Hm3, Pc1, Pc2, Pc3, Ck1, Ck2, Ck3, Ap1, Ap2 y Ap3 pertenecientes al Cluster 2 (color verde) muestran mayor relación con el contenido de humedad y carbohidratos. Las muestras Cm1, Cm2, Cm3, Hl1, Hl2, Hl3, Hp1, Hp2 y Hp3 (Cluster 3 "color azul") muestran relación con el contenido de grasas y cenizas, lo que sugiere que estas especies tienen un mayor almacenamiento de lípidos y contenido mineral.

Solo la muestra Hm2 se agrupa en el cluster 1, lo que indica que es una excepción en comparación con las demás especies. Se asocia con un alto contenido de proteínas**,** sugiriendo que la especie tiene una mayor concentración de este macronutriente en comparación con las otras. El cluster 2 se correlaciona con humedad y carbohidratos**,** indicando que las especies en este grupo tienen un alto contenido de agua y compuestos energéticos (Giraldo & Velasco, 2019).

El tamaño de los clusters refleja la distribución de los datos y su relación con los componentes analizados. La presencia de un único elemento en el Cluster 1 sugiere que Hm2 tiene un perfil nutricional muy distinto**,** mientras que los otros dos grupos presentan patrones más consistentes.

Los análisis de composición proximal (lípidos, proteínas, carbohidratos, cenizas y humedad) revelaron diferencias significativas entre las especies de peces evaluadas, indicando una alta variabilidad en su perfil bioquímico. *C. mexicanus* presentó los valores más elevados de lípidos y proteínas, lo que la posiciona como una especie con alto potencial energético y nutricional, adecuada para dietas enfocadas en la provisión de macronutrientes esenciales.

Los valores obtenidos en este estudio confirman que las especies dulceacuícolas analizadas constituyen fuentes valiosas de proteínas de alta calidad, así como de compuestos bioactivos con potencial funcional. Esta composición coincide con lo señalado por (Durazzo et al., 2022), quienes destacan que los peces de agua dulce aportan nutrientes esenciales, incluyendo ácidos grasos poliinsaturados, minerales y péptidos bioactivos. A su vez, (Noreen et al., 2025) subrayan que estas especies presentan una elevada proporción de agua (66-81 %), lo que puede influir en su vida útil y en su procesamiento postcosecha. Además, un análisis reciente de (Chi et al., 2025) explica que la elevada humedad y pH neutro de los productos acuáticos crean condiciones ideales para el crecimiento de microorganismos como *Pseudomonas* y *Shewanella*, acelerando el deterioro si no se aplican estrategias adecuadas de preservación. En conjunto, estos hallazgos respaldan el potencial de las especies estudiadas para su inclusión en la dieta humana y en el desarrollo de productos nutracéuticos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT-MinCyT) por el financiamiento del proyecto CFP N° 202300067, para la reactivación y puesta a punto del equipo Iatroscan TLC-FID.

REFERENCIAS

Anyakudo, F., Adams, E., & Van Schepdael, A. (2020). Analysis of amikacin, gentamicin and tobramycin by thin layer chromatography-flame ionization detection. *Microchemical Journal*, *157*, 105032. https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105032

Araujo, P., Truzzi, C., Belghit, I., & Antonucci, M. (2021). The impact of seawater warming on fatty acid composition and nutritional quality indices of *Trematomus bernacchii* from the Antarctic region. *Food Chemistry*, *365*, 130500. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130500

Bu, T., Sun, Z., Pan, Y., Deng, X., & Yuan, G. (2024). Glucagon-like peptide-1: New regulator in lipid metabolism. *Diabetes & Metabolism Journal*, *48*(3), 354–372. https://doi.org/10.4093/dmj.2023.0277

Cañada-Millán, J., Hurtado-Sarabia, J. L., Ramos-Carrera, N., & Quevedo-Santos, Y. (2021). Proteína de pescado: Nutrición e innovación. *Nutrición hospitalaria: Órgano oficial de la Sociedad Española de Nutrición Clínica y Metabolismo (SENPE)*, *38*(2), 35–39.

Chi, Y., Luo, M., & Ding, C. (2025). The role of microbiota in fish spoilage: Biochemical mechanisms and innovative preservation strategies. *Antonie van Leeuwenhoek*, *118*(7), 89. https://doi.org/10.1007/s10482-025-02101-z

Cusiyunca-Phoco, E. R., Ruiz-Espinoza, J., Collachagua-Echevarria, J. E., Jeanette-Mendoza, L., & Ayala-Guevara, K. J. (2024). Estudio comparativo de las características biométricas, composición proximal de macronutrientes y perfil de ácidos grasos de 3 especies del género Orestias. *Agroindustrial Science*, *14*(1), Artigo 1. https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2024.01.08

D'Armas, H., Koftayan, T., & Milano, J. (2009). Composición de lípidos del mejillón verde (*Perna viridis L.*) en periodo de maduración, proveniente de diferentes localidades, mediante métodos cromatográficos y de RMN13C. Parte II. *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, *21*(3), 235–243.

D'Armas, H. T., Reyes, D., Ranaudo, M. A., & Yánez, D. (2015). Composición lipídica del tejido muscular de las especies de peces *Mylossoma duriventre*, *Pimelodus blochii* y *Pygocentrus cariba*, provenientes del caño Manaticito, estado Apure, Venezuela. *Saber*, *27*(3), 391–400.

Durazzo, A., Di Lena, G., Gabrielli, P., Santini, A., Lombardi-Boccia, G., & Lucarini, M. (2022). Nutrients and bioactive compounds in seafood: Quantitative literature research analysis. *Fishes*, *7*(3), 132

Fonseca Rodríguez, C., Chavarría-Solera, F., & Mejía-Arana, F. (2013). Variación estacional de la composición proximal en tres especies de importancia comercial del Golfo de Nicoya, Puntarenas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, *61*(1), 429–437.

Fuentes-Paredes, F. M. D., Quispe-Díaz, I. M., & García-Baltazar, J. (2012). Estandarización del método de Biuret para cuantificar proteínas totales en suero antibotrópico polivalente producido en el Centro Nacional de Productos Biológicos del INS. *Boletín del Instituto Nacional de Salud, 18*(11-12), 220–224. Instituto Nacional de Salud. https://hdl.handle.net/20.500.14196/384

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación & Organización Mundial de la Salud. (2005). *Secretariado de la Comisión del Codex Alimentarius: Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias* (2ª ed.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius

Giraldo, S. A., & Velasco, D. M. L. (2019). Reacciones químicas de los azúcares simples empleados en la industria alimentaria. *Lámpsakos*, *22*, 123–136.

Hao, M., Yi, L., Cheng, W., Zhu, J., & Zhao, S. (2024). Lipidomics analysis reveals new insights into crisp grass carp associated with meat texture. *Heliyon*, *10*(11). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32179

Haque, M., & Silva, J. L. (2023). Proximate composition, retained water, and bacterial load for two sizes of hybrid catfish (*Ictalurus furcatus* × *Ictalurus punctatus*) fillets at different process steps. *Foods*, *12*(5). https://doi.org/10.3390/foods12051112

Islam, S., Bhowmik, S., Majumdar, P. R., Srzednicki, G., Rahman, M., & Hossain, A. (2021). Nutritional profile of wild, pond-, *gher-* and cage-cultured tilapia in Bangladesh. *Heliyon*, *7*(5), e06968. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06968

Izquierdo-Córser, P., Torres-Ferrari, G., Barboza de Martínez, Y., Márquez-Salas, E., & Allara-Cagnasso, M. (2000). Análisis proximal, perfil de ácidos grasos, aminoácidos esenciales y contenido de minerales en doce especies de pescado de importancia comercial en Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, *50*(2), 187–194.

Lau, C., Lu, X., Chen, X., Hoy, K. S., Davydiuk, T., Graydon, J. A., Reichert, M., LeBlanc, A., Donadt, C., Jhangri, G., & Le, X. C. (2025). Arsenic speciation in more than 1600 freshwater fish samples from fifty-three waterbodies in Alberta, Canada. *Journal of Environmental Sciences (China)*, *153*, 289–301. https://doi.org/10.1016/j.jes.2024.12.009

Leal-Rodrigues, B., Guerra Monteiro, M. L., Vilhena da Cruz Silva Canto, A. C., Peireira da Costa, M., & Conte Junior, C. A. (2020). Proximate composition, fatty acids and nutritional indices of promising freshwater fish species from Serrasalmidae family. *CyTA: Journal of Food*, *18*(1), 591–598.

Lee, H. G., Joo, M., Park, J. M., Kim, A., & Lee, H. (2022). Lipid profiling of Pacific abalone (*Haliotis discus hannai*) at different developmental stages using ultrahigh performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, *2022*, 5822562–5822562.

Łuczyńska, J., Paszczyk, B., & Łuczyński, M. J. (2014). Fatty acid profiles in marine and freshwater fish from fish markets in northeastern Poland. *Fisheries & Aquatic Life*, *22*(3), 181–188. https://doi.org/10.2478/aopf-2014-0018

Mgbechidinma, C. L., Zheng, G., Baguya, E. B., Zhou, H., Okon, S. U., & Zhang, C. (2023). Fatty acid composition and nutritional analysis of waste crude fish oil obtained by optimized milder extraction methods. *Environmental Engineering Research*, *28*(2). https://doi.org/10.4491/eer.2022.034

Mogobe, O., Mazrui, N. M., Gondwe, M. J., Mosepele, K., & Masamba, W. R. L. (2024). Nutrient composition of common fish species in the Okavango Delta: Potential contribution to nutrition security. *Environment, Development and* Sustaina*bility*, *26*(8), 19731–19753. https://doi.org/10.1007/s10668-023-03434-3

Motta Soler, Á. M. (2019). *Evaluación de un solvente verde para la extracción de lípidos a partir de biomasa de microalgas a escala laboratorio* [Tesis de grado, Fundación Universidad de América]. http://hdl.handle.net/20.500.11839/7395

Noreen, S., Hashmi, B., Aja, P. M., & Atoki, A. V. (2025). Health benefits of fish and fish by-products—A nutritional and functional perspective. *Frontiers in Nutrition*, *12*, 1564315. https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1564315

Ondo-Azi, A. S., Kumulungui, B. S., Mewono, L., Koumba, A. M., & Missang, C. E. (2013). Proximate composition and microbiological study of five marine fish species consumed in Gabon. *African Journal of Food Science*, *7*(8), 227–231. https://doi.org/10.5897/AJFS12.177

Piñeiro-Corrales, G., Lago Rivero, N., & Culebras-Fernández, J. M. (2013). Papel de los ácidos grasos omega-3 en la prevención de enfermedades cardiovasculares. *Nutrición Hospitalaria*, *28*(1), 1–5. https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.1.6312

Przybylski, R., Wu, J., & Eskin, N. A. M. (2013). A rapid method for determining the oxidative stability of oils suitable for breeder size samples. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 90*(7), 933–939. https://doi.org/10.1007/s11746-013-2240-1

Sinanoglou, V. J., Strati, I. F., Bratakos, S. M., Proestos, C., Zoumpoulakis, P., & Miniadis-Meimaroglou, S. (2013). On the combined application of Iatroscan TLC-FID and GC-FID to identify total, neutral, and polar lipids and their fatty acids extracted from foods. *International Scholarly Research Notices*, *2013*(1), 859024. https://doi.org/10.1155/2013/859024

Ullah, M. R., Rahman, M. A., Haque, M. N., Sharker, M. R., Islam, M. M., & Alam, M. A. (2022). Nutritional profiling of some selected commercially important freshwater and marine water fishes of Bangladesh. *Heliyon*, *8*(10), e10825. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10825

Vekic, J., Zeljkovic, A., Cicero, A. F. G., Janez, A., Stoian, A. P., Sonmez, A., & Rizzo, M. (2022). Atherosclerosis development and progression: The role of atherogenic small, dense LDL. *Medicina*, *58*(2), 2. https://doi.org/10.3390/medicina58020299

Voronin, V. P. (2023). Lipid profile of the muscle tissue of some mesopelagic fish species of the families Stomiidae and Myctophidae from different depths of the Irminger Sea, North Atlantic. *Voprosy ihtiologii*, *83*(5), 608–620.

Zheng, K., Wu, L., He, Z., Yang, B., & Yang, Y. (2017). Measurement of the total protein in serum by biuret method with uncertainty evaluation. *Measurement*, *112*, 16–21. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.08.013