



Estudio comparativo de las características biométricas, composición proximal de macronutrientes y perfil de ácidos grasos de 3 especies del género *Orestias*

Comparative study of the biometric characteristics, proximal macronutrient composition and fatty acid profile of 3 species of the genus *Orestias*

Edilson Ronny Cusiyunca-Phoco^{1*}; Johan Ruiz-Espinoza²; John Eder Collachagua-Echevarria³; Lizzy Jeanette-Mendoza²; Karen Janet Ayala-Guevara²

¹ Facultad de Ingeniería Pesquera, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Pje. Mercedes Indacochea 609, Huacho 15136, Perú.

² Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Roosevelt, Av. Giráldez 542, Huancayo 12001, Perú.

³ Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Científica del Sur, Antigua Panamericana Sur 19, Villa el Salvador 15067, Perú.

ORCID de los autores

E. R. Cusiyunca-Phoco: <https://orcid.org/0000-0003-0783-3032>

J. Ruiz-Espinoza: <https://orcid.org/0000-0002-2538-7956>

J. E. Collachagua-Echevarria: <https://orcid.org/0000-0001-8265-8073>

L. Jeanette-Mendoza: <https://orcid.org/0000-0001-9121-6808>

K. J. Ayala-Guevara: <https://orcid.org/0000-0002-3812-2359>

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar las diferencias que presentan tres especies del género *Orestias* (*O. luteus*, *O. olivaceus* y *O. agassii*), en biometría, composición proximal de macronutrientes y perfil de ácidos grasos. Se emplearon un total de 90 peces y se procedió a medir longitud total (LT), longitud estándar (LE) y peso total (Pt) ($n = 30$ por especie), y 10 peces por cada grupo al azar para determinar ácidos grasos. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre especies; el valor mayor lo obtuvo *Orestias agassii* (LT de $13,00 \pm 0,14$ cm, LE de $11,86 \pm 0,91$ cm y Pt de $27,54 \pm 2,78$ g). Para ácidos grasos se evidenciaron valores ligeramente altos en PUFA ($38,56 \pm 0,81\%$), LC PUFA n-3 ($25,70 \pm 0,28\%$) y LC PUFA n-6 ($13,92 \pm 0,81\%$) en *O. luteus*. También se encontró un mayor contenido de ácido vaccénico (18:1 ω 11) en *O. agassii* ($6,04 \pm 0,01$ g 100^{-1} ácido graso), correspondiente a una mayor ingesta de algas. Se recomienda desarrollar trabajos en enriquecimiento de fuentes de EPA + DHA en piensos para estas especies que permitan demostrar su potencial acuícola, en la búsqueda de una nutrición saludable de especies acuáticas.

Palabras clave: *Orestias luteus*; *Orestias olivaceus*; *Orestias agassii*; biometría.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the differences between three species of the genus *Orestias* (*O. luteus*, *O. olivaceus* and *O. agassii*) in biometry, proximal macronutrient composition and fatty acid profile. A total of 90 fish were used and total length (TL), standard length (LE) and total weight (W) were measured ($n = 30$ per species), and 10 fish for each group were measured at random to determine fatty acids. The results showed significant differences ($p < 0.05$) between species; the highest value was obtained by *Orestias agassii* (TL of 13.00 ± 0.14 cm, LE of 11.86 ± 0.91 cm and W of 27.54 ± 2.78 g). For fatty acids, slightly high values were evident in PUFA ($38.56 \pm 0.81\%$), LC PUFA n-3 ($25.70 \pm 0.28\%$) and LC PUFA n-6 ($13.92 \pm 0.81\%$) in *O. luteus*. A higher content of vaccenic acid (18:1 ω 11) was also found in *O. agassii* (6.04 ± 0.01 g 100^{-1} fatty acid), corresponding to a higher intake of algae. It is recommended to develop work on the enrichment of EPA + DHA sources in feed for these species to demonstrate their aquaculture potential, in the search for healthy nutrition for aquatic species.

Keywords: *Orestias luteus*; *Orestias olivaceus*; *Orestias agassii*; biometry.

1. Introducción

Actualmente la importancia del consumo de proteína de origen animal se ve influenciada por las bondades que aportan para el desarrollo corporal, cerebral y sobre todo la salud humana. Uno de estas fuentes son los pescados que independientemente sea su origen (marino o continental) poseen un alto valor nutritivo, proteico, fuentes de ácidos grasos y nutrientes esenciales, una de las características de los recursos hidrobiológicos como fuente de alimento es su biodisponibilidad que comprenden entre un 5 a 15 % más de proteína en comparación a las de origen vegetal, por otro lado aminoácidos esenciales y ácidos grasos también no dejan de ser las más importantes, los ácidos grasos poliinsaturados así como el grupo de los omega-3, ácido docosahexaenoico y ácido eicosapentaenoico (DHA y EPA) y Omega-6, ácido araquidónico (ARA) demuestran su beneficio tanto para mujeres gestantes, Pre natal, infantes (mayor actividad cerebral) (Giménez 2017; Basak et al., 2020; Khan et al., 2023), también la suplementación de EPA y DHA para las personas de la tercera edad ayuda en la prevención del Alzheimer, enfermedades cardiovasculares e inflamatorias (Dangour et al., 2012; Miles & Calder, 2012; Giacobbe et al., 2020; Sala-Vila et al., 2022; Jiang et al., 2022; Khan et al., 2023; Zhang et al., 2023). Así mismo los peces nos aportan un sin fin de vitaminas (D, A y B) y minerales (Ca, P, I, Zn, Fe y Se).

Dentro de los peces continentales y de mayor importancia para el sector del Altiplano peruano después de la trucha son los del Genero *Orestias*, Orden Cyprinodontiformes; Suborden Cyprinodontoides; Superfamilia Cyprinodontidae; Familia Orestiidae; *Orestias Valenciennes 1839*, que son más de 24 especies diferentes entre sí, por sus características fenotípicas, propias distribuciones geográficas (temporal y espacial) y ontogénicamente, llegando a tener una alta variabilidad morfológica y genética (Northcote 2000). *Orestias* cupan el sistema lacustre, pequeñas charcas o bofedales bajo condiciones propias del ecosistema andino, adaptándose a diferentes ambientes tales como hipersalinos, temperaturas bajas muy cercanas a 0 °C, que conlleva a que soportan cambios bruscos de temperatura propiamente de los ecosistemas andinos (Sarmiento et al., 2009; De La Barra et al. 2009; De La Barra 2012; De La Barra et al., 2020). Para el caso del carachi negro cuya característica más oscura es para la fase adulta con la parte lateral y ventral blanco,

llamándose así *Orestias agassii*. También el carachi amarillo llamado *Orestias luteus* que comprende toda la cuenca del lago Titicaca compartiendo con Perú y Bolivia, es una de las especies más depredadas tanto por la pesca desde épocas Preincaicas hasta la actualidad, y como alimento base para el pejerrey como especie introducida, logran alcanzar tallas de 22 centímetros y pesos de 130 gramos (Apaza, s.f.; Lauzanne, 1992; Miller et al., 2010; Loaiza et al., 2023; Cardoso et al., 2023).

Por otro lado, *Orestias olivaceus* presenta una peculiaridad en su pigmentación de piel, siendo amarillo el cuerpo con manchas pequeñas que asemejan al manto que posee el cuerpo de un leopardo, al igual que el carachi amarillo es consumida por los pobladores rurales de la zona. Se conoce que esta especie es una de las menos cotizadas y de bajo precio, pero no menos importante aludiendo por presentar algunos parásitos en su cabeza (Cardoso et al., 2023). La producción de peces en el altiplano Peruano a finales del 2023 se redujo a un 71,1% con respecto a especies criadas en jaulas en lago, el Carachi presento una alta demanda en la pesca con un 61,9% , seguido de trucha natural con un 59,5% demostrándose que el carachi gracias a los proyectos de repoblamiento binacional, busca promover su uso sostenible esta especie desarrollando una alta demanda por sus propiedades nutritivas (Chura & Mollocondo, 2009; PELT 2019; BCRP, 2023).

Estas tres especies de *Orestias* ocupan un nicho ecológico donde se desplazan, y se alimentan de una alta variedad de alimentos al ser considerados como Omnívoros, mas no es así para *O. luteus* que tiende a ser invertívoro carnívoro lo cual demuestra la peculiaridad de su gran tamaño y peso (De la Barra et al., 2020; Loaiza et al., 2023). Dentro del sustrato alimenticio para las *Orestias* consta de especies de anfípodos (*Hyalella spp*) y moluscos (Hydrobiidae y Planorbidae) (Lauzanne, 1992; Monroy et al., 2014), coexistiendo en el mismo habitat y distribución geográfica y lucha por el alimento, pero dentro de sus límites el cual llegan a tener la denominación de especies congénicas dietéticas (Loayza et al., 2020; Machovsky-Capuska & Raubenheimer, 2020; Cardoso et al., 2023). Llegando a entender que hay una variabilidad trofogástrica por especie demostrándose su selección de dieta, así como zooplánctívoros, fitofagia e bentofagia o bentófagos estrictos (Northcote 2000; De la Barra et al., 2020).

La fase larvaria es una etapa crítica, de mayor importancia en la acuicultura, ya que compromete el desarrollo de la actividad y que el mayor contenido de la proteína suministrada en la dieta se almacene en el organismo del pez y asegure su crecimiento con una mayor supervivencia (Agüero et al., 2014; Canada et al., 2017; Mamani-Ochochoque et al., 2023). De la misma manera la evaluación biométrica es un indicativo energético y eficaz como parámetro de crecimiento la longitud total (LT) (Barnett et al., 2017; Bachiller et al., 2018; Nobre et al., 2019), la fisiología del pez, edad sexo, etapa de maduración gonadal, desarrollo embrionario, análisis filogenético, calidad del músculo, y la disponibilidad y periodicidad de los alimentos (Ujjania et al., 2012; Gupta & Banerjee, 2015; Schloesser & Fabrizio, 2017; Amaru et al., 2021; Ochochoque et al., 2023) esta variabilidad podría relacionarse por temas ambientales, filogeográficos, temperatura del agua, contaminantes, temporales de muestreo y variabilidad poblacional (Al Nahdi et al., 2016; Cerdá, 2016; Miller et al., 2015; Di Genova. et al., 2022), de tal manera que el metabolismo de los peces va condicionado a estas variaciones, afectando la ingesta, el crecimiento, supervivencia y conservación de la especie (Castello-Orvay, 1998; Flores, 2022; Ochochoque et al., 2023)

Una peculiaridad de los peces de agua dulce tiende a que poseen una mayor actividad enzimática frente a los peces marinos, por producir ácido araquidónico (ARA, 20:4n-6) ácido eicosapentaenoico (EPA, 20:5n-3) y ácido docosahexaenoico (DHA, 22:6n-3) cuyos precursores, ácido linoleico y linolénico están presentes dentro de la dieta (Izquierdo *et al.*, 2005), sin embargo los peces marinos presentan ciertas restricciones en su actividad enzimática por tal motivo no consiguen sintetizar de novo, haciendo que sea preciso incluir dentro de la dieta (piensos), considerándolos a estos ácidos grasos de mayor importancia o esenciales (Izquierdo et al., 2005; Giménez 2017). Para el caso de las *Orestias* su comportamiento alimentario se basaría de la ecología nutricional que presenta en su entorno, teniéndose así esas interacciones nutricionales basados en su dieta (anfípodo y moluscos) (Raubenheimer et al., 2009, 2012) percibiendo un enfoque energético y el rol de la organización de las poblaciones, comunidades y ecosistemas descubriendo diferencias tanto en composición corporal y nutrientes por especie debido a muchos factores (Simpson et al., 2010; Tait et al., 2014; Loayza et al., 2020). De esta manera los peces al presentar esta divergencia

fenotípica entre poblaciones de la misma especie en un hábitat heterogénea agua dulce (lótico y léntico) demuestra la plasticidad morfológica y trófica exponiendo la vulnerabilidad a disminuir su población frente al consumo de la población del altiplano (Fraser et al., 2004; Scott et al., 2020; Habit et al., 2005; Loayza, 2017; Macaya et al., 2019; Rojas et al., 2020). Al final el pescado como tal cumple la función de nutrir, demostrando la percepción del consumidor por su elección de estas especies para la prevención de enfermedades cardiovasculares y otros beneficios fisiológicos a más del sabor que representa en los distintos platos elaborados a base de este recurso (Khan et al., 2020; Calanche-Morales et al., 2021; Perez-Velazquez et al., 2024), aunque es recomendable reconocer que las concentraciones de DHA + EPA en especies de agua dulce son muy variables, por lo que la organización mundial de la salud recomienda a primera instancia un consumo de 250 mg día⁻¹, lo que concuerda por otras organizaciones a nivel mundial Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, 2010, la Sociedad Suiza para la investigación en Nutrición (DACH, 2008), Sociedad Alemana de Nutrición (DACH, 2008) y otras.

El objetivo de este estudio fue comparar el análisis biométrico, composición corporal de macronutrientes (materia seca, grasa cruda, proteína cruda y ceniza) y perfil de ácidos grasos, esto como un instrumento indirecto de comprender a las tres especies del género *Orestias* (OGA, OOV, OLU) diferenciando su aporte nutricional e infiriendo parte de su ecología alimentaria según su hábitat o nicho ecológico, por otro lado los problemas que aquejan estas especies al ser organismos de almacenamiento de metales pesados, y la alternativa de una producción acuícola sostenible en temas de enriquecimiento de fuentes de EPA y DHA aludiendo a los llamados "Alimentos Funcionales o Nutraceuticos" para una buena nutrición y salud. Dicha información contribuirá al aporte científico y la seguridad alimentaria para la población del altiplano peruano y en general

2. Material y métodos

2.1 Localización

Los peces fueron recolectados en abril del 2023 cuya temporada de comercialización era apta para el consumidor y la fase de laboratorio se desarrolló de mayo a julio, teniéndose 30 peces por especie y un total de 90 pescados. Los ejemplares fueron adquiridos en el Mercado

Central de la Ciudad de Puno (15°50'S y 70°1'W) 30 peces del género *Orestias olivaceus* conocido como carachi enano, 30 peces del género *Orestias agassii* o carachi negro/gris y 30 peces del género *Orestias luteus* o carachi amarillo. Todos los ejemplares provenían del Lago Titicaca producto de la pesca, en condiciones que favorecían su expendio y respetando la cadena de frío.

2.2 Metodología

Los peces fueron transportados por vía Aérea a la Ciudad de Lima en compartimientos de refrigeración a -18 °C, ya presentes en el laboratorio de Acuicultura de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión se inició el trabajo biométrico, se descongeló los peces en temperatura ambiente y seguidamente se procedió a medir longitud total (Lt), longitud estándar (Le) y peso total (Pt) de cada individuo. Seguidamente se procedió a preparar las muestras para la composición Proximal y perfil de ácidos grasos de dichos peces, por cada especie.

2.3 Composición proximal

Se extrajeron como 10 peces al azar por cada especie, haciendo un total de 30 peces para realizar los análisis, las muestras fueron los peces enteros, que siendo triturados con un molino se aseguró la homogeneidad y almacenado a diferentes botes identificados con un código correspondiente (F-OLU 1, F-OLU 2, OAG 1). Por otro lado, parte de la muestra fueron congeladas y posterior sublimación (liofilización) al vacío. Se desarrolló en placas Petri, puestas al congelador a -80 °C por 24 horas, posterior se procedió llevarlas al liofilizado durante 24 horas para que fuera eliminado la humedad retenida, posterior se trituraron las muestras ya liofilizadas y se guardaron en botes para seguir con el análisis proximal (proteína bruta, grasa bruta y ácidos grasos), la Proteína bruta fue determinado por el método DUMAS (método de combustión directa) LECO CN 628 (2014), el cual mide todas las bases nitrogenadas de las muestras, Grasa bruta el cual fue determinado por el método de extracción ANKOM XT10 (Macedon, NY, EE. UU.), que permite extraer usando éter metílico. Las muestras frescas se procedieron a analizar materia seca y cenizas. Para materia seca, tanto de la muestra fresca como la del liofilizado se determinó por deshidratación a 105 °C en estufa hasta peso constante. Posterior resultado a la obtención de la materia seca se procedió a introducir los mismos crisoles con muestras a una

mufla a 500 °C durante 5 horas cuyo resultado sería cenizas, cada análisis se desarrolló por triplicado.

Para la determinación de ácidos grasos se realizó por el protocolo adaptado de O'Fallon et al. (2007), seguido por cromatografía de gases para evaluar la cantidad de los ácidos grasos.

2.4 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis ANOVA unidireccional que permite identificar las diferencias entre especies ($p < 0,05$) usando el programa Statgraphics ® Plus 5.1 (Statistical Graphics Corp Rockville, MO, EE. UU). Para evaluar las semejanzas entre especies para los ácidos grasos se determinó por el análisis de similitud porcentual (SIMPER).

3. Resultados y discusión

De un total de 90 ejemplares evaluados ($n = 30$ por cada especie) se encontraron diferencias en cuanto a longitud total (LT) los valores más altos fueron atribuidos de forma decreciente, OAG, OLU y OOV ($13,00 \pm 0,14$; $11,35 \pm 0,21$; $8,76 \pm 0,28$ cm) del mismo modo para longitud estándar (LE) ($11,86 \pm 0,91$; $10,71 \pm 0,13$; $7,51 \pm 0,41$ cm) y el peso total (Pt) ($27,54 \pm 2,78$; $25,38 \pm 1,63$; $10,9 \pm 1,56$ g) (Tabla 1). Los valores biométricos son similares a los reportados por Loayza et al. (2023); no obstante otros autores manifiestan valores biométricos de *Orestias* (OAG, OLU, OOV) por sexo separado cuyos parámetros para hembras fueron LT (11,44; 10,68 y 6,86 cm), Pt (49,71; 45,96 y 12,92 g) y para machos LT (10,09; 9,80 y 5,84 cm), Pt (38,84; 38,61 y 10,17 g), demostrando que valores altos para LT y Pt fueron en ejemplares hembras en el siguiente orden OAG (*Orestias agassii*), OLU (*Orestias luteus*) y OOV (*Orestias olivaceus*) cuya explicación enfatiza a diferentes velocidades de crecimiento que presentan ambos sexos (Buitrón 2005), del mismo modo Cardoso et al. (2022) reporta en ese mismo orden valores superiores para hembras LT (12,11; 11,16 y 8,86 cm), y Pt (28,53; 27,73 y 11,26 g), y para machos LT (11,5; 11,028 y 8,22 cm), Pt (23,46; 23,33 y 9,2 g), esto demuestra una jerarquización morfométrica alta para el género *Orestias* en caso de hembras (Flores-Arzabe, 2013). Pero también se atribuye que las etapas fisiológicas como crecimiento y reproducción son procesos complementarios que tienen una demanda energética y de nutrientes, que son provenientes del alimento en el nicho ecológico que se localizan (De La Barra et al., 2020; Amaru et al., 2020; Diana & Höök, 2023).

Dentro de las composiciones de macronutrientes, tanto materia seca, proteína cruda y ceniza no se evidencian diferencias significativas entre especies, demostrado valores similares a los reportados por Loayza et al. (2023), no obstante se percibió un valor mayor para proteína en OAG ($63,60 \pm 1,27\%$), explicándose a que dentro de su dieta comprenden sustratos alimenticios con mayor contenido proteico a base de cladóceros y algas y pueden reajustarse de acuerdo a la oferta alimenticia (Maldonado et al., 2009; De La Barra et al., 2020), lo cual también se reflejaría al aumento en el contenido de ácidos grasos. En el caso de grasa cruda se observó un mayor contenido para *Orestias luteus* ($6,65 \pm 0,21\%$) seguido de OAG ($6,50 \pm 0,57\%$) y OOV ($6,20 \pm 0,85\%$), se atribuye a una mayor ingesta para OAG a base de moluscos y microcrustáceos bentónicos, debido a su morfología funcional bucal de dientes faríngeos que le permitiera despedazar los caparazones de algunos moluscos, asegurando su desplazamiento en busca de alimento dentro de la columna de agua en su nicho ecológico, por tal motivo hay una mayor retención de ácidos grasos (De La Barra 2020, Cardoso et al., 2022).

En términos de ácidos grasos se evidenció a través del análisis SIMPER un porcentaje de similitud de 40,74%, demostrando que 11 ácidos grasos de importancia (14:00, 16:00, iso-17:0, 17:1 ω 9 (cis), 18:2 ω 6, 18:3 ω 6, 20:00, 20:1 ω 13 (cis), 22:00, 20:5 ω 3) son similares entre especies (Tabla 2). Loayza et al. (2023) reportó un 70% de similitud entre los ácidos grasos para OLU y OAG (18:1 ω 9 (cis), 16:1n-9 (cis), 20:4 ω 6, 16:0, 18:1 ω 11 (cis), 22:5 ω 3, 18:0, iso-17:0, 20:5 ω 3, 14:0). Para SFA (ácido grasos saturados) se evidencia un ligero aumento en OOV ($34,61 \pm 0,13\%$), frente a OAG ($34,37 \pm 0,06\%$) y OLU ($33,37 \pm 0,74\%$), Loayza et al. (2023) reportó un valor significativamente menor de SFA para OLU ($32,94 \pm 1,59\%$)

y mayor para OAG ($34,78 \pm 2,38\%$); para PUFA (ácidos grasos poliinsaturados) manifestó un valor mayor en OLU ($36,99 \pm 3,95\%$) y menor para OAG ($34,27 \pm 6,24\%$), frente a los resultados obtenidos en la investigación OLU ($38,56 \pm 0,81\%$), OAG ($36,40 \pm 0,23\%$) y OOV ($35,32 \pm 0,01\%$), encontrándose diferencias en OLU con un ligero aumento, que podría justificarse por la selección del tipo de sustrato alimenticio en su nicho ecológico como especie bentónica (Maldonado et al., 2009).

Se evidenciaron pequeñas diferencias dietéticas, en PUFA, n-3, n-6, n6/n3, entre especies OLU, OAG, OOV, algunos autores reportan que el tipo de conservación y secado podría afectar el perfil de ácidos grasos, haciendo que disminuya los PUFA y aumente los contenidos de SFA y MUFA; como lo reporta Loayza et al. (2023) entre OAG y OLU no habiéndose encontrado diferencias. Esto a raíz por el tipo de secado (al sol), encontrándose errores a causa por la oxidación de lípidos (Cui et al., 2023), otros autores recomendarían otras técnicas para que no afecte la composición y oxidación de ácidos grasos (Tenyang et al., 2020). También se evidencia en nuestro estudio que los niveles de PUFA y n-3 no son inferiores en comparación a los reportados por Loayza et al. (2023), haciendo hincapié a que el perfil de ácidos grasos podría verse afectado tanto por la estacionalidad (época de pesca), tipo de sustrato alimenticio y ciclo de vida (Bell et al., 2010). Para ambas especies de *Orestias*, la proporción de ácidos grasos esenciales n-3 se muestran superiores a comparación de otras especies comunes, demostrándose que podría verse afectado por la selección y acumulación del tipo de dieta, así como en otros vertebrados (De Cuyper et al., 2021). Sin embargo, para OLU y OAG el tipo de dieta es a base de anfipodos, moluscos, cladóceros y algas (Loayza et al 2020; Loayza et al., 2023).

Tabla 1

Media \pm SD Biometría y composición de Macronutrientes de cuerpo entero de ejemplares OOV, OAG y OLU recolectados del centro de expendio

	OOV	OAG	OLU	p value
Biometría				
LT (cm)	8,76 \pm 0,28	13,00 \pm 0,14	11,35 \pm 0,21	<0,001
LE (cm)	7,51 \pm 0,41	11,86 \pm 0,91	10,71 \pm 0,13	0,010
Peso de peces (g)	10,9 \pm 1,56	27,54 \pm 2,78	25,38 \pm 1,63	0,007
Composición de macronutrientes (%)				
Materia seca	19,90 \pm 0,57	20,8 \pm 1,56	21,45 \pm 1,20	0,504
Grasa cruda	6,20 \pm 0,85	6,50 \pm 0,57	6,65 \pm 0,21	0,767
Proteína cruda	61,85 \pm 0,49	63,60 \pm 1,27	61,60 \pm 1,41	0,301
Ceniza	20,0 \pm 0,71	18,55 \pm 0,64	20,20 \pm 0,99	0,223

Nota: Ambos valores son estadísticamente significativos. Abreviaciones: OOV, *Orestias olivaceus*; OAG, *Orestias agassii*; OLU, *Orestias luteus*; SD, Desviación estándar; LT, Longitud total; LE, Longitud estándar.

Tabla 2

Media y SD de concentraciones de ácidos grasos del cuerpo de OOV, OAG y OLU recolectados del centro de expendio

Ácidos grasos	(g/100 g de ácidos grasos determinados)			p Value
	OOV	OAG	OLU	
14:00	2,92 ± 0,04	2,69 ± 0,08	2,29 ± 0,02	0,003
Iso-15:0	0,79 ± 0,01	0,78 ± 0,06	0,32 ± 0,04	0,002
A-15:0	0,73 ± 0,03	0,71 ± 0,03	0,36 ± 0,23	0,113
15:00	0,71 ± 0,02	0,69 ± 0,05	0,51 ± 0,08	0,061
Iso-16:0	0,53 ± 0,02	0,54 ± 0,01	0,37 ± 0,04	0,016
16:00	17,94 ± 0,19	18,0 ± 0,14	19,36 ± 0,20	0,007
Iso-17:0	3,15 ± 0,07	3,02 ± 0,02	2,61 ± 0,30	0,113
16:1n9 (cis)	7,21 ± 0,04	7,19 ± 0,06	5,87 ± 0,40	0,017
A-17:0	1,50 ± 0,14	1,60 ± 0,13	1,15 ± 0,08	0,066
17:00	1,28 ± 0,03	1,22 ± 0,05	1,10 ± 0,09	0,125
17:1n9 (cis)	1,10 ± 0,03	1,10 ± 0,07	1,07 ± 0,28	0,971
18:00	4,74 ± 0,08	4,75 ± 0,02	5,12 ± 0,05	0,012
18:1n9 (cis)	11,02 ± 0,03	11,18 ± 0,08	13,12 ± 0,10	<0,001
18:1n11 (cis)	5,83 ± 0,07	6,04 ± 0,01	4,80 ± 0,70	0,102
18:2n6	2,86 ± 0,03	2,88 ± 0,01	2,71 ± 0,35	0,680
18:3n6	0,29 ± 0,01	0,33 ± 0,04	0,32 ± 0,11	0,864
20:00	0,19 ± 0,01	0,24 ± 0,02	0,23 ± 0,06	0,487
18:3n3	1,60 ± 0,13	1,81 ± 0,02	1,90 ± 0,08	0,093
20:1n9 (cis)	0,73 ± 0,04	0,76 ± 0,09	0,55 ± 0,19	0,324
20:1n11 (cis)	0,79 ± 0,04	0,89 ± 0,05	1,20 ± 0,13	0,037
20:1n13 (cis)	0,39 ± 0,01	0,48 ± 0,11	0,71 ± 0,03	0,032
18:4n3	0,56 ± 0,01	0,57 ± 0,12	0,52 ± 0,08	0,854
20:2n6	0,89 ± 0,01	0,95 ± 0,04	1,04 ± 0,12	0,271
20:3n6	0,39 ± 0,05	0,42 ± 0,04	0,42 ± 0,04	0,748
22:00	0,15 ± 0,01	0,16 ± 0,06	0,14 ± 0,01	0,926
20:4n6	6,79 ± 0,02	7,00 ± 0,07	8,39 ± 0,09	<0,001
20:5n3	4,30 ± 0,01	4,66 ± 0,08	4,82 ± 0,10	0,012
Total FA	96,99 ± 0,09	98,38 ± 0,45	97,5 ± 0,71	0,137
SFA	34,61 ± 0,13	34,37 ± 0,06	33,37 ± 0,74	0,123
MUFA	27,06 ± 0,03	27,62 ± 0,28	27,30 ± 1,58	0,840
PUFA	35,32 ± 0,01	36,40 ± 0,23	38,56 ± 0,81	0,015
n3	24,12 ± 0,12	24,83 ± 0,19	25,70 ± 0,28	0,011
n6	12,31 ± 0,15	12,67 ± 0,11	13,92 ± 0,81	0,085
n6:n3	0,51 ± 0,01	0,51 ± 0,01	0,54 ± 0,03	0,304

Nota: Ambos valores son estadísticamente significativos. Abreviaciones: OOV, *Orestias olivaceus*; OAG, *Orestias agassii*; OLU, *Orestias luteus*; FA Ácido graso; MUFA, Ácido graso monoinsaturado; PUFA, Ácido graso poliinsaturado; SD, desviación estándar; SFA, Ácido graso Saturado.

Para OAG cuya concentración de ácido vaccénico (18:1w11) fue superior ($6,04 \pm 0,01$ g 100^{-1} AG) frente a OOV ($5,83 \pm 0,07$ g 100^{-1} AG) y OLU ($4,80 \pm 0,70$ g 100^{-1} AG) se explicaría a una mayor ingesta de algas (Loayza et al., 2023), del mismo modo los valores altos de ácidos graso de cadena larga observados en nuestro estudio marcan a que sean provenientes del tipo de dieta, mas no es así en otras especies de peces, sin afectar el perfil de ácidos grasos y la variación entre la actividad elongasa y desaturasa tanto para peces continentales y marinos (Monroig et al., 2018; Garrido et al., 2019).

Las diferencias en el perfil de ácidos graso y cuál de estas 3 especies contribuye a una buena nutrición en general se refleja entre OAG (Carachi negro) y OLU (Carachi amarillo), lo cual corrobora en la elección (percepción) por el consumidor del altiplano de estas especies, tanto en tamaño y

apariciencia, no obstante si se desea trabajar en temas de repoblación ex situ en centros ictiogénicos, se deberá considerar los sustratos alimenticios o producirlos a una escala pequeña (Anfípodos, moluscos, cladóceros, algas). Por otro lado, en temas de seguridad alimentaria se reportan que hay presencia de metales pesados en estas especies así como también en Pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) y Bagre (*Trichomycterus rivulatus*) lo cual compromete la salud del consumidor del altiplano y que podrían verse afectado por la bioacumulación a la alta ingesta de estos peces por sus propiedades nutritivas (Juengst et al., 2021) y la presencia de Cu, Zn, Cd, Hg, Pb, Co y Fe a nivel de hígado y musculo (Monroy et al., 2014), sobre todo en estas especies bentopelágicas (*Orestias luteus*, *Orestias agassii*) que sobre pasan los umbrales establecidos por la legislación europea (Comisión

Europea (CE), 2001, Comisión Europea (CE), 2019) y americana (FAO/OMS, 1998), pero también podría no verse afectado según la zona de pesca o de extracción.

No obstante, en temas de nutrición con enfoque hacia una buena salud (One Health) las fuentes de DHA mejoran las funciones cognitivas tanto desde la etapa Prenatal hasta la adultez, solo que las necesidades de requerimiento cambiarían tanto por género, edad, actividad física que desarrolla, y por problemas de deficiencia (Sugasini et al., 2019; Balakrishnan et al., 2021; Zhang et al., 2023). Estudios complementarios en temas de alimento funcional en pece, demuestran que al ser enriquecidas en su dieta (pienso) con ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga omega-3 (EPA +DHA) de fuentes como aceite de pescado (FO), y aceite de soja (SO), harina de microalgas marinas (AM) influye directamente con el perfil de ácidos grasos, incrementando los niveles de ácido linoleico 18:2n-6 (LOA), ácido docosahexaenoico y ácido eicosapentaenoico (DHA y EPA) (Glencross et al., 2003; Schultz et al., 2015; Stoneham et al., 2018; Suloma et al., 2022; Perez-Velazquez et al., 2024). Según sea la especie y el tiempo de suministro de la dieta enriquecida, llegarían alcanzar los 250 mg día⁻¹ de DHA + EPA en filete, cuya recomendación es establecida por la FAO (2010) con un enfoque de buena salud

4. Conclusiones

Como alternativa a la producción acuícola sostenible en el altiplano, diversas especies pueden ser producidas en pequeña y gran escala, cubriendo sus requerimientos nutricionales, evitando su depredación y pesca extractiva descontrolada, y asegurando su repoblación y producción de larvas viables en condiciones ex – situ de acuerdo con el entorno de su nicho ecológico. En el estudio se muestra el análisis de la composición proximal, biometría y el perfil de ácidos grasos, haciendo notorio las diferencias sobre la ecología alimentaria, así como por la interpretación de los ácidos grasos (PUFAS, MUFAS y SFA) y sobre todo del ácido Cis-vaccénico (18:1 ω 11). Un aumento en la ingesta de algas para *Orestias agassii* revela como fue el metabolismo de las especies a los desafíos que presentan según el hábitat, estado fisiológico y especie. Su importancia por la cantidad de ω -3 en la salud pública enfatiza sobre su consumo en diferentes platos a base de este recurso, lo cual también sobrelleva a que se mejore la función cognitiva de la población en general, en especial de adulto mayor, que son los

que más aquejan problemas del sistema nervioso con el envejecimiento (Zhang et al., 2023). Se recomienda estudiar el enriquecimiento de fuentes de EPA + DHA, en la búsqueda por tener mayor incorporación en el tejido de estas especies bentopelágicas y poder recrear los llamados alimentos funcionales o nutracéuticos que es un nicho con bastante aceptación y demanda por la población.

Referencias bibliográficas

- Agüero, C. H., Hernández, D. R., Roux, J. P., Sánchez, S., & Santinón, J. J. (2014). Growth and survival of *Rhamdia quelen* larvae reared in ponds after different periods of intensive larviculture. *Revista de Medicina Veterinaria*, 25, 34-39.
- Al Nahdi, A., Garcia de Leaniz, C., & King, A. J. (2016). Spatio-temporal variation in length-weight relationships and condition of the ribbonfish *Trichiurus lepturus* (Linnaeus, 1758): implications for fisheries management. *PLoS One*, 11, 1-14.
- Amaru, G. R., Yujra, E., & Gamarra, C. (2021). Reproducción y crecimiento de carachi amarillo *Orestias luteus* en condiciones de laboratorio utilizando alimento vivo. *Revista del Instituto del Mar Perú*, 48(3), 388-392.
- Apaza (s.f.). Reproducción artificial de peces nativos de la Cuenca del Lago Titicaca. Dirección regional del área de la producción-Puno, PRODUCE.
- Bachiller, E., Utne, K. R., Jansen, T., & Huse, G. (2018). Bioenergetics modeling of the annual consumption of zooplankton by pelagic fish feeding in the Northeast Atlantic. *PLoS One*, 13, 1-29.
- Balakrishnan, J., Kannan, S., & Govindasamy, A. (2021). Structured form of DHA prevents neurodegenerative disorders: A better insight into the pathophysiology and the mechanism of DHA transport to the brain. *Nutrition Research*, 85, 119-134.
- Banco Central de Reserva del Perú. (2023). Puno: Síntesis de Actividad Económica - Diciembre 2023.
- Barnett, A., Braccini, M., Dudgeon, C. L., Payne, N. L., Abrantes, K. G., Sheaves, M., & Snelling, E. P. (2017). The utility of bioenergetics modeling in quantifying predation rates of marine apex predators: ecological and fisheries implications. *International Journal of Scientific Reports*, 7, 1-10.
- Basak, S., Mallick, R., & Duttaroy, A. K. (2020). Maternal docosahexaenoic acid status during pregnancy and its impact on infant neurodevelopment. *Nutrients*, 12(12), 3615.
- Bell, J. G., Pratoomyot, J., Strachan, F., Henderson, R. J., Fontanillas, R., Hebard, A., & Tocher, D. R. (2010). Growth, flesh adiposity and fatty acid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) families with contrasting flesh adiposity: Effects of replacement of dietary fish oil with vegetable oils. *Aquaculture*, 306(1-4), 225-232.
- Calanche-Morales, J. B., Tomás-Vidal, A., Cusiynca Phoco, E. R., Martínez-Llorens, S., Marquina, P. L., Jover-Cerdá, M., & Beltrán, J. A. (2021). An Approach to the Spanish Consumer's Perception of the Sensory Quality of Environmentally Friendly Seabass. *Foods*, 10(11), 2694.
- Canada, P., Conceição, L. E. C., Mira, S., Teodósio, R., Fernandes, J. M. O., Barrios, C., Millán, F., Pedroche, J., Valente, L. M. P., & Engrola, S. (2017). Dietary protein complexity modulates growth, protein utilization and the expression of protein digestion-related genes in *Senegalese sole* larvae. *Aquaculture*, 479, 273-228.
- Cardoso, A., Chávez, K., & Mollericon, M. (2023). Comparación de biometrías en tres especies de carachi (*Orestias luteus*, *O. olivaceus* y *O. agassii*) obtenidos en la ciudad de El Alto, provenientes del lago Titicaca. *Revista Estudiantil Agro-Vet*, 7(1), 5-12.
- Castelló-Orvay, F. (1998). Alimentos y estrategias de alimentación para reproductores y juveniles de peces marinos. pp 550-569. En: Civera-Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C. J., Ricque-Marie, D. y Cruz-Suárez, L. E. (Eds.). Avances en Nutrición

- Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. Noviembre 15-18,1998. La Paz, B.C.S., México.
- Cerdá, M. J. (2016). Estimación del crecimiento, tasa de alimentación y producción de desechos en piscicultura mediante un modelo bioenergético. *Revista AquaTIC*, 9.
- Chura, C. R., & Mollocondo, H. H. (2009). Desarrollo de la acuicultura en el Lago Titicaca (Perú). *Revista AquaTIC*, 6–19.
- Cui, K., Liu, N., Sun, Y., Sun, G., Wang, S., Yang, M., & Wang, M. (2023). Effect of drying processes on the occurrence of lipid oxidation-derived 4-hydroxy-2-hexenal and 4-hydroxy-2-nonenal in Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*). *Food Science & Nutrition*, 11(2), 1013-1023.
- Dangour, A.D., Andreeva, V.A., Sydenham, E., Uauy, R. 2012. Omega 3 fatty acids and cognitive health in older people. *British Journal of Nutrition* 107, S152–S158.
- De Cuyper, A., Winkler, D. E., Tütken, T., Bosch, G., Hummel, J., Kreuzer, M., & Clauss, M. (2022). Digestion of bamboo compared to grass and lucerne in a small hindgut fermenting herbivore, the guinea pig (*Cavia porcellus*). *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 337(2), 128-140.
- De La Barra E. (2010). Distribución y caracterización morfológica de *Orestias agassii* (Teleostei: Cyprinodontidae) en el Altiplano central y sur de Bolivia. Tesis de Licenciatura. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. 57 p.
- De La Barra E., Maldonado M., Carvajal-Vallejos F.M., Coronel J. 2009. Los peces del género *Orestias* (Cyprinodontiformes, Cyprinodontidae) en la Puna meridional de Bolivia. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental*, 26, 15-21.
- De La Barra, E., Maldonado, M., Vila, I., Ibañez, C., Jegú, M., & Carvajal-Vallejos, F. M. (2020). Review of the biology and taxonomy of the genus *Orestias Valenciennes* 1839 (Actinopterygii, Cyprinodontiformes). *Hidrobiología Neotropical y Conservación Acuática*, 1, 185-224.
- Di Genova, A., Nardocci, G., Maldonado-Agurto, R., Hodar, C., Valdivieso, C., Morales, P., & Montecino, M. A. (2022). Genome sequencing and transcriptomic analysis of the Andean killifish *Orestias ascotanensis* reveals adaptation to high-altitude aquatic life. *Genomics*, 114(1), 305-315.
- Diana, J. S., & Höök, T. O. (2023). *Biology and ecology of fishes*. John Wiley & Sons.
- European Commission. (2001). Commission Regulation (EC) No 466/2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Brussels: European Commission.
- FAO. (2010). Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation, Food and Nutrition Paper 91, Rome, Italy, p. 166.
- Flores, R. I. (2022). Crecimiento y supervivencia de juveniles de *Orestias* sp (Carachi) alimentados con tres tipos de dietas a condiciones ambientales en la Laguna de Aricota, Región Tacna. Tesis de Grado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Flores-Arzabe, A. (2013). Ecomorfología y ecología alimentaria del género *Orestias* (pisces cyprinodontiformes) en la puna xerofítica de la provincia de sud Lípez, Potosí Bolivia. Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés.
- Fraser, D. J., Lippe, C., & Bormatchez, L. (2004). Consequences of unequal population size, asymmetric gene flow and sex-biased dispersal on population structure in brook charr. *Mol Ecol*, 13, 67–80.
- Garrido, D., Kabeya, N., Betancor, M. B., Pérez, J. A., Acosta, N. G., Tocher, D. R., & Monroig, Ó. (2019). Functional diversification of teleost Fads2 fatty acyl desaturases occurs independently of the trophic level. *Scientific reports*, 9(1), 11199.
- Giacobbe, J., Benoiton, B., Zunszain, P., Pariante, C. M., & Borsini, A. (2020). The anti-inflammatory role of omega-3 polyunsaturated fatty acids metabolites in pre-clinical models of psychiatric, neurodegenerative, and neurological disorders. *Frontiers in Psychiatry*, 11, 450833.
- Giménez, P. I. (2017). Efectos de la sustitución del aceite de pescado por una mezcla de aceites vegetales en el perfil de ácidos grasos del filete de la *Seriola dumerilii*. Trabajo fin de Máster. Universitat Politècnica de València, España. 22 p.
- Glencross, B. D., Hawkins, W. E., & Curnow, J. G. (2003). Restoration of the fatty acid composition of red seabream (*Pagrus auratus*) using a fish oil finishing diet after grow-out on plant oil-based diets. *Aquaculture Nutrition*, 9(6), 409-418.
- Gupta, S., & Banerjee, S. (2015). Length-weight relationship of *Mystus tengara* (Ham-Buch., 1822), a freshwater catfish of Indian subcontinent. *International Journal of Aquatic Biology*, 3, 114-118.
- Habit, E., Victoriano, P., & Campos, H. (2005). Ecología trófica y aspectos reproductivos de *Trichomycterus areolatus* (Pisces, Trichomycteridae) en ambientes lóticos artificiales. *Revista de Biología Tropical*, 53, 195-210.
- Izquierdo, M., Montero, D., Robaina, L., Caballero, M. J., Rosenlund, G., & Ginés, R. (2005). Alterations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a long-term period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding. *Aquaculture*, 250(1-2), 431-444.
- Jiang, H., Wang, L., Wang, D., Yan, N., Li, C., Wu, M., & Ma, L. (2022). Omega-3 polyunsaturated fatty acid biomarkers and risk of type 2 diabetes, cardiovascular disease, cancer, and mortality. *Clinical Nutrition*, 41(8), 1798-1807.
- Juengst, S. L., Hutchinson, D. L., Chavez, K. M., Chavez, S. J., Chavez, S. R., Krigbaum, J., & Norr, L. (2021). The resiliency of diet on the Copacabana Peninsula, Bolivia. *Journal of Anthropological Archaeology*, 61, 101260.
- Khan, I., Hussain, M., Jiang, B., Zheng, L., Pan, Y., Hu, J., & Zou, X. (2023). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids: *Metabolism and health implications*. *Progress in lipid research*, 101255.
- Lauzanne, L. (1992). Native species the *Orestias*. In C. Dejoux & A. Illis (Eds.). *Lake Titicaca: a synthesis of limnological knowledge*, Monographiae Biologicae. Springer (Vol. 68, pp. 405–419). Dordrecht.
- LECO CN 628 (2014). Manual. Version 1.3x, Part Number 200-747. LECO Corporation. www.leco.com
- Loayza, E., Muñoz-Saravia, A., De Troch, M., Hendriks, W. H., & Janssens, G. P. (2023). Detailed whole-body nutrient analysis identifies differences in feeding ecology between related fish species: The case of *Orestias* native Andean killifish in Lake Titicaca. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 107(5), 1302-1310.
- Loayza, E., Muñoz-Saravia, A., Ibañez, C., Pouilly, M., De Troch, M., & Janssens, G. P. J. (2020). Diet and body composition of two native Andean killifish of Lake Titicaca: Understanding their nutritional ecology. *Proceedings of the Thirtieth Symposia of the Comparative Nutrition Society, Virtual*, 50–54.
- Loayza, M.W. (2017). Crecimiento y supervivencia en la primera etapa de alevinaje de *Trichomycterus rivulatus* (suche) alimentados con nauplio de *Artemia salina* y *Daphnia pulex* en condiciones controladas. Tesis para optar el Título Profesional de Licenciado en Biología. Escuela Profesional de Biología. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Macaya, C., Lam, N., & Vila, I. (2019). Embryological development of the high-altitude killifish *Orestias ascotanensis* Parenti 1984 (Teleostei: Cyprinodontidae). *Environmental biology of fishes*, 102, 675-684.
- Machovsky-Capuska, G. E., & Raubenheimer, D. (2020). The nutritional ecology of marine apex predators. *Annual Review of Marine Science*, 12, 361–387.
- Maldonado, E., Hubert, N., Sagnes, P., & De Mérona, B. (2009). Morphology–diet relationships in four killifishes (Teleostei, Cyprinodontidae, *Orestias*) from Lake Titicaca. *Journal of Fish Biology*, 74(3), 502-520.
- Mamani-Ochochoque, J., Ticona-Quilla, M. N., Hanco-Aguilar, N., Benito-Ramos, L., & Argota-Pérez, G. (2023). Longitud total postlarvaria de *Trichomycterus rivulatus Valenciennes*, 1846 (suche) en condiciones controladas. *Paideia XXI*, 13(1), 185-191.
- Miles, E. A. & Calder, P. C. (2012). Influence of marine n-3 polyunsaturated fatty acids on immune function and a systematic review of their effects on clinical outcomes in rheumatoid arthritis. *British Journal of Nutrition*, 107, S171–S184.

- Miller, M. J., Capriles, J. M., & Hastorf, C. A. (2010). The fish of Lake Titicaca: Implications for archaeology and changing ecology through stable isotope analysis. *Journal of Archaeological Science*, 37, 317–327.
- Miller, S. J., VanGenechten, D. T., Cichra, C. E. (2015). Length-weight relationships and an evaluation of fish-size and seasonal effects on relative condition (Kn) of fishes from the Wekiva River, Florida. *Florida Academy of Sciences*, 78, 1-19.
- Monroig, O., Tocher, D. R., & Castro, L. F. C. (2018). Polyunsaturated fatty acid biosynthesis and metabolism in fish. In: G. C. Burdge (Ed.), *Polyunsaturated Fatty Acid Metabolism* (pp. 31–60). Elsevier.
- Monroy, M., Maceda-Veiga, A., & de Sostoa, A. (2014). Metal concentration in water, sediment and four fish species from Lake Titicaca reveals a large-scale environmental concern. *Science of the Total Environment*, 487, 233-244.
- Nobre, A. M., Valente, L. M. P., Conceição, L., Severino, R. & Lupatsch, I. (2019). A bioenergetic and protein flux model to simulate fish growth in commercial farms: application to the gilthead seabream. *Aquacultural Engineering*, 84, 12-22.
- Northcote T. G. (2000). Ecological interactions among an Orestiid (Pisces: Cyprinodontidae) species flock in the littoral zone of Lake Titicaca. *Advances in Ecological Research*, 31, 399-420. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(00\)31021-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(00)31021-2)
- O'Fallon, J. V., Busboom, J. R., Nelson, M. L., & Gaskins, C. T. (2007). A direct method for fatty acid methyl ester synthesis: Application to wet meat tissues, oils, and feedstuffs. *Journal of animal science*, 85(6), 1511-1521.
- Perez-Velazquez, M., Encinas-Mungarro, J., & González-Félix, M. L. (2024). Rate of change in the fillet fatty acid profile of Nile tilapia to attain a nutraceutical level of DHA + EPA for human consumption. *Aquaculture*, 580, 740270.
- PELT - Proyecto Espacial binacional Lago Titicaca. (2019). Reproducción artificial de especies nativas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Raubenheimer, D., Simpson, S. J., & Mayntz, D. (2009). Nutrition, ecology and nutritional ecology: Toward an integrated framework. *Functional Ecology*, 23, 4–16.
- Raubenheimer, D., Simpson, S. J., & Tait, A. H. (2012). Match and mismatch: Conservation physiology, nutritional ecology and the timescales of biological adaptation. *Philosophical Transactions of the Royal Society, B: Biological Sciences*, 367, 1628–1646.
- Rojas, P., Scott, S., Tobar, I., Romero, Ú., & Vila, I. (2020). Head morphometry of Orestias (Cyprinodontiformes). Response to extreme southern Altiplano systems? *Environmental biology of fishes*, 103, 953-964.
- Sala-Vila, A., Fleming, J., Kris-Etherton, P., & Ros, E. (2022). Impact of α -linolenic acid, the vegetable ω -3 fatty acid, on cardiovascular disease and cognition. *Advances in Nutrition*, 13(5), 1584-1602.
- Sarmiento, J., Barrera, S., De la Barra, E., & Maldonado, M. (2009). Libro rojo de la fauna silvestre de vertebrados de Bolivia. Ministerio de Medio Ambiente y Agua, La Paz, Bolivia. 571 pp.
- Schloesser, R. W., & Fabrizio, M. C. (2017). Condition indices as surrogates of energy density and lipid content in juveniles of three fish species. *Transactions of the American Fisheries Society*, 146, 1058-1069.
- Schultz, S., Koussoroplis, A. M., Changizi-Magrhoor, Z., Watzke, J., & Kainz, M. J. (2015). Fish oil-based finishing diets strongly increase long-chain polyunsaturated fatty acid concentrations in farm-raised common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture Research*, 46(9), 2174-2184.
- Scott, S., Rojas, P., & Vila, I. (2020). Meristic and morphological differentiation of *Orestias* species (Teleostei, Cyprinodontiformes) from the southern Altiplano. *Environmental biology of fishes*, 103(8), 939-951.
- Simpson, S. J., Raubenheimer, D., Charleston, M. A., & Clissold, F. J., (2010). Modelling nutritional interactions: From individuals to communities. *Trends in Ecology & Evolution*, 25, 53–60.
- Stoneham, T. R., Kuhn, D. D., Taylor, D. P., Neilson, A. P., Smith, S. A., Gatlin, D. M., & O'Keefe, S. F. (2018). Production of omega-3 enriched tilapia through the dietary use of algae meal or fish oil: Improved nutrient value of fillet and offal. *PLoS One*, 13(4), e0194241.
- Sugasini, D., Yalagala, P. C., Goggin, A., Tai, L. M., & Subbaiah, P. V. (2019). Enrichment of brain docosahexaenoic acid (DHA) is highly dependent upon the molecular carrier of dietary DHA: Lysophosphatidylcholine is more efficient than either phosphatidylcholine or triacylglycerol. *The Journal of nutritional biochemistry*, 74, 108231.
- Suloma, A., El-Husseiny, O. M., Zidan, A. E. N. F., & Mabroke, R. S. (2022). The efficiency of washout strategy on decreasing the deposit linoleic acid of tilapia fillet and viscera. *Aquaculture Reports*, 23, 101094.
- Tait, A. H., Raubenheimer, D., Stockin, K. A., Merriman, M., & Machovsky-Capuska, G. E. (2014). Nutritional geometry and macronutrient variation in the diets of gannets: The challenges in marine field studies. *Marine Biology*, 161, 2791–2801.
- Tenyang, N., Ponka, R., Tiencheu, B., Djikeng, F. T., & Womeni, H. M. (2020). Effect of traditional drying methods on proximate composition, fatty acid profile, and oil oxidation of fish species consumed in the far-north of Cameroon. *Global Challenges*, 4(8), 2000007.
- Ujjania, N. C., Kohli, M. P. S., & Sharma, L. L. (2012). Length-weight relationship and condition factors of Indian major carps (*C. catla*, *L. rohita* and *C. mrigala*) in Mahi Bajaj Sagar, India. *Journal of Biological Research*, 2, 30-36.
- Zhang, X., Yuan, T., Chen, X., Liu, X., Hu, J., & Liu, Z. (2023). Effects of DHA on cognitive dysfunction in aging and Alzheimer's disease: The mediating roles of ApoE. *Progress in Lipid Research*, 101256.

