



La inclusión de recursos alimenticios alternativos en la dieta de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) mejora su perfil de ácidos grasos

The inclusion of alternative food resources in the diet of nilotic tilapia (*Oreochromis niloticus*) improves its fatty acid profile

Julio Alejandro Franco-Ortega^{1*}; Liliana Lucía Betancourt-Lopez²;
Adriana Patricia Muñoz-Ramirez²; Gustavo Álvaro Wills Franco²

¹ Fundación Universitaria Agraria de Colombia UNIAGRARIA, Facultad de Ciencias Administrativas y Contables. Programa de Especialización en Gestión de Agronegocios. Calle 170 N° 54 A - 10, C.P. 111321, Bogotá, Colombia.

² Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Calle 44 # 45 - 67 Bogotá, Colombia.

ORCID de los autores:

J. A. Franco-Ortega: <https://orcid.org/0000-0002-3836-8535>
A.P. Muñoz-Ramirez: <https://orcid.org/0000-0001-6706-7363>

L. L. Betancourt-López: <https://orcid.org/0000-0003-0172-7896>
G. A. Wills-Franco: <https://orcid.org/0000-0003-1088-0817>

RESUMEN

El enriquecimiento del filete de tilapia con ácidos grasos (AG) omega-3 (n-3) es una alternativa para mejorar la competitividad de los productos acuícolas. Se evaluaron dietas extruidas isoenergéticas e isotropeicas con inclusión de 0%, 5%, 10% y 15% de semilla de chía (SC) y de Lino (SL); 0%, 3%, 5%, y 8% de ensilaje de vísceras de cachama (EVC) y 0%, 4%, 7% y 10% de ensilaje de vísceras de trucha (EVT) como fuentes alternativas de lípidos y un tratamiento control (C) con 100% de ingredientes comunes. Se determinó el desempeño productivo y el perfil de AG en el filete de tilapia. El perfil de AG tanto en dietas como filetes se determinó por cromatografía de gases. Las materias primas alternativas permitieron incrementar el contenido de AG n-3 ($p < 0,05$) en un periodo de 48 días. Con un 9% de inclusión de SC se maximizó la deposición de AG n-3. Con los demás recursos alimenticios se encontró una respuesta lineal en la deposición de AG n-3. El contenido de AG n-3 en el filete se maximizó con 15% de SL, 10% de EVT y 8% de EVC ($p < 0,05$). Las fuentes vegetales superaron el contenido de AG n-3 respecto a las fuentes animales. La relación entre AG n-6:n-3 se redujo de 5,9 para el control hasta 4,4 con la inclusión de SC ($p < 0,05$). Se concluye que la inclusión de recursos alimenticios alternativos en la dieta de tilapia Nilótica es viable y permite una mayor deposición de ácidos grasos n-3.

Palabras clave: Ensilaje de vísceras; semilla de chía; semilla de lino; omega-3, dieta funcional.

ABSTRACT

The enrichment of tilapia fillet with omega-3 (n-3) fatty acids (FA) is an alternative to improve the competitiveness of aquaculture products. Isoenergetic and isoproteic extruded diets including 0%, 5%, 10% and 15% chia seed (SC) and flax seed (SL) were evaluated; 0%, 3%, 5%, and 8% cachama viscera silage (EVC) and 0%, 4%, 7% and 10% trout viscera silage (EVT) as alternative sources of lipids and a control treatment (C) with 100 % of common ingredients. The productive performance and the AG profile in the tilapia fillet were determined. The FA profile in both diets and fillets was determined by gas chromatography. The alternative raw materials allowed to increase the content of FA n-3 ($p < 0.05$) in a period of 48 days. With a 9% inclusion of SC, the deposition of AG n-3 was maximized. With the other food resources, a linear response was found in the deposition of FA n-3. The content of FA n-3 in the fillet was maximized with 15% SL, 10% EVT and 8% EVC ($p < 0.05$). Plant sources exceeded the content of FA n-3 compared to animal sources. The n-6:n-3 FA ratio was reduced from 5.9 for the control to 4.4 with the inclusion of SC ($p < 0.05$). It is concluded that the inclusion of alternative feed resources in the diet of Nilotic tilapia is feasible and allows a greater deposition of n-3 fatty acids.

Keywords: silage viscera; chia seed; flax seed; omega-3; diet functional.

1. Introducción

La producción de tilapia se ha proyectado como el cultivo de más rápido crecimiento de la acuicultura en Colombia y en todo el mundo, siendo la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) la principal especie de agua dulce cultivada (Carrera-Quintana et al., 2022; FAO, 2020). La tilapia del Nilo generalmente presenta bajas concentraciones de ácidos grasos poliinsaturados (AGPIs) (Duarte et al., 2021), principalmente del grupo omega-3 (n-3) en comparación con especies de origen marino (Dos Santos et al., 2019). Los peces obtienen estos compuestos esenciales a través de la dieta (Barriviera et al., 2021; Ali et al., 2023; Abd Elshafy et al., 2023). Tradicionalmente, se utiliza el aceite de pescado como fuente de ácidos grasos (AG) n-3 para cubrir los requerimientos de los peces, sin embargo, este recurso no es sostenible debido a que se requiere procesar altas cantidades de pescado para obtener tanto la harina como el aceite de pescado. Razón por la cual se debe plantear recursos alternativos como fuente de lípidos diferentes al aceite de pescado (Chetoui et al., 2022; Liang et al., 2024), para mejorar el valor nutritivo de los productos de agua dulce, así como la competitividad y sostenibilidad de los productos acuícolas.

La demanda por alimentos funcionales ha crecido en los últimos años, particularmente, la fracción lipídica de los alimentos de consumo humano ha recibido especial atención porque representa alrededor del 40% de las calorías ingeridas en los países occidentales (Teoh et al., 2011), a pesar de que las recomendaciones nutricionales están entre 5% a 10% (Niot, 2009). Este consumo excesivo de lípidos, asociado a un desequilibrio del perfil de AG, con exceso de AG saturados, colesterol y una alta relación entre AG n-6: n-3 promueve la patogénesis de muchas enfermedades (Simopoulos, 2020). Diversos estudios han reportado las propiedades nutraceuticas que poseen los AGPI n-3 (Djuricic & Calder, 2021; Elagizi et al., 2021) cuyos principales representantes son el AG α -linolénico (18:3 n-3, ALN), AG docosahexaenoico (22:6 n-3, DHA) y el AG eicosapentaenoico (20:5 n-3, EPA) (Wangkahart et al., 2022). Los AG n-3 han reportado beneficios como promotores del funcionamiento y desarrollo cerebral (Lange, 2020), moduladores de respuestas antiinflamatorias (Opiyo et al., 2022; Layé et al., 2018), del nivel de triglicéridos y de la prevención de trastornos cardiovasculares (Drenjančević et al., 2022; Shibabaw, 2021) así como efectos anticancerígenos (Freitas & Campos, 2019; Fuentes et al., 2018), entre otros.

De otra parte, se ha comprobado que es posible modificar el perfil de AG en los productos animales mediante la modificación del perfil de AG del alimento (Alagawany et al., 2019; Ferronato & Prandini, 2020). Con este propósito, se ha trabajado con ensilaje de residuos de procesamiento de trucha (Betancourt et al., 2005; Goosen et al., 2016; Parvez et al., 2024), semilla de lino (*Linum usitatissimum*) o de chía (*Salvia hispanica*), en diversas especies animales (Coates &

Ayerza, 2009; Coorey et al., 2015; Jamshidi et al., 2015 Muñoz-Peñuela et al., 2021); sin embargo, no se ha comparado el potencial para modificar la composición de AG del filete de tilapia Nilótica con el uso de este tipo de recursos alimenticios.

El presente estudio evaluó y comparó el desempeño productivo y el perfil de AG en el filete de tilapia nilótica por efecto de la inclusión de diferentes niveles de semillas de chía, lino y dos subproductos procesados de producción piscícola, el ensilaje de residuos del procesamiento de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*).

2. Metodología

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición Acuícola de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá (LANAC-UNB). Se utilizaron 52 juveniles de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) con peso inicial de $309 \pm 7,2$ g, distribuidos individualmente de forma aleatoria en acuarios de 60 L, dotados de aireación constante y filtro individual de esquina. Los grupos experimentales tuvieron un periodo de acostumbramiento de 46 días en los cuales se suministró a sociedad una dieta comercial con 28% de proteína cruda distribuida en tres raciones diarias manteniendo un lapso mínimo de 6 horas entre comidas.

Manejo del agua. Durante el desarrollo del experimento se monitorearon los parámetros fisicoquímicos del agua: temperatura, oxígeno disuelto y pH tres veces por semana con una sonda multiparamétrica “Professional Plus” YSI®; semanalmente se registró la concentración total de amonio con el kit HACH® modelo FF-1A (HACH Co., Colorado, USA). Se realizó un cambio de 30% del agua de los acuarios dos veces por semana y quincenalmente se llevó a cabo una limpieza de los filtros individuales garantizando adecuadas condiciones de calidad de agua para el desarrollo de la especie.

Tratamientos. Se evaluaron 13 dietas extruidas isotónicas (26% de proteína total) e isoenergéticas (3200 kcal/g de energía digestible) con la inclusión de diferentes fuentes alternativas de lípidos vegetales 5%, 10% y 15% de semilla de lino (SL) y de chía (SC); así como fuentes de lípidos de origen animal con 4%, 7% y 10% de ensilaje de vísceras de trucha (EVT) y 3%, 5%, 8% de ensilaje de vísceras de cachama (EVC) como se observa en la Tabla 1. El estudio se realizó en un periodo experimental de 48 días. Para la elaboración de los ensilajes de cachama o trucha se utilizó la metodología propuesta por Betancourt et al. (2005).

Sacrificio y obtención de filetes: Al finalizar el periodo experimental los peces fueron anestesiados con una solución de metasulfonato de tricaina (MS-222) en una concentración de 0,5 g/L, posteriormente fueron sacrificados con corte de médula espinal, se registró el peso corporal, la talla y se extrajeron los filetes.

Tabla 1
Formulación dietas experimentales (%)

Ingredientes	Control	S.Chía			S.Lino			Ens.T			Ens.C		
		5%	10%	15%	5%	10%	15%	4%	7%	10%	3%	5%	8%
Torta de soya – 48	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	22	22	22
Maíz	19,1	19,38	20,2	21	19,33	20,08	20,83	21,93	24,21	25,52	19,15	19,2	20,12
Salvado de trigo	15	12,67	10,22	8,2	13,11	11,11	9,74	15	15	15	13,15	13,51	10,63
Arroz	14,58	15	15	15	15	15	15	12,52	10,85	10	15	15	15
Soya integral tostada	9,61	7,52	5,44	2,42	7,04	4,49	0,57	6,09	3,37	0,67	0	0	0
Soya integral extruída	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,74	6,46	4,34
Gluten de maíz	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Harina de carne	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Aceite de soya	3,71	2,44	1,16	0	2,42	1,12	0	2,62	1,81	1,02	2,08	0,96	0
Harina de pescado	3	3	3	3,46	3	3	3,68	3	3	3	3	3	4,5
Fosbic 18 ^a	1,98	1,97	1,96	1,9	2,04	2,1	2,06	1,79	1,65	1,51	1,95	1,92	1,73
Carbonato de calcio	1,56	1,51	1,45	1,39	1,54	1,53	1,49	1,57	1,59	1,71	1,54	1,54	2,22
Sal común	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,56
Rovimix DSM ^b	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
DL – Metionina	0,27	0,28	0,3	0,32	0,28	0,29	0,3	0,27	0,27	0,28	0,27	0,27	0,26
L - Lisina HCl	0,14	0,17	0,2	0,23	0,18	0,22	0,26	0,2	0,25	0,29	0,12	0,15	0,13
L – Treonina	0,05	0,06	0,07	0,08	0,06	0,07	0,08	0	0	0	0,01	0	0
Sorbato de potasio ^c	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Colina Cl - 60%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
BHT ^d	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
S. Chía		5	10	15									
S. Lino					5	10	15						
Ens. Cachama											3	5	8
Ens. Trucha								4	7	10			

a Fosfato bicálcico 18%. b Premezcla de vitaminas y minerales. c Antimicótico. d Butilhidroxitolueno, antioxidante. S: Semilla; Ens: Ensilaje; T: Trucha; C: Cachama.



Análisis químico de las dietas y filetes

La composición proximal de las dietas experimentales y de los filetes se realizó por duplicado en el Laboratorio de Nutrición Animal de la facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de La Salle, mediante la metodología de la (AOAC, 2002) donde se determinó la humedad (H), proteína bruta (P.B), extracto etéreo (E.E) y cenizas (C). La energía bruta (E) de los alimentos y filetes se obtuvo con una bomba calorimétrica Parr 6200.

Determinación del perfil de ácidos grasos

Se tomó 2 g de tejido liofilizado, se homogenizó con 20 ml de una solución cloroformo: metanol 2:1 (Folch et al. 1957). El homogenizado se filtró y se colectaron 10 ml de filtrado a los cuales se agregó 2,5 ml de agua destilada. Esta mezcla se centrifugó a 3000 rpm durante 20 minutos. Se eliminó el sobrenadante, se tomó 1 ml de la fase inferior orgánica en un tubo de ensayo previamente pesado y se evaporó el solvente bajo una corriente suave de nitrógeno. Los lípidos secos se resolubilizaron con una solución de cloroformo: metanol 1:1 (1ml por cada 100 mg de lípidos). Una alícuota de 50µl de solución de lípidos fue derivatizada con el reactivo de metil esterificación Meth-Prep II (AlltechAssociates Inc., Deerfield, IL, USA) para producir los metil-ésteres de los AG. Los metil-ésteres de los AG se analizaron en un cromatógrafo de gases Shimadzu GC-20A equipado con un detector de ionización de llama (260 °C). La separación de los metil-ésteres de AG se llevó a cabo con una columna Supelco® Omegawax 320, de 30 m x 0,32 mm x 0,25 µm de grosor de película. Se programó una rampa de temperatura (temperatura inicial de 80 °C, 10 °C/min hasta 190 °C, 20 min a 190 °C, 2 °C/min hasta 220 °C y 10 min 220 °C). Se utilizó helio como gas transportador y la inyección se hizo en modo "split" (relación 1:50). Los metil-esteres de los AG se identificaron por comparación con los tiempos de retención de una mezcla estándar de AG (Supelco 37 component FAME Mix, Inc., Bellefonte, PA, USA). Cada ácido graso se reporta como porcentaje del total de AG identificados en el filete.

Comportamiento productivo

Las técnicas de recolección de información se desarrollaron con base en observaciones y uso de registros calculando los siguientes indicadores de desempeño productivo.

$$\text{Ganancia diaria (g/pez)} = (Pf - Pi)/t$$

$$\text{Consumo diario (g/d)} = (CAL/t)$$

$$\text{Conversión alimenticia} = CAL/GBT$$

$$\text{Tasa específica de crecimiento (\%/d)} = \frac{100 * (\ln Pf - \ln Pi)}{t}$$

$$\text{Peso vivo medio diario PVMD (g)} = Pf/t$$

$$\text{Índice de consumo (\%)} = (CAL * 100) / PVMD$$

$$\text{Índice viscerosomático (\%)} = 100 * (Pv/Pf)$$

$$\text{Índice hepatosomático (\%)} = 100 * (Ph/Pf)$$

$$\text{Índice de grasa visceral (\%)} = 100 * (PGv/ Pf)$$

$$\text{Sobrevivencia (\%)} = (NPVf / NPVFi) * 100$$

Donde P: peso corporal de cada uno de los peces muestreados al final de cada fase; Lt: longitud total de cada uno de los peces muestreados al final de cada fase; Pf: promedio de peso corporal final de los peces en cada tanque; Pi: promedio de peso corporal inicial en cada acuario; T: promedio de temperatura (°C) registrada durante cada fase; t: tiempo de duración de la fase en días; Pv: Peso vísceras de cada uno de los peces muestreados al final de la fase; Ph: Peso hígado de cada uno de los peces muestreados al final de la fase; CAL: Consumo de alimento promedio por cada pez muestreado al final de la fase; GBT: Ganancia de biomasa total por cada pez muestreado al final de la fase; PGv: Peso total de la grasa presente en las vísceras por cada pez muestreado al final de la fase; NPVI: número de peces vivos en cada acuario al inicio de la fase; NPVF: número de peces vivos en cada acuario al final la fase.

Se evaluaron 13 tratamientos con cuatro repeticiones por tratamiento. Los resultados se analizaron con el procedimiento de modelo lineal general del sistema SAS. Para el análisis de los perfiles de ácidos grasos omega-3, se hicieron comparaciones planeadas por tipo de recurso (SAS Institute, 2002).

3. Resultados y discusión

Perfil de ácidos grasos de los filetes

En la Tabla 2 se muestra el promedio y error estándar para el perfil de AG del filete de tilapia nilótica en los distintos tratamientos.

En general los AG con mayor participación del total de AG identificados en los filetes fueron: el palmítico (C16:0) con un promedio general de 24,7%, oleico (18:1 n-9) con un 32,3% y el linoleico (C18:2n-6) con 16,4%.

Ácidos grasos poliinsaturados omega-3 (AGPI n-3).

Se encontró un aumento significativo del porcentaje de AGPI n-3 con el uso de recursos alimenticios lino, chíya y los ensilajes de trucha y cachama respecto al tratamiento control ($p < 0,05$) (Tabla 2). Particularmente, el porcentaje de deposición del AG α -linoléico (ALN) superó en un 129% con los recursos alimenticios semilla de chíya y de lino cuando se comparan con el tratamiento C. Por el contrario, con las dietas con fuentes animales se redujo el porcentaje de ALN en un 7% respecto al tratamiento C.

Las concentraciones de los AG eicosapentaenóico (C22:5n3, EPA) y docosahexaenóico (C22:6n-3, DHA) no fueron significativamente diferentes con los recursos alimenticios utilizados. No obstante, en términos porcentuales, se logró aumentar la deposición de EPA en un 85% respecto a C con el uso de las fuentes vegetales SL y SC. El porcentaje de eicosatrienóico C20:3n-3 fue un 96% mayor en SL y SC respecto a C ($p < 0,05$).

Tabla 2

Composición de ácidos grasos del filete de tilapia Nilótica alimentada con materias primas alternativas (% del área total de ácidos grasos identificados)

AG	Control	SL 5%	SL 10%	SL 15%	SC 5%	SC 10%	SC 15%	Ens. T 4%	Ens.T 7%	Ens.T 10%	Ens. C 3%	Ens. C 5%	Ens.C 8%	Sign.	
C14:0	2,3±0,30	2,2±0,41	2,3±0,44	2,4±0,34	2,5±0,27	2,4±0,17	2,6±0,36	2,3±0,53	2,5±0,26	2,4±0,21	2,5±0,22	2,3±0,26	2,4±0,11	ns	
C15:0	0,2±0,03	ND	0,2±0,03	0,3±0,04	0,2±0,06	0,1±0,02	0,2±0,05	0,2±0,02	0,2±0,02	0,2±0,05	0,2±0,01	0,2±0,04	0,2±0,04	*	
C16:0	24,7±1,05	25,0±0,71	24,6±0,74	24,9±1,09	24,6±0,75	24,0±1,09	24,6±0,63	25,1±0,53	25,3±0,52	24,5±0,49	24,9±0,83	24,8±0,59	24,7±0,92	*	
C16:1	4,0±0,41	3,5±0,77	4,0±0,45	3,9±0,31	4,1±0,58	3,7±0,42	3,8±0,45	3,8±0,48	3,9±0,42	3,9±0,17	4,1±0,25	4,0±0,45	4,0±0,23	ns	
C17:0	0,3±0,02	0,3±0,01	0,3±0,06	0,3±0,06	0,3±0,05	0,2±0,03	0,2±0,03	0,2±0,03	0,2±0,03	0,3±0,04	0,3±0,03	0,2±0,03	0,2±0,02	0,2±0,04	ns
C17:1	0,2±0,01	ND	0,2±0,04	0,2±0,02	0,2±0,03	0,1±0,03	0,1±0,03	0,1±0,01	ND	0,1±0,04	0,2±0,02	ND	0,1±0,02	ns	
C18:0	6,8±0,38	7,2±0,72	7,3±0,83	6,7±0,33	6,9±0,67	6,8±0,13	7,3±0,38	7,1±0,90	7,3±0,83	6,7±0,32	6,8±0,40	6,9±0,66	7,0±0,35	ns	
C18:n-9	32,3±0,84	30,8±5,80	29,7±5,17	32,9±1,28	31,9±3,05	31,7±1,11	30,7±2,16	32,0±1,81	30,0±2,94	31,8±1,73	31,5±0,97	33,6±0,85	32,2±1,65	ns	
C18:1n-7	2,7±0,05	2,6±0,11	2,4±0,18	2,6±0,22	2,6±0,27	2,6±0,09	2,5±0,26	2,6±0,09	2,8±0,36	2,8±0,15	2,7±0,31	2,7±0,12	2,2±1,13	ns	
C18:2n-6c	16,4±0,38	16,2±0,73	16,1±0,51	15,8±0,77	15,9±0,82	15,4±0,60	15,1±0,83	16,1±0,45	16,6±0,74	15,7±0,43	15,4±0,24	15,3±0,70	15,3±1,21	*	
C20:0	0,3±0,03	0,3±0,01	0,3±0,02	0,3±0,02	0,3±0,04	0,3±0,02	0,3±0,01	0,3±0,03	0,3±0,04	0,3±0,02	0,3±0,02	0,3±0,03	0,3±0,04	ns	
C18:3n-6	0,8±0,06	0,7±0,06	0,7±0,09	0,7±0,06	0,8±0,12	0,7±0,10	0,6±0,03	0,7±0,03	0,7±0,06	0,7±0,05	0,7±0,11	0,7±0,07	0,7±0,06	ns	
C20:1	1,5±0,02	1,3±0,37	1,2±0,28	1,6±0,13	1,5±0,18	1,3±0,04	1,4±0,22	1,4±0,08	1,4±0,11	1,4±0,05	1,3±0,13	1,5±0,08	1,4±0,03	ns	
C18:3n-3	0,9±0,12	1,3±0,29	2,8±0,86	2,1±0,53	1,3±0,29	2,2±0,60	3,2±0,05	0,9±0,14	0,9±0,09	0,9±0,14	0,9±0,12	0,7±0,06	0,7±0,01	**	
C20:2	1,0±0,13	1,0±0,14	1,4±0,92	1,0±0,05	0,9±0,18	1,0±0,07	1,0±0,06	0,9±0,12	1,0±0,12	1,0±0,03	1,0±0,06	0,9±0,10	1,0±0,06	ns	
C20:3n-6	1,0±0,08	1,2±0,33	1,0±0,25	1,0±0,11	1,1±0,14	1,0±0,16	1,0±0,18	1,0±0,12	1,1±0,27	1,1±0,18	1,0±0,12	1,0±0,08	1,1±0,12	ns	
C20:3n-3	0,2±0,04	0,2±0,04	0,4±0,11	0,3±0,07	0,2±0,04	0,3±0,04	0,4±0,13	0,1±0,04	0,1±0,04	0,1±0,02	0,1±0,03	0,1±0,02	0,1±0,01	*	
C20:4n-6	1,8±0,20	1,8±0,52	1,5±0,3	1,9±0,21	2,3±0,6	2,1±0,52	1,9±0,38	1,8±0,52	1,7±0,19	2,3±0,68	2,2±0,6	1,8±0,22	2,5±0,72	ns	
C20:5n-3	0,1±0,02	0,2±0,23	0,1±0,14	0,1±0,03	0,1±0,02	0,1±0,03	0,1±0,09	0,1±0,01	0,1±0,03	0,1±0,01	0,1±0,02	0,1±0,01	0,1±0,01	ns	
C22:5n-3	0,4±0,08	0,5±0,13	0,7±0,05	0,7±0,04	0,4±0,08	0,6±0,14	0,8±0,21	0,4±0,14	0,5±0,24	0,5±0,10	0,5±0,15	0,3±0,07	0,5±0,12	ns	
C22:6n-3	1,9±0,52	1,7±0,41	1,8±0,51	1,9±0,42	1,6±0,45	2,4±0,54	2,4±0,71	1,8±0,47	2,0±0,51	2,4±0,14	2,1±0,51	1,7±0,29	2,1±0,36	ns	
Pufas	24,6±1,14	27,1±6,28	28,5±7,29	25,3±1,80	24,8±1,71	25,6±1,04	25,3±2,86	24,3±1,85	25,5±2,25	24,8±1,44	24,7±1,10	23,0±1,02	24,9±2,00	ns	
Mufas	40,6±0,67	38,3±6,97	36,5±7,44	41,1±1,63	40,2±2,74	40,2±0,90	39,0±2,51	40,1±2,18	38,3±3,01	40,2±1,52	40,0±0,81	42,1±0,90	40,0±1,92	ns	
Sfas	34,7±1,59	34,6±0,69	35±0,59	33,5±1,92	35±1,06	34,0±1,07	35,6±0,98	35,5±0,68	36,0±1,27	34,5±0,45	35,2±1,22	34,8±0,85	35,0±1,09	ns	
n-3	3,5±0,63	3,8±0,63	4,7±1,81	4,9±1,12	4,0±1,14	5,2±0,74	3,9±0,29	3,5±0,80	3,7±0,89	4,2±0,27	4,1±0,78	3,1±0,30	4,1±0,76	*	
n-6	20,1±0,55	20,4±1,74	19,9±1,58	19,4±0,71	19,8±0,78	19,4±0,86	19,0±1,09	19,8±1	20,7±1,61	19,8±1,02	19,6±0,59	18,9±0,65	19,7±1,34	ns	
n-6/n-3	5,9±0,96	5,3±0,59	5,2±1,60	4,1±1,01	5,1±1,18	3,7±0,63	4,1±1,46	5,7±1,04	5,7±1,31	4,6±0,05	4,8±0,95	6,1±0,43	4,8±0,70	*	

*: p < 0,05; ns: p > 0,05



En general, las fuentes vegetales aumentaron el contenido total de AG n-3 en un 27% respecto al tratamiento C ($p < 0,05$). Cuando se evaluó la respuesta lineal, cuadrática o cúbica con los niveles de inclusión dentro de cada recurso alimenticio se encontró que excepto para SC, se presentó una respuesta lineal en la deposición de AG n-3 totales en el filete de tilapia por efecto de SL, EVT y EVC. Con SC, se observó una respuesta cuadrática ($p < 0,05$) de la forma $Y = 3,32 + 0,334X - 0,019X^2$, donde Y es el contenido total de AG n-3 y X es el nivel de inclusión de chíca. Resolviendo la primera derivada, se estimó que un 9% de inclusión de SC maximiza la deposición de AG n-3 en el filete. Para los otros recursos alimenticios, la mayor deposición de AG n-3 en filete se obtuvo con un 15% de semilla de lino (4,9%); 10% de ensilaje de vísceras de trucha (4,3%) y 8% de ensilaje de vísceras de cachama (4,1%).

Las fuentes vegetales SL y SC generaron una mayor proporción de AG n-3 totales en el filete de tilapia cuando se comparan con las dietas con EVT y EVC ($p < 0,05$). No obstante, en los ensilajes se encontraron niveles superiores de AG EPA, DHA y DPA, sobresaliendo el EVT como una fuente de AG DHA con 29,10%, superior cuando se compara con 15,34% en EVC.

Las concentraciones de los AG eicosapentaenóico (C22:5n3, EPA) y docosahexaenóico (C22:6n-3, DHA) no fueron significativamente diferentes con los recursos alimenticios utilizados. Sin embargo, en términos porcentuales, se logró aumentar la deposición de EPA en un 85% respecto al tratamiento C con el uso de las fuentes vegetales SL y SC. Este incremento encontrado con inclusión de las fuentes vegetales podría indicar la capacidad de elongar y desaturar por parte de tilapia el AG α -linolénico dietario a EPA, mediante la ruta metabólica de elongación (ruta alternativa a la $\Delta 6$ -Desaturasa) (Teoh & Turchini, 2011; Xie et al., 2022), permitiendo encontrar también incrementado el ácido graso eicosatrienóico C20:3n-3 cuyo porcentaje de deposición fue un 96% mayor respecto a C con las fuentes vegetales SL y SC.

En general, la deposición de AG n-3 en este estudio fue relativamente baja cuando se compara con estudios reportados por Tonial et al. (2009), en un periodo de duración de 45 días, y Visentainer et al. (2005) y De Souza et al. (2007) quienes encontraron un aumento en la concentración final de EPA y DHA en los filetes de tilapia nilótica mediante la inclusión de aceite de lino en la dieta. El presente estudio fue realizado en acuarios, donde no es posible encontrar alimento vivo como plancton, algas, entre otros, que pueden constituir una fuente importante de ácidos grasos n-3 poliinsaturados de cadenas más largas.

En general, se destaca que las fuentes vegetales de AG n-3, aumentaron su contenido en el filete, estos resultados fueron similares a los reportados por Justi et al. (2003) con inclusión de aceite de linaza en sustitución de aceite de girasol en dietas para tilapia nilótica en un periodo de 30 días. Se esperaba obtener un mayor nivel de los AG EPA DPA y DHA con la inclusión de EVT, debido a su buen aporte de estos AG, sin embargo, a diferencia de otras especies animales como en los pollos de engorde

Betancourt et al. (2005), estos ácidos grasos no fueron depositados en el filete. No se descarta la posible acumulación en hígado de AG ALN, EPA y DHA o la oxidación de estos AG (Turchini & De Silva, 2006; Visentainer, 2005).

Ácidos grasos poliinsaturados omega-6 (AGPI n-6)

No se encontró un efecto significativo de los tipos de dietas evaluadas sobre la deposición del total de AGPI n-6 en el filete de tilapia nilótica (Tabla 2). Este estudio permitió confirmar que las fuentes animales presentan un mayor nivel del AG araquidónico ARA (C20:4n-6) para el cual, los recursos de origen animal EVT y EVC permitieron incrementar hasta tres veces más su contenido con 12,43% cuando se comparan con los recursos alimenticios de origen vegetal con 4,86%.

Las fuentes animales permitieron concentrar tres veces más contenido del AG araquidónico (ARA) con 12,43% respecto a las fuentes vegetales con 4,86%. El AG ARA juega un papel clave en el organismo ya que es precursor de la síntesis de compuestos de gran actividad biológica, los eicosanoides, dentro de los cuales se encuentran los tromboxanos y leucotrienos generadores de diferentes prostaglandinas según el tipo de AG (Tallima & El Ridi, 2018), estos eicosanoides derivados del ácido araquidónico son fisiológicamente activos e importantes (Calder et al., 2019; Huang & Peng, 2021).

Relación entre AG omega 6: omega 3 (n-6:n-3)

El uso de recursos alimenticios no convencionales permitió reducir la relación entre los AG n-6 y n-3 ($p < 0,05$) desde 5,9 para la dieta C hasta 3,7 para la dieta SC 10%. Estos resultados se explican por la reducción de la deposición del AG n-6 en un 21,7% para las dietas con fuentes vegetales y 9,4% para las dietas con fuentes animales. Los resultados muestran que la inclusión de SL, SC, EVT y EVC son adecuadas para mejorar el balance entre AG n-6: n-3 en el filete de tilapia.

La relación entre AG n-3: n-6 se ha sugerido como un indicador útil para comparar los valores relativos nutricionales de los aceites de pescado (Harris, 2018). En términos de recomendaciones nutricionales para los humanos, esta relación debe estar inferior a 5 con el fin de prevenir enfermedades cardíacas, neurodegenerativas, reducir el riesgo de cáncer, trastornos depresivos, entre otros beneficios (Avallone & Bertolotti, 2019; Fekete et al., 2009; Thesing et al., 2018).

El valor de la relación de AG n-6: n-3 en la dieta occidental de los humanos varía de 15-20:1, muy por encima de estas recomendaciones. Algunos investigadores creen que esta relación ha pasado de 20 a 30 en las dietas occidentales en los últimos años, lo cual ha traído problemas de salud pública (Maki et al., 2018; De Souza et al., 2008). Los resultados del presente estudio muestran que la inclusión de SL, SC, EVT y EVC son adecuadas para mejorar el balance entre ácidos, similares efectos han sido reportados por De Souza et al. (2008); Muñoz-Peluera et al. (2021); Tonial et al. (2009) y Young (2009), en tilapia nilótica.

Ácidos grasos saturados (AGS) y monoinsaturados (AGMI)

No se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para el perfil de AGS en el filete de tilapia alimentada con los diferentes recursos alimenticios utilizados. Esta fracción de AGS representa un tercio del total de AG identificados cuyos porcentajes oscilaron entre un 33,5 a 36% (Tabla 2). Tampoco se presentaron diferencias significativas para el total de AGMI entre tratamientos. Particularmente el AG oleico fue dominante en el perfil con un 31% a 33%.

Los AG palmítico, oleico y linoleico fueron los AG más abundantes en el perfil de AG del filete de tilapia nilótica, similares resultados reportaron De Souza et al. (2007). Se encontró también una mínima variación en el porcentaje de AG saturados.

Los porcentajes de AG saturados obtenidos en este estudio permitieron inferir que los peces mostraron una actividad lipogénica, porque no hay correlación con el contenido de AGS en la dieta como lo señala Teoh et al. (2011). No obstante, la proporción de AG saturados fue inferior a los niveles reportados por Simompoulos (2004), quien señala que un contenido de grasas saturadas (40% y 50%) y bajo en AG poliinsaturados es considerado como un factor de riesgo para la salud humana.

El porcentaje de AG oleico fue superior al reportado por De Souza et al. (2008) con la inclusión de aceite de lino (1,25 - 3,75%) en dietas para tilapia nilótica. Estos AG de tipo monoinsaturado se han asociado recientemente con un efecto protector frente a las enfermedades cardiovasculares (Calder, 2015; Sales-Campos, 2013) y trastornos depresivos (García et al., 2017), por consiguiente, los niveles de AG oleico encontrados en el presente estudio son adecuados para obtener filetes saludables para el consumidor.

Composición proximal de los filetes

En la Tabla 3 se presenta la composición proximal de los filetes donde se observa el valor p para comparaciones planeadas de los promedios de los tratamientos. Los

peces alimentados con inclusión de semilla de lino presentaron mayor porcentaje de extracto etéreo ($p < 0,01$) respecto a semilla de chía. Las dietas con EVT también presentaron un contenido de extracto etéreo proteína cruda superior en el filete respecto a las dietas con EVC ($p < 0,05$).

En general, la composición proximal de los filetes bajo el efecto de las dietas experimentales, no llegan a trascender en términos biológicos, puesto que la variación en el contenido de proteína, extracto etéreo, energía y ceniza de los filetes fue muy baja, significa que los valores se mantuvieron en un rango muy estrecho en cada fracción.

Calidad de agua

Los valores registrados de calidad de agua en el experimento se mantuvieron en los siguientes rangos: Temperatura $28,91 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1,66 \text{ }^\circ\text{C}$, pH $6,38 \pm 0,48$, Oxígeno Disuelto $61,18\%$ y Amonio (NH_3) $0,02 - 0,06 \text{ mg/l}$.

Comportamiento productivo

Excepto a la conversión de alimento, no se encontraron diferencias en los indicadores de desempeño productivo de Tilapia bajo el efecto de las dietas evaluadas ($p < 0,05$) (Tabla 4). No se encontraron diferencias significativas por efecto de la inclusión de estos recursos alimenticios alternativos, posiblemente porque las dietas se formularon isoprotéicas e isoenergéticas. Igualmente, estos resultados nos permiten determinar la viabilidad del uso de este tipo de recursos alimenticios, debido a que no afectaron negativamente los parámetros productivos. La semilla de Chía al 10% presentó el mayor consumo (1,04) ganancia diaria (0,73), menor conversión alimenticia (1,46) e índice mayor de consumo (13,25) respecto a los demás recursos alimenticios utilizados. La supervivencia en el periodo de estudio fue de 100% para todas las dietas experimentales, permitiendo establecer que los recursos alimenticios evaluados en este estudio pueden ser considerados en la formulación de dietas para tilapia nilótica. Estos recursos también fueron evaluados por De Souza et al. (2008); Sale & Glencreoss (2010) en especies piscícolas.

Tabla 3

Composición proximal de los filetes de tilapia Nilótica alimentada con materias primas alternativas (materia seca original)

Tratamiento	Materia Seca	Proteína	Extracto E.	Energía	Ceniza
Control	94,75±0,25	85,9±0,35	5,6±0,74	5522,1± 52,76	5,8±0,21
Ens. C 3%	94,88±0,24	84,2±0,49	6,0±0,73	5512,4±52,46	6,9±0,12
Ens. C 5%	92,3±1,43	84,8±0,57	6,9±0,99	5682,9±62,08	5,5±0,37
Ens. C 8%	92,5±0,12	84,4±0,37	6,5±0,81	5527,6±117,67	6,9±0,34
Ens. T 4%	93,3±1,52	85,3±0,12	4,7±0,14	5647,9±40,09	6,5±0,56
Ens. T 7%	94,5±0,24	86,2±0,10	4,8±0,15	5517,7±89,26	6,2±0,26
Ens. T 10%	94,0±0,24	85,3±0,23	6,2±0,83	5571,8±38,30	5,9±0,72
S. Chia 5%	93,3±0,22	85,2±0,23	6,8±0,78	5592,9±91,86	5,3±0,45
S. Chia 10%	93,9±0,04	85,05±0,36	5,7±0,59	5551,3±74,86	6,6±0,14
S. Chia 15%	93,3±1,42	85,6±0,45	5,4±0,72	5579,4±98,28	6,6±0,30
S. Lino 5%	93,2±0,08	86,0±0,006	5,2±0,45	5591,0±136,45	6,7±0,06
S. Lino 10%	95,0±0,28	84,9±0,39	6,6±0,93	5533,0±121,38	7,1±0,19
S. Lino 15%	93,9±0,37	84,7±0,33	5,3±0,77	5602,8±76,13	7,5±0,07
p < α		0,0011	0,1940	0,0592	0,0007

T.: Tratamiento; S: Semilla; Ens: Ensilaje; T: Trucha; C: Cachama.

Tabla 4

Comportamiento productivo de la tilapia Nilótica alimentada con materias primas alternativas

Tratamiento	GD	CD	CA	TEC	ICS	IV	IH	IGV	PVMD
Control	0,37±0,13	0,81±0,27	2,34±0,21	0,12±0,04	11,22±3,22	3,86±0,32	2,30±0,19	2,66±0,68	6,86±0,58
Ens. C 3%	0,50±0,06	0,79±0,11	1,58±0,14	0,16±0,00	10,49±1,07	3,56±1,31	2,01±0,68	1,71±0,76	7,59±0,88
Ens. C 5%	0,3±0,15	0,66±0,27	2,59±0,58	0,10±0,05	9,25±4,02	5,40±0,74	2,31±0,16	2,95±0,42	7,12±0,46
Ens. C 8%	0,20±0,08	0,69±0,16	3,52±0,52	0,06±0,02	10,30±3,14	5,47±0,24	2,38±0,22	2,84±0,49	7,29±1,02
Ens. T 4%	0,47±0,16	0,73±0,21	1,94±0,44	0,15±0,05	10,15±2,24	4,63±0,37	2,14±0,21	2,07±0,25	6,82±0,67
Ens. T 7%	0,36±0,11	1,07±0,43	3,04±0,61	0,12±0,04	14,41±5,16	4,72±0,53	2,34±0,26	2,11±0,20	7,28±0,74
Ens. T 10%	0,50±0,07	0,84±0,11	1,72±0,23	0,11±0,04	7,64±2,64	4,70±0,56	2,43±0,24	2,62±0,31	8,11±0,21
S. Chia 5%	0,46±0,19	0,78±0,29	1,88±0,16	0,16±0,09	10,93±5,12	6,13±1,02	2,56±0,12	2,87±0,87	7,99±0,92
S. Chia 10%	0,73±0,26	1,04±0,33	1,46±0,04	0,22±0,07	13,25±3,42	4,97±0,69	2,29±0,17	2,57±0,40	7,69±0,69
S. Chia 15%	0,37±0,13	0,66±0,17	2,40±0,79	0,11±0,04	8,71±1,77	6,40±1,22	2,47±0,23	3,14±0,68	7,45±0,40
S. Lino 5%	0,42±0,17	0,71±0,35	2,08±0,22	0,13±0,05	9,21±4,48	4,24±0,41	2,77±0,43	2,33±0,38	7,72±0,59
S. Lino 10%	0,24±0,18	0,70±0,19	2,18±0,55	0,08±0,07	12,85±4,20	6,19±0,84	2,67±0,29	3,51±0,67	6,12±0,68
S. Lino 15%	0,26±0,11	0,86±0,21	3,89±0,66	0,08±0,03	11,81±3,22	5,65±0,69	2,09±0,25	2,82±0,55	7,58±0,44
p < α	0,9873	0,9914	0,6232	0,0177	0,7161	0,8000	0,2136	0,6726	0,8833

S: Semilla; Ens: Ensilaje; T: Trucha; C: Cachama; GD: Ganancia diaria de peso; CD: Consumo diario; CA: Conversión alimenticia; TEC: Tasa específica de crecimiento; ICS: Índice de consumo; IV: Índice viserosomático; IH: Índice hepatosomático; IGV: Índice de grasa visceral; PVMD: Peso vivo medio diario.

4. Conclusiones

La inclusión de ingredientes alternativos en la formulación de dietas para juveniles de tilapia nilótica permitió mejorar significativamente el contenido total de AG n-3 y la relación entre AG n-6:n-3 en el filete sin afectar negativamente el desempeño productivo y calidad del filete tras un periodo de alimentación de 48 días en condiciones de laboratorio.

Los resultados obtenidos en este estudio permitieron determinar el nivel de inclusión óptimo de semilla de chíca (9%), semilla de lino (15%), ensilaje de viscera de trucha (10%) y ensilaje de viscera de cachama (8%) en la dieta de tilapia nilótica para maximizar el contenido de AG n-3 en el filete.

Los subproductos conservados de producción piscícola representan una alternativa para el aprovechamiento de desechos generados en las producciones piscícolas, debido a que permiten minimizar el impacto ambiental generado, requieren bajas inversiones, pueden incluirse en la alimentación de los peces, son "fáciles" de elaborar y permitieron disminuir los costos de alimentación hasta un 6% para el ensilaje de vísceras de cachama al 5% y 10% para el ensilaje de vísceras de trucha y se pudo confirmar que el EVT es una fuente importante de DHA y EPA.

Estos hallazgos pueden proporcionar una nueva estrategia alimenticia y nutricional para la producción de tilapia nilótica basados en la incorporación de fuentes de PUFAs (n-3) en las dietas.

Las implicaciones de este estudio para la acuicultura son importantes pues el uso de alimentos alternativos ofrece una dirección prometedora para mejorar la producción y sostenibilidad de tilapia. Las investigaciones futuras deben centrarse en optimizar la producción de alimentos que proporcionen ventajas competitivas a bajo costo y alto valor nutritivo. De este modo, la industria de la acuicultura puede lograr una mayor eficiencia, contribuyendo en última instancia al bienestar humano y la seguridad alimentaria mundial.

Agradecimientos

Este estudio fue realizado gracias al apoyo de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Universidad de La Salle, Bogotá, con la financiación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Los autores agradecen su apoyo y el de todos los docentes y del personal que brindó el respaldo y conocimiento necesario para la culminación de este trabajo.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran que no tienen intereses económicos en competencia conocidos o relaciones personales que pudieran haber parecido influir el trabajo reportado en este documento.

Fuentes de Financiación

Esta investigación fue apoyada financieramente por: Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Universidad de La Salle, Bogotá, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Referencias bibliográficas

- Abd Elshafy, M. B., Abd EL-Monem, A. I. M., Khattab, I. M., Fadl, S. E., & Abou Khadiga, G. (2023). Nutritional impact of nano zeolite, probiotic, and fatty acids as feed additives on health status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Scientific Reports*, 13(1), 22740. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50034-2>
- Alagawany, M., Elnesr, S. S., Farag, M. R., El-Hack, A., Mohamed, E., Khafaga, A. F., & Dhama, K. (2019). Omega-3 and omega-6 fatty acids in poultry nutrition: Effect on production performance and health. *Animals*, 9(8), 573. <https://doi.org/10.3390/ani9080573>
- Ali, M. M., Elashry, M. A., Mohammady, E. Y., & Soady, M. S. (2023). Dietary alpha-monolaurin for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Stimulatory effects on growth, immunohematological indices, and immune-related gene expressions. *Aquaculture Research*, 2023(1), 3155447. <https://doi.org/10.1155/2023/3155447>
- AOAC Official Method 2002. Amylase-Treated Neutral Detergent Fiber in Feeds. En: AOAC Official Methods of Analysis. 15 ed. Arlington, VA: Assoc Offic Anal Chem 2002. / Mertens DR. Gravimetric Determination of Amylase-treated Neutral Detergent Fiber in Feeds with Refluxing in Beakers or Crucibles: Collaborative Study. *J AOAC Int* 2002; 85:1217-1240
- Avallone, R., Vitale, G., & Bertolotti, M. (2019). Omega-3 fatty acids and neurodegenerative diseases: New evidence in clinical trials. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(17), 4256. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.10.005>

- Barriviera VR, Tsujii KM, dos Santos LD, Furuya LB, Panaczevicz PA, Miranda JA, ... y Furuya WM. (2021). Substitution of soybean oil with linseed oil on growth performance, fatty acid profile and texture attributes in large Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* reared under cold suboptimal temperature. *Aquaculture Research*, 52 (11): 5136-5145. <https://doi.org/10.1111/are.15381>
- Betancourt, L., Díaz, G. J., Aguilar, X., & Ríos, J. (2005). Effect of ensiled trout (*Oncorhynchus mykiss*) intestines on productive traits of broiler chickens and the content of omega-3 fatty acids in liver, thighs, and breast. *Livestock Research for Rural Development*, 17(9). <http://www.lrrd.org/lrrd17/9/beta17106.htm>
- Calder, P. C. (2015). Functional roles of fatty acids and their effects on human health. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 39(Suppl. 1), 18S-32S. <https://doi.org/10.1177/0148607115595980>
- Calder, P. C., Campoy, C., Eilander, A., Fleith, M., Forsyth, S., Larsson, P. O., & Mensink, R. P. (2019). A systematic review of the effects of increasing arachidonic acid intake on PUFA status, metabolism, and health-related outcomes in humans. *British Journal of Nutrition*, 121(11), 1201-1214. <https://doi.org/10.1017/S0007114519000692>
- Carrera-Quintana, S. C., Gentile, P., & Girón-Hernández, J. (2022). An overview on the aquaculture development in Colombia: Current status, opportunities, and challenges. *Aquaculture*, 560, 738583. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738583>
- Coates, W., & Ayerza, R. (2009). Chia (*Salvia hispanica* L.) seed as an n-3 fatty acid source for finishing pigs: Effects on fatty acid composition and fat stability of the meat and internal fat, growth performance, and meat sensory characteristics. *Journal of Animal Science*, 87(11), 3798-3804. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1987>
- Coorey, R., Novinda, A., Williams, H., & Jayasena, V. (2015). Omega-3 fatty acid profile of eggs from laying hens fed diets supplemented with chia, fish oil, and flaxseed. *Journal of Food Science*, 80(1), S180-S187. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12735>
- Cruz-Casallas, N. E., Marciales-Caro, L. J., Díaz-Olarte, J. J., Murillo-Pacheco, R., Medina-Robles, V. M., & Cruz-Casallas, P. E. (2010). Desempeño productivo del yaque (*Leiarus marmoratus* Gill, 1870) bajo diferentes densidades de siembra en estanques en tierra. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(3), 325-335. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902010000300008&lng=en&tlng=es
- Chetoui, I., Ghribi, F., Bejaoui, S., Hachana, S., El Cafsi, M., & Azaza, M. S. (2022). Incorporation of ω 3 fatty acids in the diets of Nile tilapia juvenile (*Oreochromis niloticus* L.): Effects on growth performance, fatty acid composition, and tolerance to low temperature. *Tropical Animal Health and Production*, 54(6), 401. <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03394-2>
- De Souza, N. E., Matsushita, M., De Oliveira, C., Franco, M. R., & Visentainer, J. V. (2007). Manipulation of fatty acid composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) filets with flaxseed oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(9), 1677-1681. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2877>
- De Souza, N. E., Stevanato, F. B., Garcia, E. E., Visentainer, J. V., & Zara, R. F. (2008). Supplemental dietary flaxseed oil affects both neutral and phospholipid fatty acids in cultured tilapia. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110(7), 707-713. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200700245>
- Djuricic, I., & Calder, P. C. (2021). Beneficial outcomes of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids on human health: An update for 2021. *Nutrients*, 13(7), 2421. <https://doi.org/10.3390/nu13072421>
- Dos Santos, S. K., Schorer, M., Moura, G. D., Lanna, E. A., & Pedreira, M. M. (2019). Evaluation of growth and fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with *Schizochytrium* sp. *Aquaculture Research*, 50(4), 1068-1074. <https://doi.org/10.1111/are.13979>
- Drenjančević, I., & Pitha, J. (2022). Omega-3 polyunsaturated fatty acids—Vascular and cardiac effects on the cellular and molecular level (narrative review). *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), 2104. <https://doi.org/10.3390/ijms23042104>
- Duarte, F. O., de Paula, F. G., Prado, C. S., dos Santos, R. R., Minafra-Rezende, C. S., Gebara, C., & Lage, M. E. (2021). Better fatty acids profile in filets of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) supplemented with fish oil. *Aquaculture*, 534, 736241. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736241>
- Elagizi, A., Lavie, C. J., O'Keefe, E., Marshall, K., O'Keefe, J. H., & Milani, R. V. (2021). An update on omega-3 polyunsaturated fatty acids and cardiovascular health. *Nutrients*, 13(1), 204. <https://doi.org/10.3390/nu13010204>
- FAO. (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción*. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Fekete, K., Marosvölgyi, T., Jakobik, V., & Decsi, T. (2009). Methods of assessment of n-3 long-chain polyunsaturated fatty acid status in humans: A systematic review. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 89(6), 2070S-2084S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.272301>
- Feronato, G., & Prandini, A. (2020). Dietary supplementation of inorganic, organic, and fatty acids in pig: A review. *Animals*, 10(10), 1740. <https://doi.org/10.3390/ani10101740>
- Folch, J., Lees, M., & Stanley, G. H. S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *The Journal of Biological Chemistry*, 226(1), 497-509. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5)
- Freitas, R. D., & Campos, M. M. (2019). Protective effects of omega-3 fatty acids in cancer-related complications. *Nutrients*, 11(5), 945. <https://doi.org/10.3390/nu11050945>
- Fuentes, N. R., Kim, E., Fan, Y. Y., & Chapkin, R. S. (2018). Omega-3 fatty acids, membrane remodeling and cancer prevention. *Molecular Aspects of Medicine*, 64, 79-91. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2018.04.001>
- Goosen, N. J., de Wet, L. F., & Goergens, J. F. (2016). Rainbow trout silage as immune stimulant and feed ingredient in diets for Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Aquaculture Research*, 47(1), 329-340. <https://doi.org/10.1111/are.12497>
- García, J. C., Ojea, E. T., Treviño, L. J., & Fernández, S. S. (2017). Ácidos grasos omega-3 y depresión: Una revisión sistemática. *Psiquiatría Biológica*, 24(1), 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.psiq.2016.12.001>
- SAS Institute. (1990). *GLM: General linear models*.
- Harris, W. S. (2018). The omega-6: Omega-3 ratio: A critical appraisal and possible successor. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 132, 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2018.03.003>
- Huang, N., Wang, M., Peng, J., & Wei, H. (2021). Role of arachidonic acid-derived eicosanoids in intestinal innate immunity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(14), 2399-2410. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1777932>
- Jamshidi, A. M., Amato, M., Ahmadi, A., Bochicchio, R., & Rossi, R. (2019). Chia (*Salvia hispanica* L.) as a novel forage and feed source: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 14(1), 1-18. <https://doi.org/10.4081/ija.2019.1297>
- Justi, K., Hayashi, C., Visentainer, J. V., de Souza, N. E., & Matsushita, M. (2003). The influence of feed supply time on the fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed on a diet enriched with n-3 fatty acids. *Food Chemistry*, 80, 489-493. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00317-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00317-5)
- Kowalska, A., Zakeš, Z., Jankowska, B., & Siwicki, A. (2012). Impact of diets with vegetable oils on the growth, histological structure of internal organs, biochemical blood parameters, and proximate composition of pikeperch (*Sander lucioperca*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 38, 375-388. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.01.028>
- Lange, K. W. (2020). Omega-3 fatty acids and mental health. *Global Health Journal*, 4(1), 18-30. <https://doi.org/10.1016/j.glohj.2020.01.004>
- Layé, S., Nadjar, A., Joffre, C., & Bazinet, R. P. (2018). Anti-inflammatory effects of omega-3 fatty acids in the brain: Physiological mechanisms and relevance to pharmacology. *Pharmacological Reviews*, 70(1), 12-38. <https://doi.org/10.1124/pr.117.014092>
- Liang, Z., Jiang, Z., Wu, S., Zhai, Y., You, S., & Xu, C. (2024). Exogenous fatty acids remodel the muscle fatty acids composition of the GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*).

- Aquaculture Research*, 2024(1), 715178. <https://doi.org/10.1155/2024/2715178>
- Maki, K. C., Eren, F., Cassens, M. E., Dicklin, M. R., & Davidson, M. H. (2018). ω -6 polyunsaturated fatty acids and cardiometabolic health: Current evidence, controversies, and research gaps. *Advances in Nutrition*, 9(6), 688-700. <https://doi.org/10.1093/advances/nmy038>
- Muñoz-Peñuela, M., García-Ulloa, M., Fonseca-Madrigal, J., Medina-Godoy, S., Espinosa-Alonso, L. G., & Rodríguez-González, H. (2021). Influence of different concentrations of chia (*Salvia hispanica*) and flaxseed (*Linum usitatissimum*) meal on fillet fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 49(4), 671-677. <http://dx.doi.org/10.3856/vol49-issue4-fulltext-2644>
- Niot, I., Poirier, H., Tran, T. T. T., & Besnard, P. (2009). Intestinal absorption of long-chain fatty acids: Evidence and uncertainties. *Progress in Lipid Research*, 48(2), 101-115. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2009.01.001>
- Opiyo, M. A., Muendo, P., Mbogo, K., Ngugi, C. C., Charo-Karisa, H., Orina, P., & Tocher, D. R. (2022). Inclusion of duckweed (*Lemna minor*) in the diet improves flesh omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acid profiles but not the growth of farmed Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animal Feed Science and Technology*, 292, 115442. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115442>
- Parvez, M. S., Biswas, B., Debnath, S., Aktar, S., Rahman, S. M., & Ahsan, M. N. (2024). Zootechnical performance, protease activity and proximate composition of Nile tilapia fed diets containing fish silage produced from fish waste. *Aquaculture Studies*, 24(6). <https://doi.org/10.4194/AQUAST1974>
- Sahena, F., Zaidul, I. S. M., Jinap, S., Saari, N., Jahurul, H. A., Abbas, K. A., & Norulaini, N. A. (2009). PUFAs in fish: Extraction, fractionation, importance in health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(2), 59-74. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00069.x>
- Sales-Campos, H., Reis de Souza, P., Crema Peghini, B., Santana da Silva, J., & Ribeiro Cardoso, C. (2013). An overview of the modulatory effects of oleic acid in health and disease. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 13(2), 201-210. <https://doi.org/10.2174/138955713804805193>
- Shibabaw, T. (2021). Omega-3 polyunsaturated fatty acids: Anti-inflammatory and anti-hypertriglyceridemia mechanisms in cardiovascular disease. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 476(2), 993-1003. <https://doi.org/10.1007/s11010-020-03965-7>
- Simopoulos, A. P. (2004). The traditional diet of Greece and cancer. *European Journal of Cancer Prevention*, 13(3), 219-230. <http://www.jstor.org/stable/45051403>
- Simopoulos, A. P. (2020). Omega-6 and omega-3 fatty acids: Endocannabinoids, genetics and obesity. *OCL*, 27, 7. <https://doi.org/10.1051/ocl/2019046>
- Tallima, H., & El Ridi, R. (2018). Arachidonic acid: Physiological roles and potential health benefits—a review. *Journal of Advanced Research*, 11, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.11.004>
- Teoh, C. Y., Turchini, G. M., & Wing-Keon, N. G. (2011). Genetically improved farmed Nile tilapia and red hybrid tilapia showed differences in fatty acid metabolism when fed diets with added fish oil or a vegetable oil blend. *Aquaculture Nutrition*, 17-1, 126-136. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.018>
- Thesing, C. S., Bot, M., Milaneschi, Y., Giltay, E. J., & Penninx, B. W. (2018). Omega-3 and omega-6 fatty acid levels in depressive and anxiety disorders. *Psychoneuroendocrinology*, 87, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.10.005>
- Tonial, I. B., Stevanato, F. B., Matsuhita, M., De Souza, N. E., Furuya, W. M., & Visentainer, J. V. (2009). Optimization of flaxseed oil feeding time length in adult Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) as a function of muscle omega-3 fatty acids composition. *Aquaculture Nutrition*, 15, 564-568. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2008.00623.x>
- Turchini, G. M., Francis, D. S., & De Silva, S. S. (2006). Fatty acid metabolism in the freshwater fish Murray cod (*Maccullochella peelii peelii*) deduced by the whole-body fatty acid balance method. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 144, 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2006.01.013>
- Visentainer, J. V., De Souza, N. E., Makoto, M., Hayashi, C., & Bueno, M. R. (2005). Influence of diets enriched with flaxseed oil on the α -linolenic, eicosapentaenoic and docosahexaenoic fatty acid in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Food Chemistry*, 90, 557-560. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.05.016>
- Xie, D., Guan, J., Huang, X., Xu, C., Pan, Q., & Li, Y. (2022). Tilapia can be a beneficial n-3 LC-PUFA source due to its high biosynthetic capacity in the liver and intestine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(8), 2701-2711. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c05755>
- Wangkahart, E., Bruneel, B., Wisetsri, T., Nontasan, S., Martin, S. A., & Chantiratikul, A. (2022). Interactive effects of dietary lipid and nutritional emulsifier supplementation on growth, chemical composition, immune response and lipid metabolism of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 546, 737341. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737341>
- Young, K. (2009). Omega-6 (n-6) and omega-3 (n-3) fatty acids in tilapia and human health: A review. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 60, 203-211. <https://doi.org/10.1080/09637480903140503>

