

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN NUTRICIÓN



**“COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y COMPOSICIÓN LIPÍDICA
DEL PACO (*Piaractus brachyomus*) ALIMENTADO CON
DIFERENTES RELACIONES DE ÁCIDOS GRASOS OMEGA 6 A 3”**

Presentada por:

GERALD BRIAN TUEROS TELLEZ

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO

MAGISTER SCIENTIAE EN NUTRICIÓN

Lima – Perú

2018

DEDICATORIA

A mi madre Carlota Tellez Bellido por su
apoyo
incondicional durante toda mi vida.

A mis hermanos Donato y Alondra por lo que
representan para mí.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Víctor Vergara Rubín por su apoyo durante todo este proceso.

A mi jurado de tesis y profesores: V. Hidalgo, V. Guevara y C. Gómez, por su disposición y apreciaciones hacia la investigación.

A mis amigos, por su apoyo en la investigación.

Al CONCYTEC-FONDECYT por la oportunidad de realizar la maestría y la colaboración en la investigación.

A la Universidad Nacional Agraria La Molina, mi alma mater.

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1	Paco (<i>Piaractus brachypomus</i>).....	2
2.1.1	Características de la especie	2
2.1.1.1	Distribución geográfica.....	2
2.1.1.2	Morfología.....	2
2.1.1.3	Hábitat.....	2
2.1.1.4	Hábitos alimenticios.....	3
2.1.2	Calidad de agua	3
2.2	Requerimientos Nutricionales	3
2.3	Ácidos grasos	5
2.3.1	Ácidos grasos esenciales	5
2.3.2	Demanda de ácidos grasos esenciales en peces	6
2.3.2.1	Mecanismos del cumplimiento de la demanda en peces	6
2.3.3	Función de ácidos grasos en peces	7
2.3.4	Carencia de los ácidos grasos esenciales en peces.....	9
2.4	Perfil de ácidos grasos de la carne de diferentes especies.....	9
2.5	Ácidos grasos en la salud humana	10
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1	Lugar y duración de la evaluación	13
3.2	Instalaciones y equipos	13
3.2.1	Equipos	13
3.3	Animales experimentales.....	14
3.4	Tratamientos	14
3.4.1	Dietas experimentales.....	14
3.5	Procedimiento Experimental	17
3.5.1	Suministro de Alimento	17
3.5.2	Análisis químico proximal del alimento	17
3.5.3	Análisis cromatográfico de los ácidos grasos de las dietas	17
3.5.4	Variables respuesta	18
3.5.4.1	Peso Vivo	18
3.5.4.2	Longitud	18
3.5.4.3	Ganancia de peso e incremento de longitud.....	18

3.5.4.4	Tasa Especifica de crecimiento.....	18
3.5.4.5	Ganancia de Biomasa	18
3.5.4.6	Conversión Alimentaria	18
3.5.4.7	Perfil lipídico del músculo de los peces.....	18
3.5.4.8	Calidad de Agua	19
3.6	Diseño experimental	19
3.6.1	Análisis Estadístico	20
3.6.2	Análisis de regresión.....	20
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	22
4.1	Ganancia de peso, Conversión alimenticia y Tasa Especifica de Crecimiento	22
4.1.1	Ganancia de peso	22
4.1.2	Conversión Alimenticia.....	24
4.1.3	Tasa especifica de crecimiento (TEC).....	25
4.2	Perfil de Ácidos Grasos del músculo	26
4.2.1	Ácidos Grasos Saturados	26
4.2.2	Ácidos Grasos Monoinsaturados.....	27
4.2.3	Ácidos Grasos Poliinsaturados.....	27
4.2.3.1	EPA y DHA	29
4.2.3.2	Relación de omega-6 a omega-3	30
V.	CONCLUSIONES	32
VI.	RECOMENDACIONES	33
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
VIII.	ANEXO.....	43

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pagina
1	Fórmula y Valor Nutritivo calculado de las dietas experimentales (Tal como ofrecido).	15
2	Fórmula del Premix-Acuacultura.	16
3	Análisis químico proximal de las dietas experimentales (base parcialmente seca)	17
4	Promedios semanales de Temperatura, Concentración de Amonio (mg/L), Nitritos (mg/L), pH y Oxígeno Disuelto (mg/L).	19
5	Efecto de las diferentes relaciones de Omega-6 a omega-3 sobre los parámetros productivos del paco.	23
6	Perfil de ácidos grasos en el músculo del pez por tratamiento.	28
7	Perfil de Ácidos Grasos de Omega-6 y Omega-3 en el Alimento y Músculo del Paco.	30

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Vía biosintética de ácidos grasos altamente insaturados	8
2	Curva de regresión polinomial cuadrática para determinar la relación optima de ω -6/ ω -3 en el del paco utilizando la variable ganancia de peso diaria	23
3	Curva de regresión polinomial cuadrática para determinar la relación optima de ω -6/ ω -3 en el del paco utilizando la variable conversión alimenticia	24
4	Curva de regresión polinomial cuadrática para determinar la relación optima de ω -6/ ω -3 en el del paco utilizando la variable tasa especifica de crecimiento.	26

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Perfil de Ácidos Grasos de la dieta por tratamiento.	43
2	Equipos del Laboratorio de investigación en nutrición y alimentación de peces y crustáceos	44
3	Instalaciones del Laboratorio de investigación en nutrición y alimentación de peces y crustáceos	45
4	Pesos en gramos de los peces al inicio, a los 28 días y a los 56 días.	46
5	Consumo en gramos de alimento por periodo y acumulado.	47
6	Ganancia de peso en gramos por periodo y acumulado.	48
7	Conversión alimenticia por periodo y acumulada.	49
8	Longitud en centímetros de los peces al inicio, a los 28 días y a los 56 días.	50
9	Análisis de varianza de las variables respuesta	51
10	Análisis de varianza de la regresión de las variables respuesta	52

RESUMEN

Los ácidos grasos esenciales, contenidos en la fracción lipídica de la dieta, son de importancia fisiológica en los peces de cultivo ya que sirven de sustrato para la síntesis de metabolitos de carácter hormonal y reproductivo. La relación de estos ácidos grasos tiene relevancia biológica y productiva. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación es mostrar el desempeño productivo del paco en respuesta a 4 diferentes relaciones de Omega-6 a Omega-3 (7.96:1, 4.27:1, 2.46:1, 1.43:1). Se utilizaron 80 juveniles de Paco (*Piaractus brachypomus*) de 105 g de peso vivo y 16.4 cm de talla, los cuales fueron distribuidos al azar en 4 grupos experimentales con 4 repeticiones de 5 peces cada uno, las dietas fueron isoenergéticas e isoproteicas. Se realizó la biometría al inicio y al final de la prueba, la cual fue de 8 semanas. Se realizó el ANOVA usando el programa MINITAB 17 y para el análisis de regresión cuadrática se usó el paquete estadístico Solver-Excel. Al finalizar la prueba el Anova no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) en ninguna de las variables evaluadas (Ganancia de peso, Conversión alimenticia, Tasa específica de crecimiento). Sin embargo, el Análisis de regresión cuadrática determinó que la relación óptima de Omega-6 a Omega-3 para la ganancia de peso fue de 5.43:1, para la conversión alimenticia fue de 7.63:1 y para la tasa específica de crecimiento fue de 5.40:1. Con respecto al perfil de ácidos grasos del músculo, las diferentes relaciones en las dietas modifican el perfil de ácidos grasos de este, además se observa que la relación de omega-6 a omega-3 disminuye juntamente con la relación en las dietas. Se evidencia la capacidad del paco para la elongación y desaturación de este tipo de ácidos grasos y la deposición en el músculo.

Palabras clave: Ácidos grasos esenciales, Paco, omega 3, omega 6.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the effect of 4 different ratios of Omega-6 to Omega-3 (7.96:1, 4.27:1, 2.46:1, 1.43:1) on growth performance and tissue fatty acid profiles. An 8-week feeding trial was conducted. Paco (*Piaractus brachypomus*) juveniles (105 g initial body weight and 16.4 cm height) were distributed in 16 tanks (5 fish/tank, and 4 replicates per diet) the diets were isoenergetic and isoproteic. Biometry was performed at the beginning and at the end of the test. Data were statistically compared with one-way ANOVA at 5% significance using MINITAB Statistical Software System v17. and Solver-Excel Statistical Software. No significant ($P > 0.05$) differences were found in weight gain (WG), feed conversion rate, specific growth rate (SGR) However, the quadratic regression analysis determined that the optimum Omega-6 to Omega-3 ratio for weight gain was 5.43:1, for feed conversion was 7.63: 1 and for the specific growth rate was 5.40: 1. The fatty acid profile of the fish fillet reflected the fatty acid composition of the diets. Also, it was observed that the ratio of Omega-6 to Omega-3 of the fish fillet decreased as the ratio in the diets decreased. The results showed Paco's ability to elongate and desaturate this sort of fatty acids and the deposition of these in the muscle.

Key words: Essential fatty acids, Paco, omega 3, omega 6.

I. INTRODUCCIÓN

La industria acuícola en el país se viene desarrollando de manera exponencial, la explotación de especies amazónicas viene acentuándose en estos últimos años, entre estas especies tenemos el Paco (*Piaractus brachypomus*). El paco, como es conocido en el Perú, tiene un potencial de explotación importante en la amazonia peruana. Para el año 2005 se producían 43 TM, sin embargo, para el año 2014 la producción ascendió hasta 453TM (Ministerio de la Producción, 2014). La importancia comercial radica en la calidad y el sabor de su carne, aceptación en el mercado, hábitos omnívoros, rusticidad y adaptación rápida a diversas dietas, lo que favorece las tasas de conversión alimenticia. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO), la especie es una alternativa para satisfacer la seguridad alimentaria como fuente proteica para las poblaciones mundiales. Otras de sus ventajas productivas son su manejo zootécnico, ya que es apta para cultivos extensivos y semi-intensivos, y es propicia para mono y policultivos (Mesa-Granada y Botero 2007).

Al igual que en otros vertebrados, los peces son deficientes en la síntesis de ácidos grasos poliinsaturados (Ac. Linolénico, Ac. Linoleico) por lo cual es necesario suplementar este tipo de ácidos grasos en la dieta de los peces. Los peces de agua dulce a diferencia de las especies marinas tienen una adecuada capacidad para elongación y desaturación de ácidos grasos de cadena larga. La inclusión de los ácidos grasos en la dieta del paco nos permite mejorar el perfil nutricional del filete. En la actualidad existe una falta de información con respecto al efecto de este tipo de ácidos grasos sobre la performance del paco.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la relación de ácidos grasos omega 6 a 3 en la dieta del pez paco (*Piaractus brachypomus*) sobre los parámetros productivos como peso vivo, longitud total, ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, tasa específica de crecimiento, sobrevivencia y la composición lipídica del músculo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Paco (*Piaractus brachypomus*)

Piaractus brachypomus, conocido por su nombre común como paco de vientre rojo, morocoto en Venezuela y Colombia, y pirapitinga en Brasil, Bolivia. Este pez, de la familia Characidae, se encuentra en ríos con altos sedimentos (aguas marrones) en la cuenca del río Amazonas y Orinoco, y representa una importante fuente de ingresos para la población ribereña (Izquierdo 2000). En la actualidad, *P. brachypomus* se ha convertido en uno de los peces más cultivados en la cuenca del río Amazonas y Orinoco debido a su fácil adaptación a las condiciones de cultivo, sus características omnívoras, crecimiento rápido y buena calidad de carne (Hernández 1994). Este pez suele cultivarse de forma semi-intensiva en estanques de tierra y en menor medida en jaulas flotantes (Gomes et al. 2006).

2.1.1 Características de la especie

2.1.1.1 Distribución geográfica.

Según Aliaga (2004), el género *Piaractus*, están ampliamente distribuidos en los ríos Amazónicos de América del Sur. Según Loubens y Panfili (2001), la distribución de *P. brachypomus* es similar a la de *C. macropomum*, sin embargo, está aumentado su área de distribución a los bajos Andes de Bolivia y Guyana.

2.1.1.2 Morfología.

Martínez (1984) y Lauzanne y Loubens (1985), comentan que el *P. brachypomus* mide 85cm y puede pesar hasta 20kg. Tiene una coloración clara, blanco plateado, a veces azuladas en el dorso y flancos. El abdomen es blanquecino, con ligeras manchas anaranjadas.

2.1.1.3 Hábitat.

Como alevines y juveniles, el paco se puede encontrar en inundaciones de afluentes ricos en nutrientes, o en cabeceras cuando los nutrientes son pobres. El Paco se traslada mayores distancias en los ríos a medida que se desarrollan. El pH del agua es 6.8, con una temperatura

óptima de 26 °C. Considerado como un nadador de nivel medio, esta especie se encuentra a profundidades de hasta 8 metros (Burkhardt et al. 2002; Carolsfeld et al. 2003; Martelo et al. 2008)

2.1.1.4 Hábitos alimenticios.

La composición de la dieta de paco (y varias especies relacionadas) cambia dependiendo de la temporada. Durante la estación lluviosa dependen en gran medida de la depredación de semillas de la fruta recién caído de los árboles de ribera y plantas. Aunque el Paco es ampliamente considerados como los frugívoros, en realidad son omnívoros, también comen crustáceos y peces pequeños, sobre todo en la estación seca. Como algunos de los peces más grande de la Amazonía, el paco requiere de grandes cantidades de alimento. Se alimentan en varios "lanzamientos de mordida", cada lanzamiento contiene un número de mordeduras individuales, esta conducta es similar a la alimentación observada en pirañas (Burkhardt et al. 2002; Fernández et al. 2004; Froese y Pauly 2010; Hanke et al. 2006).

2.1.2 Calidad de agua

De acuerdo con OLDEPESCA (2010), para *P. brachypomus*, las condiciones fisicoquímicas del agua de cultivo son las siguientes: temperatura de 25° a 32°C, oxígeno disuelto de 4-12 ppm, pH entre 6.5 y 8.5, dureza de 50 a 350 ppm y por último la alcalinidad en un rango de 50 a 300 ppm.

De acuerdo con una investigación hecha en sistemas productivos con y sin recambio de agua en cachama blanca, *P brachypomus*, Poleo et al. (2011) encontró en un sistema de cero recambios (SCR) y en un sistema de recirculación abierta (SRA) donde en el SRA el cambio mínimo de agua diario fue de 5.0%, y en el SCR fue de 1.8%, que, para el SRA y SCR, el oxígeno disuelto resulta en 5 y 4.8 mg/l respectivamente, el pH en 7.6 y 7.8 respectivamente, de igual manera la dureza en 457.8 y 458.7 mg/l respectivamente y por último la temperatura en 27.4 y 26.9 para cada sistema trabajado.

2.2 Requerimientos Nutricionales

P. brachypomus es un pez omnívoro que por lo general se alimenta de hojas, frutos, pequeños peces y crustáceos en su hábitat natural. El conocimiento de su requerimiento nutricional y la alimentación es muy limitado; sin embargo, se informa que el requerimiento de la proteína esta alrededor de 30% (Gutiérrez et al. 1996) o 29.2% (Vergara et al. 2011), mientras que

los niveles de lípidos y carbohidratos se encuentran dentro de 40 a 60 g/kg y por encima de 360 g/kg, respectivamente (Vásquez-Torres et al. 2011).

Aunque no hay estudios específicos que hayan determinado el requerimiento de aminoácidos esenciales para *P. brachypomus*, utilizando el perfil de aminoácidos de una dieta purificada basado en caseína y gelatina en una relación de 8:1 mejora el crecimiento y la retención de nutrientes en la carcasa (Vásquez-Torres y Arias-Castellanos 2013). Al asumir que la composición de aminoácidos esenciales es similar entre los grupos taxonómicos de peces y que la composición de aminoácidos de la canal del pescado puede reflejar los requerimientos de aminoácidos esenciales dietarios de los peces (Kaushik 1998; Peres y Oliva-Teles 2008), se calculó el requerimiento de aminoácidos esenciales para *P. brachypomus* usando el requerimiento reportado para otros peces de agua dulce omnívoros (Kaushik 1998; Halver y Hardy 2002). Se pueden utilizar un requerimiento similar de aminoácidos esenciales entre *C. macropomum*, *P. mesopotamicus* y *P. brachypomus*, así como entre otras especies de peces (Kaushik 1998).

El uso de estimaciones de las necesidades nutricionales basadas en la composición química de todo el contenido corporal y el estómago de los peces silvestres son una alternativa cuando los estudios de requerimientos de nutrientes no están disponibles para una especie dada (Halver y Hardy 2002; Hamre et al. 2013). Similar al *C. macropomum*, el *P. brachypomus* parece tener un hábito de alimentación que se adapta a las diferentes condiciones del medio. Se observó una gran variedad en la composición química del contenido del estómago en *P. brachypomus* criado en diferentes entornos. Por ejemplo, la composición química de los contenidos estomacales de *P. brachypomus* atrapados en lagos artificiales en Bangladesh fue 690.8, 132.6 y 103.9 g/kg de proteínas, lípidos y cenizas, respectivamente; Sin embargo, este pez ingiere en general, frutas, semillas y hojas de plantas amazónicas en sus dietas naturales (Lucas 2008). Aunque *P. brachypomus* tiene una alimentación similar a *C. macropomum* y *P. mesopotamicus* en la naturaleza, la determinación del requerimiento de nutrientes específicos de la especie es de suma importancia debido a las diferencias en la fisiología entre estas especies, que, en asociación con las diferencias de los factores ambientales, podría afectar a las necesidades de nutrientes para el crecimiento máximo en cada especie. Por ejemplo, las diferencias en la morfología del tracto digestivo entre estas especies pueden indicar que *P. brachypomus* tiene un hábito de alimentación más adaptable que *C. macropomum* (Dabrowski y Portella 2006).

Por otra parte, los estudios ecológicos realizados en la Amazonía utilizando técnicas de isótopos estables indican que *P. brachypomus* no cambia su dieta entre las estaciones de inundación, lo cual es una característica diferente de *C. macropomum* (Santos 2009). Sin embargo, ninguno de estos estudios determinó la composición química del contenido estomacal de *P. brachypomus*, lo que conduce a conclusiones limitadas. Por lo tanto, se debe tener precaución al utilizar los datos de manera intercambiable con otras especies de este grupo, o hacer conclusiones generales basadas en el conjunto filogenético.

2.3 Ácidos grasos

Los ácidos grasos son nutrientes necesarios para la salud, junto con los azúcares es la principal fuente de energía para el organismo. Los que no se utilizan de inmediato se almacenan en forma de grasa; su exceso produce Obesidad (Lord y Bralley 2002).

Los ácidos grasos se dividen, según sus características estructurales, en dos grandes grupos: Ácidos grasos saturados y Ácidos grasos insaturados, estos últimos, dependiendo del grado de insaturación que posean se pueden clasificar como ácidos grasos monoinsaturados (AGMIs) y Ácidos grasos Poliinsaturados (AGPIs). Estos ácidos grasos insaturados dependiendo de la posición del doble enlace, pueden clasificarse en tres series principales: Familia de los Ácidos grasos Omega-3 o serie linolénica (Ácido linolénico 18:3 ω -3), familia de los ácidos grasos Omega-6 o serie linoleica (Ácido linoleico:18:2 ω -6) y familia de los ácidos grasos Omega-9 o serie oleica (Crawford et al. 1976; Politi et al. 2001).

2.3.1 Ácidos grasos esenciales

Todos los vertebrados, incluyendo peces, tienen ausencia de desaturasas tipo Δ 12 y Δ 15 (omega 3) y por lo tanto no pueden formar 18:2 ω -6 y 18:3 ω -3 a partir de 18:1 n-9. Por lo tanto, 18:2 ω -6 y 18: 3 ω -3 son ácidos grasos esenciales en las dietas de los vertebrados. Estos ácidos grasos esenciales de la dieta pueden ser desaturados y alargados para formar Ácidos grasos altamente insaturados (HUFAs) esencialmente fisiológicos C20 y C22, 20:4 ω -6, 20:5 ω -3 y 22: 6 ω -3.

El grado en que un animal puede realizar estas conversiones depende de las actividades relativas de elongasas y desaturasas de ácidos grasos, tales como Δ 6 y Δ 5, en sus tejidos, y estas actividades a su vez dependen de la medida en que la especie pueden o no pueden

obtener fácilmente el producto final C20:4 ω -6, Araquidónico (ARA); C20:5 ω -3, Eicosapentanoico (EPA) y C22:6 ω -3, Docosahexaenoico (DHA) ácidos grasos preformados de sus dietas naturales. Por ejemplo, un carnívoro extremo tal como el gato, que puede obtener abundante ácido graso C20:4 ω -6, C20:5 ω -3 y C22: 6 ω -3 preformado de su presa natural, parece carecer, o expresar muy bajo Δ 6 y posiblemente Δ 5 desaturasas (Rivers et al. 1975).

Ahora se ha establecido que la vía biosintética de C20:5 ω -3 y C22:6 ω -3 a partir de C18:3 ω -3 está presente en la trucha arco iris, y probablemente en otras especies de peces de agua dulce. La vía es compleja, pero está hasta ahora razonablemente bien entendida y al parecer ser la misma, al menos cualitativamente, en la trucha arco iris (Buzzi et al. 1996, 1997) como en ratas (Voss et al. 1991).

2.3.2 Demanda de ácidos grasos esenciales en peces

Los requerimientos estimados de Acido Grasos Esenciales (AGE) para juveniles y adultos de los peces de agua dulce estudiados hasta ahora indican que estos en general pueden ser cubiertos por los Ácidos Grasos Poliinsaturados (AGPI) de 18 carbonos (C18), 18:3 ω -3 y/o 18:2 ω -6, siendo alrededor del 1% del peso seco de la dieta. Las especies de agua dulce pueden clasificarse en tres categorías principales: especies de agua fría, incluyendo salmónidos, que requieren principalmente 18:3 ω -3, especies de aguas cálidas como la tilapia que principalmente requieren 18:2 ω -6 y especies que requieren cantidades significativas de ambas, como el pez gato *Ictalurus punctatus* y la carpa común *Cyprinus carpio* L. Aunque los AGPI C18 suelen ser eficaces para satisfacer los requerimientos de ácidos grasos esenciales (AGE) en los peces de agua dulce, algunas especies incluidos los salmónidos, los ácidos grasos altamente insaturados (HUFAs) ω -3 pueden satisfacer los requerimientos de AGE a menores niveles que los 18:3 ω -3 y puede aumentar el crecimiento sobre el obtenido con 18:3 ω -3 solo (Sargent et al. 2002). En el pez gato se observó un efecto similar con un crecimiento significativamente mejor mediante la inclusión de los HUFA ω -3 en la dieta (Santha y Gatlin 1991).

2.3.2.1 Mecanismos del cumplimiento de la demanda en peces

A pesar de la diferencia del tipo de alimentación que puede existir entre peces de mar o de agua dulce, incluso del nivel trófico al que puedan pertenecer (piscívoros o carnívoros frente

a herbívoros) que también pueden desempeñar un papel importante, se conoce que los requerimientos cualitativos de los Ácidos Grasos Esenciales (AGE) varían según el medio ambiente (peces de agua dulce vs. peces marinos) (Sargent et al. 2002). Es probable que esta sea una adaptación evolutiva a la disponibilidad de ácidos grasos en los diferentes entornos. Los ácidos grasos poliinsaturados se originan en cadenas alimentarias acuáticas, como en todos los ecosistemas, en los productores primarios, esencialmente las plantas. El fitoplancton marino produce altos niveles de ω -3 AGPI, EPA y DHA, mientras que, en agua dulce, el fitoplancton se caracteriza por niveles más altos de 18:2 ω -6 y 18:3 ω -3, con niveles razonables de EPA, pero generalmente bajos niveles de DHA (Sargent et al. 1995). Por lo tanto, los peces marinos habitan en ambientes ricos en ácidos grasos altamente insaturados HUFA y no han tenido presión evolutiva para tener la capacidad de producirlos endógenamente, mientras que niveles bajos de HUFA, particularmente DHA, ha mantenido esta presión en los peces de agua dulce. La biosíntesis de HUFA en vertebrados, incluyendo los peces, implica desaturación y elongación secuencial de 18:2 ω -6 y 18:3 ω -3 (Cook 1996). La síntesis de ARA se consigue por desaturación con la Δ 6 desaturasa de 18:2 ω -6 para producir 18:3 ω -6 que se alarga a 20:3 ω -6 seguido de la desaturación por Δ 5 desaturasa y así lograr el 20:4 ω -6 (Figura 1). La síntesis de EPA a partir de 18:3 ω -3 usa las mismas enzimas y vías que para la síntesis de ARA, pero la síntesis de DHA requiere dos etapas de elongación adicionales, una segunda desaturación Δ 6 y un paso de acortamiento de cadena (Sprecher 2000). Por lo tanto, la capacidad de cualquier especie para convertir C18 AGPI a HUFA se asocia con su complejo de enzimas acil desaturasas y elongasas. Los requerimientos de ácidos grasos esenciales indican que los peces de agua dulce son capaces de producir HUFA biológicamente activos a partir de AGPI C18, y por lo tanto deben expresar todas las actividades biosintéticas necesarias, mientras que los peces marinos tienen capacidad reducida (Tocher 2003).

2.3.3 Función de ácidos grasos en peces

Algunas de las funciones de los AGPI es la de convertirse en moléculas de 20 carbonos altamente bioactivas (Sargent 1999) estas moléculas son producidas mediante una oxidación catalizada por una enzima dioxigenasa. Se han citado dos tipos distintos de dioxigenasa, la ciclooxigenasa que produce derivados cíclicos tales como prostaglandinas, prostaciclina y tromboxanos, y la lipoxigenasa, que producen derivados lineales como son los leucotrienos y las lipoxinas. Todos estos derivados reciben conjuntamente la denominación de

eicosanoides. Los eicosanoides son moléculas autocrinas, es decir, actúan en los alrededores de las células que los han producido y tienen una vida media corta (Sargent 1999; Tocher 2003). En los peces, los eicosanoides tienen una amplia gama de funciones fisiológicas, entre las que pueden citarse las funciones reproductivas, las respuestas inflamatorias e inmunológicas, los procesos de osmoregulación o el control de la respuesta al estrés (Lands 1993; Sargent 1999; Koven et al. 2001 Tocher 2003).

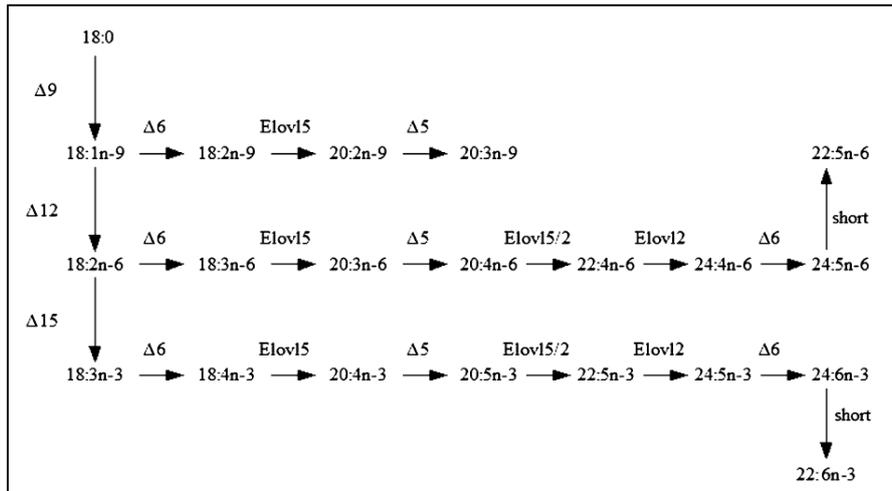


Figura 1: Vía biosintética de ácidos grasos altamente insaturados

La ingesta dietética de AGPI ω -3 y ω -6 afecta la producción de estos eicosanoides y la actividad con efectos sobre el estado de salud, ya que los eicosanoides derivados de ω -6 se asocian con problemas cardiovasculares e inflamatorios (Sargent et al. 2002; Wall et al. 2010). Las prostaglandinas derivadas del Araquidónico (PGE_2) están asociadas con la modulación de la función inmune, y aunque se requiere una baja concentración de PGE_2 para la función inmune normal, las concentraciones altas son inmunosupresoras (Bell y Sargent 2003). La composición de los ácidos grasos de la dieta influye en la respuesta inmune determinando qué precursores de eicosanoides están presentes en las membranas celulares, con dietas ricas en AGPI ω -6 que mejoran la respuesta inmune y dietas ricas en AGPI ω -3 son inmunosupresoras. Sin embargo, el tipo de eicosanoides producidos y el impacto final sobre la respuesta inmune son muy complejos (Balfry y Higgs 2001), dependiendo de factores como la competencia por el metabolismo de los ácidos grasos, los tipos de células involucradas y la forma y fuente de los ácidos grasos de la dieta. Además de los ácidos grasos esenciales, la inclusión de fosfolípidos (PL) en las dietas para larvas y alevines de varias especies de peces puede mejorar el crecimiento, la supervivencia y la resistencia al estrés (Tocher et al. 2008). Este aparente requerimiento de PL en las primeras etapas de la

ontogenia posiblemente se deba a la capacidad limitada de la síntesis de PL en estas etapas de rápido crecimiento, ya que no se ha demostrado un requerimiento de PL en peces de más de 5 g.

2.3.4 Carencia de los ácidos grasos esenciales en peces

Las dietas deficientes en AGE comportan una ralentización del crecimiento y una disminución de la eficacia alimentaria. Estos fenómenos se han observado en numerosas especies de peces de agua dulce (trucha, salmón, carpa, tilapia) o marinos (rodaballo y dorada). Al cabo de cierto tiempo (a veces varios meses) aparecen también signos patológicos tales como degeneración hepática con acumulación de lípidos, erosión de las aletas, lesiones branquiales o disminución de la tasa de hemoglobina. En la trucha, una carencia de AGE durante varios meses puede ocasionar el “Síndrome del Choque” con pérdida de movimiento como respuesta a un stress. En los reproductores, si esta misma carencia tiene lugar durante el periodo precedente a la reproducción, provoca una reducción significativa de la producción de huevos, del porcentaje de huevos en fase de ojos visibles, así como de la tasa de eclosión. Además, la mayoría de las larvas presentan deformaciones morfológicas variadas y tiene una supervivencia limitada, (Guillaume et al. 2004). Los signos de deficiencia observados en tilapia que se alimentan con dietas deficientes en ácidos grasos ω -6 y ω -3 incluyen anorexia; crecimiento deficiente; baja eficiencia de alimentación; aumento del contenido corporal de 18:1 (ω -9) y 20:3 (ω -9); hígados hinchados, pálidos y grasos; y disminución del rendimiento reproductivo (Kanazawa et al. 1980, Takeuchi et al. 1983, NRC 1993).

2.4 Perfil de ácidos grasos de la carne de diferentes especies.

Enser et al. (1996), presentaron un estudio utilizando 50 muestras del músculo del lomo de vaca, cerdo, y cordero y se determinó el perfil de ácidos grasos. La diferencia más notable entre las especies de rumiantes y monogástricos (cerdo), es que este último tuvo cinco veces mayor concentración de ácido linoleico y significativamente mayores proporciones de C20:4, y C22:6 y C14:0. La razón de esto es porque el ácido linoleico se deriva completamente de la dieta. Se pasa a través del estómago del cerdo sin cambios y se absorbe en el intestino, luego a la sangre y se incorpora en los tejidos. Sin embargo, en los rumiantes, C18:2 ω -6 y C18:3 ω -3, que se encuentra en la actualidad en muchos ingredientes de alimentación del alimento balanceado, se metaboliza en ácidos grasos saturados y

monoinsaturados en el rumen por biohidrogenación microbiana (70-95% y 85-100%, respectivamente) y solo una pequeña proporción, alrededor de 10% del consumo dietético, está disponible para su incorporación en los lípidos de tejidos.

La consecuencia de una mayor incorporación de C18:2 ω -6 en músculo del cerdo en comparación con los rumiantes produce mayores niveles de C20:4 ω -6 por síntesis y el resultado neto es una mayor relación de AGs ω -6/ ω -3 en comparación con los rumiantes. El valor actual de 7.2 en músculo de cerdo no es equilibrado con respecto al de los rumiantes (1.3 en cordero y 2.1 en la carne de vacuno).

2.5 Ácidos grasos en la salud humana

Durante mucho tiempo se ha apreciado que los AGPI ω -3 de fuente dietética pueden tener importantes efectos generalmente beneficiosos para la salud humana en gran medida basados en la evidencia de estudios epidemiológicos y ensayos aleatorios controlados (Gil et al. 2012). Los estudios epidemiológicos, que normalmente son de tiempo prolongado, analizan la ingesta de AGPI-LC ω -3 y/o su estatus dentro del organismo, de esta manera muestran un efecto protector, disminuyendo el riesgo de desarrollar alguna enfermedad cardiovascular (Delgado-Lista et al. 2012). De la misma manera, los ensayos aleatorios controlados, diseñados normalmente para pacientes con alguna enfermedad, también han sido generalmente positivos y muestran que los pacientes se benefician de la ingesta dietética de los AGPI ω -3 (Calder y Yaqoob 2012; Delgado-Lista et al. 2012).

Los mecanismos bioquímicos que explican los efectos benéficos de los AGPI-LC ω -3 se basan principalmente en la disminución de los factores de riesgo conocidos de las enfermedades cardiovasculares (colesterol en la sangre, triglicéridos e hipertensión) y efectos sobre la función plaquetaria (Uauy y Valenzuela 2000). Los mecanismos moleculares son menos conocidos, pero incluyen efectos sobre el metabolismo de los lípidos hepáticos como la disminución de la síntesis de triglicéridos, que involucran, entre otros mecanismos, el importante papel de los AGPI en la regulación transcripcional de los genes del metabolismo lipídico (Deckelbaum et al. 2006; Georgiadi y Kersten 2012).

Existe evidencia de un efecto benéfico de la ingesta de AGPI ω -3 sobre las enfermedades inflamatorias, por ejemplo, la obtenida en la artritis reumatoide (Miles y Calder 2012), en la

enfermedad inflamatoria intestinal (EII), la enfermedad de Crohn y la colitis ulcerosa (Cabré et al. 2012). Aunque hay estudios que muestran algunos efectos beneficiosos de AGPI ω -3 en varias otras enfermedades inflamatorias, hay muy pocos estudios como para ser concluyentes. En cuanto al mecanismo de acción la vía principal es el efecto anti-ARA de AGPI ω -3. Las respuestas inflamatorias son en gran parte impulsadas por eicosanoides producidos a partir del AGPI ω -6 principalmente ARA, pero otros ω -3 AGPI, particularmente EPA, compiten con ARA a nivel de la ciclooxigenasa (COX) y enzimas lipoxigenasas responsables de la producción de eicosanoides, tanto reduciendo la producción de derivados de ARA proinflamatorios como produciendo mediadores menos inflamatorios derivados de EPA (Calder 2007). Además, como ligandos de diversos factores de transcripción, los AGPI ω -3 y sus derivados también pueden tener efectos sobre la expresión de genes en vías inflamatorias e inmunes (Chapkin et al. 2009; Schmuth et al. 2014).

Existe evidencia sólida que la disminución del estatus del DHA puede conducir a un deterioro cognitivo y visual y que los suplementos de DHA tienen resultados positivos en los bebés prematuros (Carlson et al. 1993). También ha habido varios informes de posibles efectos beneficiosos de los suplementos dietéticos del DHA en una serie de trastornos psicológicos, conductuales y psiquiátricos que incluyen el trastorno por déficit de atención con hiperactividad y depresión. Cada vez se reconoce más que los AGPI ω -3 son nutrientes potenciales para prevenir diversas afecciones patológicas asociadas con el proceso de envejecimiento normal (Úbeda et al. 2012). Esto ha llevado a la investigación de los efectos de AGPI ω -3 sobre la demencia, incluida la enfermedad de Alzheimer (EA) y otras deficiencias cognitivas relacionadas con la edad (Dangour et al. 2012). En los ensayos a largo plazo, usando un modelo animal con EA, los AGPI ω -3 mejoraron la función cognitiva y disminuyeron la cantidad de pérdida neuronal (Hooijmans et al. 2012).

Tan importante como es el consumo de los AGPI ω -6 y ω -3 es también la relación que se guarda entre estos, dentro de los Ácidos grasos ω -6, el C18:2 ω -6 es esencial, pero tiende a consumirse en exceso en las dietas modernas. Debido a que las vías metabólicas para la síntesis de AGPIs ω -6 y ω -3 a partir de Ácidos esenciales (Ácido linoleico y ácido α -linolénico) respectivamente, compiten por las mismas enzimas desaturasas y elongasas. Por lo tanto, la relación de ω -6/ ω -3, es muy importante para la salud humana porque el exceso de uno de los Ácidos Grasos Esenciales limitara la producción metabólica de los productos de cadena más larga de la otra (Salem 1999 y Holub 2002). Distintos estudios relacionan el

exceso en el consumo de los Ácidos grasos ω -6 con enfermedades cardiovasculares, cáncer y patologías relacionadas en procesos inflamatorios e inmunológico: dichos estudios evidencian efectos benéficos por el simple incremento en la ingesta de los Ácidos Grasos ω -3. En problemas cardiovasculares, el consumo 4:1 entre ω -6 y ω -3 está relacionado a una 70% de disminución de la mortalidad de los pacientes estudiados. En cáncer de colon, el consumo de una relación de 2.5:1 entre ω -6 y ω -3 reduce la proliferación de células tumorales; no así la relación 4:1 (Harris 1997).

El equilibrio de ácidos grasos omega-3 y omega-6 todavía está lejos en nuestra dieta habitual. Los esquemas nutricionales de las sociedades desarrolladas evolucionan en todas sus fases y de modo continuo. Desde los mismos productos naturales a los procesados, los componentes básicos se modifican y los que se consideraban nutrientes tradicionales hoy no existen en los niveles suficientes. Años atrás, la carne, el pescado, los animales y plantas silvestres aportaban una cantidad aceptable de ácidos grasos omega-3, “pero dado que ahora son alimentados con maíz, soya y girasol se ha de vigilar su aporte en la dieta” (Koivisto y Defronzo 1984).

Se demuestra que la inclusión de ingredientes con altos contenidos de Ácidos grasos ω -3 en la dieta ayuda a disminuir la relación ω -6/ ω -3, referente al consumo de ácidos grasos en la dieta, diferentes organismos (Department of Health and Social Security UK, 1994; British Nutrition Foundation, 1996), Sugieren incrementar el consumo de Ácidos Grasos ω -3 y disminuir la relación ω -6/ ω -3 a un valor menor a 6:1; esta investigación ha estimulado el interés en la investigación por aumentar la composición de los ácidos grasos ω -3 en los productos animales (carne, huevo, etc.), mediante el enriquecimiento de la dieta con aceites de pescado que contengan grandes cantidades de ácidos grasos de cadena larga ω -3 (Ramírez et al. 2004).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar y duración de la evaluación

El presente trabajo tuvo una duración de 56 días y se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC), perteneciente al Departamento Académico de Nutrición de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina. La elaboración del alimento balanceado se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos (PIPSA) de la Facultad de Zootecnia.

El análisis proximal de los Alimentos se realizó en el Laboratorio de Calidad Total de la Universidad Nacional Agraria la Molina y el análisis de ácidos grasos de los alimentos y los peces se realizó en el Instituto Tecnológico Pesquero (ITP).

3.2 Instalaciones y equipos

El LINAPC cuentan con un sistema de recirculación, el cual permite el control de los estándares de calidad de agua para la especie en estudio. El laboratorio cuenta con dos acuarios de adaptación (120 litros de capacidad), 9 acuarios de digestibilidad, 18 acuarios para pruebas de crecimiento (55 a 75 litros de capacidad, de 50 cm de alto, 47 cm de ancho y 47 cm de profundidad). Para el experimento se utilizó dieciséis acuarios de crecimiento de fibra de vidrio color blanco, liso por dentro y por fuera, frontis de vidrio de 6mm incorporado.

3.2.1 Equipos

Durante el manejo de los juveniles de paco se utilizó malla Sera, recipientes de plástico para el control biométrico, balanza digital marca *RAD WAG* modelo PS 4500.R1 con 0.01g de precisión y capacidad de 4500g, utilizada en el pesaje del alimento suministrado y obtención del peso individual de cada juvenil, además de cinta métrica, para medir la talla de los peces y de esta manera obtener el incremento de talla total de la respectiva unidad experimental.

Además, se utilizaron instrumentos para medir la calidad de agua, con las siguientes condiciones: oxígeno disuelto entre 5-6 mg/L, el pH entre 7 Y 8, temperatura 27 - 29°C y amonio 0.0 mg/L.

3.3 Animales experimentales

Se emplearon 80 peces (juveniles de paco) provenientes de la estación piscícola “Fundo Palmeiras” ubicado en Rio Negro – Satipo – Junín, con un peso promedio inicial de 105 g, pesados y medidos individualmente, para luego ser distribuidos al azar en los 16 acuarios formando grupos homogéneos de 5 peces por acuario.

3.4 Tratamientos

Se evaluaron 4 relaciones de ácidos grasos omega 6 a omega 3, siendo las fuentes de estos ácidos grasos el aceite crudo de pescado y el aceite crudo de soya.

	Omega-6 (ω -6), %	Omega-3 (ω -3), %	Relación ω -6: ω -3
Tratamiento 1	3.02	0.37	8.16
Tratamiento 2	2.49	0.61	4.08
Tratamiento 3	1.96	0.84	2.34
Tratamiento 4	1.43	1.08	1.32

3.4.1 Dietas experimentales

Las cuatro dietas experimentales se obtuvieron utilizando la formulación al mínimo costo por programación Lineal, que cubre los requerimientos de proteína, energía y demás nutrientes en el paco, tomando las recomendaciones de Vergara et al. (2011). En la preparación de las dietas se utilizaron ingredientes comerciales tales como: maíz amarillo, harinilla de trigo, torta de soya, Aceite crudo de soya, Aceite crudo de pescado y aditivos tales como carbonato de calcio, premix de vitaminas y minerales. Las dietas contienen los mismos ingredientes. El valor nutritivo es similar en todas las dietas siendo estas isoproteicas (30% PB) e isocalóricas (3.0 Mcal/kg ED). En el Cuadro 1 se muestran las fórmulas y el valor nutritivo calculado.

**Cuadro 1: Fórmula y Valor Nutritivo calculado de las dietas experimentales
(Tal como ofrecido).**

Ingredientes	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Torta de Soya	47.00	47.00	47.00	47.00
Harinilla de Trigo	46.43	46.43	46.43	46.43
Aceite Crudo de Soya	3.60	2.60	1.60	0.60
Aceite Crudo de Pescado	0.00	1.00	2.00	3.00
Carbonato de Calcio	1.60	1.60	1.60	1.60
Sal común	0.48	0.48	0.48	0.48
Cloruro de Colina, 60	0.20	0.20	0.20	0.20
DL-Metionina	0.17	0.17	0.17	0.17
L-Lisina	0.15	0.15	0.15	0.15
Premix-Acuacultura	0.29	0.29	0.29	0.29
Inhibidor de Hongos	0.08	0.08	0.08	0.08
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Valor Nutritivo Estimado				
Materia Seca, %	90.09	90.09	90.09	90.09
Proteína Bruta, %	30.00	30.00	30.00	30.00
Fibra Cruda, %	4.88	4.88	4.88	4.88
Grasa, %	5.97	5.97	5.97	5.97
Energía Digestible, Mcal/Kg	3.00	3.00	3.00	3.00
Lisina, %	1.90	1.90	1.90	1.90
Metionina, %	0.60	0.60	0.60	0.60
Cistina, %	0.50	0.50	0.50	0.50
Arginina, %	2.21	2.21	2.21	2.21
Treonina, %	1.13	1.13	1.13	1.13
Triptofano, %	0.41	0.41	0.41	0.41
Valina, %	1.54	1.54	1.54	1.54
Met- Cis, %	1.11	1.11	1.11	1.11
AG Omega-3, %	0.37	0.61	0.84	1.08
AG Omega-6, %	3.02	2.49	1.96	1.43
Fosforo Total, %	0.72	0.72	0.72	0.72
Calcio, %	0.80	0.80	0.80	0.80
Sodio, %	0.25	0.25	0.25	0.25

Cuadro 2. Fórmula del Premix-Acuacultura.

Nutriente	Cantidad	Unidad
Vitamina A	14 000 000	UI
Vitamina D3	2 800 000	UI
Vitamina E	140 000	UI
Tiamina (B1)	18	g
Riboflavina (B2)	20	g
Niacina	150	g
Ácido Pantoténico	50	g
Piridoxina (B6)	15	g
Biotina	0.8	g
Ácido fólico	4	g
Ácido ascórbico	600	g
Vitamina B12	0.03	g
Cloruro de colina	600	g
Manganeso	40	g
Hierro	20	g
Zinc	20	g
Cobre	1.5	g
Yodo	1.5	g
Selenio	0.3	g
Cobalto	0.15	g
Antioxidante	120	g
Excipientes c.s.p.	3 000	g

FUENTE: DSM Nutritional Products Perú S.A.

3.5 Procedimiento Experimental

3.5.1 Suministro de Alimento

El suministro del alimento paletizado se realizó en seis comidas diarias, ofrecidas a las 8:00 am, 10:00 am, 12:00 m, 2:00 pm, 4:00 pm y 6:00 pm, asegurándose que todo el alimento ofrecido sea ingerido por los peces. La cantidad de alimento suministrado se fue regulando en el tiempo, aumentando de acuerdo al crecimiento de los peces. Se brindó alimento hasta llegar al punto de saciedad.

3.5.2 Análisis químico proximal del alimento

El análisis químico proximal de las cuatro dietas experimentales de los diferentes tratamientos fue realizado en el Laboratorio de Calidad Total de la Universidad Nacional Agraria la Molina, UNALM. Se pesó 500 g de dieta de cada tratamiento, depositados y rotulados convenientemente en una bolsa plástica, para luego ser remitidas al laboratorio. Los resultados se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 3: Análisis químico proximal de las dietas experimentales (base parcialmente seca)

Tipo de Análisis	Relación	Relaciones de Omega-6 a omega-3			
		Omega-6, %	Omega-3, %	Relación	Relación
		3.98	0.49	8.05:1	8.05:1
		3.46	0.81	4.28:1	4.28:1
		2.90	1.18	2.45:1	2.45:1
		2.20	1.53	1.43:1	1.43:1
Materia Seca, %		89.4	89.8	90.1	89.4
Proteína Bruta, %		30.0	30.3	30.4	30.1
Fibra Cruda, %		4.7	5.0	4.8	4.9
Ceniza, %		6.9	7.1	6.7	6.6
Grasa, %		6.7	6.9	7.1	6.9
EB, Mcal/Kg		3,635	3,653	3,691	3,657

3.5.3 Análisis cromatográfico de los ácidos grasos de las dietas

La determinación del perfil de ácidos grasos de las dietas fue realizada en el Instituto Tecnológico de la Producción (ITP). Se pesó 500 g de dieta de cada Tratamiento, depositados y rotulados en una bolsa plástica, para luego ser remitidas a su Laboratorio.

3.5.4 Variables respuesta

3.5.4.1 Peso Vivo

Los peces se pesaron al inicio, a la cuarta semana (28 días) y octava semana (56 días) del estudio.

3.5.4.2 Longitud

La longitud de los peces fue medida usando una cinta métrica tanto al inicio de la evaluación, a las 4 semanas y a las 8 semanas.

3.5.4.3 Ganancia de peso e incremento de longitud

Al final de la prueba se calculó, en base a los datos de pesos y longitudes, la ganancia de peso y el incremento de longitud.

3.5.4.4 Tasa Especifica de crecimiento

La tasa especifica de crecimiento se determinó usando la siguiente formula,

$$TEC = \frac{\ln(\text{peso final}) - \ln(\text{peso inicial})}{\text{período (días)}} \times 100$$

3.5.4.5 Ganancia de Biomasa

La ganancia de biomasa fue hallada por diferencia entre la biomasa final e inicial.

3.5.4.6 Conversión Alimentaria

La conversión alimenticia se determinó dividiendo el alimento consumido en el periodo de alimentación, entre la ganancia de peso en dicho periodo.

$$C.A. = \frac{\text{Alimento Consumido}}{\text{Incremento de peso}}$$

3.5.4.7 Perfil lipídico del músculo de los peces

Al final del experimento se sacrificaron cuatro peces por tratamiento. Los peces se colocaron en bolsas de polietileno, previamente identificadas y rotuladas, luego remitidas al

Laboratorio del Instituto Tecnológico de la Producción (ITP) para la determinación del perfil de Ácidos Grasos y del contenido de la Grasa del Músculo del pez. Debido al alto costo por muestra del análisis del perfil de Ácidos Grasos se decidió tomar una muestra representativa de los peces enviados por tratamiento y con ella realizar los análisis respectivos.

3.5.4.8 Calidad de Agua

El agua utilizada para alimentar el sistema de recirculación viene de la red de agua potable pública del distrito de La Molina. Dos veces por semana se procedió a la limpieza de los acuarios, filtros y recambio del 80 por ciento de agua del sistema.

La temperatura (°C) fue medida con un termómetro *Sper Scientific*, el Oxígeno disuelto (mg/l) con el Oxímetro Pinpoint II, el pH con el phmetro OAKTON. En cuanto a la Dureza (ppm) se utilizó el Kit colorimétrico *La Motte* y el nivel de Nitrógeno Amoniacal (mg/l) Kit AMMONIA NITROGEN TEST, todos estos parámetros se midieron 2 veces por semana (2 veces al día), el punto de medición fue en los acuarios de crecimiento.

Los parámetros de calidad de agua se presentan en el Cuadro 4. Estos valores se encuentran dentro de lo recomendado para el paco.

Cuadro 4: Promedios semanales de Temperatura, Concentración de Amonio (mg/L), Nitritos (mg/L), pH y Oxígeno Disuelto (mg/L).

Semana	Temperatura (°C)		Amoniacal (mg/L)	Dureza (ppm)	pH	Oxígeno Disuelto (mg/L)
	Mañana	Tarde				
1	25.6	26.5	0.5	185	7.1	5.65
2	26.1	26.9	0.0	215	7.4	5.90
3	26.7	27.8	0.5	225	7.0	6.40
4	25.4	27.2	0.5	325	6.5	6.70
5	26.4	26.8	1.0	260	6.7	6.55
6	26.7	27.7	0.5	275	7.3	6.35

3.6 Diseño experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos (Relaciones de ácidos grasos omega-6 a omega-3) y cuatro repeticiones cada uno. Cada repetición estaba conformada por 5 peces cada una.

El modelo aditivo lineal fue el siguiente:

$$X_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$$

$i=1, 2, 3, 4$ tratamientos

$j=1, 2, 3, 4$ repeticiones

Dónde:

X_{ij} = Variable respuesta que se obtiene de la unidad experimental que recibió el i -ésimo tratamiento y la j -ésima repetición

μ = Media aritmética general de la población

t_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

ε_{ij} = Efecto de la j -ésima unidad experimental a la que se le aplicó el i -ésimo tratamiento (error experimental).

3.6.1 Análisis Estadístico

Las ganancias de peso e incremento de longitud, ganancia de Biomasa, conversión alimenticia fueron evaluados usando el programa estadístico MINTAB 17 para la prueba de Análisis de Varianza (ANOVA). Para la comparación de Medias se utilizó la prueba de Tukey.

3.6.2 Análisis de regresión

Se realizó el análisis de regresión teniendo como variable independiente cada Relación de Omega-6 a omega-3 de la dieta y como variables respuesta la ganancia de peso, la conversión alimenticia y la tasa específica de crecimiento. Se utilizarán la ecuación de regresión cuadrática planteados por Pesti et al. (2009).

Ecuación para el análisis de regresión cuadrático.

$$Y = a + bX + cX^2$$

Dónde:

Y = Variables dependientes

X = Relación de Omega-6 a omega-3

a, b, c = son constantes de la ecuación

Las constantes de estas ecuaciones fueron encontradas utilizando el paquete estadístico Solver-Excel. Luego se derivó cada ecuación, y se igualó a cero para obtener la relación que maximice la performance del pez.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Ganancia de peso, Conversión alimenticia y Tasa Especifica de Crecimiento

4.1.1 Ganancia de peso

La ganancia de peso se presenta en el Cuadro 5. Al realizar el análisis de variancia no se encontró diferencias significativas, es decir, los 4 grupos de peces ganaron peso con similar eficiencia. En los tratamientos de relaciones mayores (8.05:1, 4.28:1) el nivel de omega-3 están por debajo del 1%, sin embargo, en función al ANOVA, la ganancia de peso no se ve afectada significativamente en ninguno de los tratamientos, esto refuerza la baja esencialidad de esta familia de ácidos grasos para los peces de agua dulce (Chhorn et al. 2011; NRC 1993). Poleo et al. (2011) determinaron una ganancia de peso de $2,33 \pm 0,03$ g/día en una prueba de 192 días con una dieta con 28% de Proteína bruta (PB). Estos datos distan de los encontrados en esta investigación, pero cabe resaltar la diferencia entre periodos de evaluación. Sin embargo, Deza et al. (2002) encontraron una ganancia de peso diaria de 1.62 g/día con una dieta con 33% de proteína. Por otro lado, Gutiérrez et al. (1996) determinaron que la necesidad mínima de proteína en dietas para crecimiento del paco es de 29.8%, sin embargo, Vásquez-Torres et al. (2011) demostró que para alcanzar máximo crecimiento esta especie requería 31.6% de PB y que el suministro de dietas con niveles superiores a 31.6% no mejoraban la ganancia de peso y causaban, además, reducción significativa en otros parámetros productivos.

El análisis de regresión cuadrática describe relaciones llamadas “productividad marginal decreciente” es decir el incremento de la respuesta irá disminuyendo a medida que incremente un determinado nutriente hasta alcanzar la máxima respuesta (Pesti et al. 2009) De acuerdo con este modelo y como se observa en la figura 2, la relación para alcanzar la máxima ganancia de peso diaria es de 5.43:1, dicha relación es mayor a la sugerida en el NRC (1993) donde para las especies de agua dulce se recomienda relaciones entre 1 a 2. La ecuación de regresión para determinar la mejor relación de ω -6/ ω -3 para esta variable es:

$$y = 0.7282 + 0.089x - 0.0082x^2 \quad r^2 = 0.99$$

Cuadro 5: Efecto de las diferentes relaciones de Omega-6 a omega-3 sobre los parámetros productivos del paco¹

Parámetro	Relaciones de Omega-6 a omega-3				
	Omega-6, %	3.98	3.46	2.90	2.20
	Omega-3, %	0.49	0.81	1.18	1.53
Relación	8.05:1	4.28:1	2.45:1	1.43:1	
Peso Inicial, g	104.45	104.45	104.75	104.49	
Peso Final, g	155.44±8.5 ^a	157.98±11.27 ^a	155.20±4.7 ^a	151.32±1.55 ^a	
Consumo de Alimento, g/día	1.66±0.15 ^a	1.74±0.25 ^a	1.74±0.10 ^a	1.60±0.07 ^a	
Ganancia de Peso, g/día	0.91±0.15 ^a	0.96±0.20 ^a	0.90±0.09 ^a	0.84±0.03 ^a	
Conversión Alimenticia	1.84±0.16 ^a	1.85±0.14 ^a	1.94±0.10 ^a	1.92±0.08 ^a	
Tasa Especifica de Crecimiento, %	0.71±0.10 ^a	0.74±0.13 ^a	0.70±0.06 ^a	0.66±0.02 ^a	

1: Valores promedios ± desviación estándar

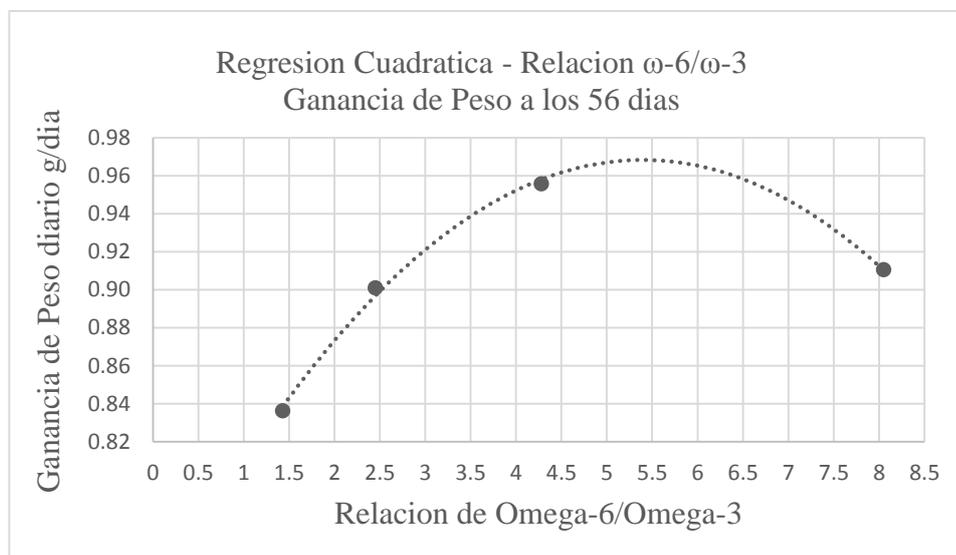


Figura 2: Curva de regresión polinomial cuadrática para determinar la relación óptima de ω -6/ ω -3 en el del paco utilizando la variable ganancia de peso diaria

4.1.2 Conversión Alimenticia

La conversión alimenticia se presenta en el Cuadro 5. Frente a un Análisis de Varianza no se presentaron diferencias estadísticas para esta variable. Sin embargo, si existen diferencias numéricas. En un estudio utilizando un alimento con 28% Proteína bruta (PB), para un periodo de 192 días, obtuvieron una conversión alimenticia de 1.6 ± 0.07 (Poleo et al. 2011). Utilizando el mismo nivel de proteína de 28% Vásquez-Torrez et al. (2011) determinaron una conversión de 1.2 ± 0.03 en un periodo de 60 días con peces de peso inicial de 15.52 ± 0.82 g. Sin embargo, en otra investigación usando un nivel de 29.8% de PB determinó conversiones de 4.0 ± 1.3 y 3.1 ± 0.9 con niveles energéticos de 2900 y 3100 Kcal/Kg respectivamente (Gutiérrez et al. 1996), cabe mencionar que las primeras 2 investigaciones mencionadas se realizó con peces de pesos menores a los usados en este estudio y la última se realizó con peces de mayor peso. Debido a esta diferencia de periodos y pesos de los peces utilizados podría deberse las diferentes respuestas para esta variable.

Teniendo en cuenta el enfoque del análisis de regresión cuadrática, el modelo nos indica que la relación para alcanzar la mínima conversión alimenticia es de 7.63:1, Figura 3. La ecuación de regresión para determinar la óptima relación de ω -6/ ω -3 para esta variable es:

$$y = 1.9910 - 0.0412x + 0.0027x^2 \quad r^2=0.76$$

Dónde: y = Conversión alimenticia, x = Relación de Omega-6 a omega-3 (ω -6/ ω -3).

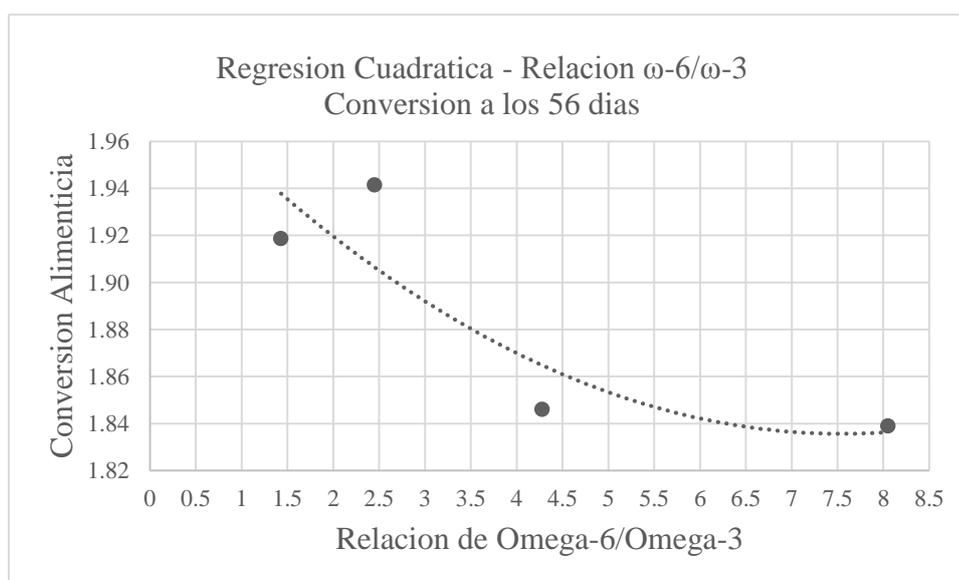


Figura 3: Curva de regresión polinomial cuadrática para determinar la relación óptima de ω -6/ ω -3 en el del paco utilizando la variable conversión alimenticia.

4.1.3 Tasa específica de crecimiento (TEC)

La tasa específica de crecimiento se muestra en el Cuadro 5. Para esta variable no se encontró diferencias estadísticas entre tratamientos. En un estudio utilizando 28% y 32% de proteína bruta determinaron un TEC de 2.11% y 2.25% respectivamente (Vásquez-Torrez et al. 2011). Si bien estos datos distan de los resultados de este estudio, es importante mencionar que la evaluación se realizó con peces de pesos menores los cuales tienden a tener una TEC más eficiente. En otro estudio usando una dieta de 33% de proteína determinaron un TEC entre 1.54% a 1.62% dependiendo de la densidad de carga, esta última evaluación se realizó en un periodo de 240 días. Con una dieta de 30% PB, también haciendo uso de peces de menor peso, se determinó un TEC de 1.70% en un periodo de 60 días. Estos valores de TEC más altos a los de esta investigación se debería a que estas fueron realizadas en pozas de cultivo de mayor envergadura, además de los peces con menores pesos.

Bajo el análisis de regresión, el modelo nos indica que la relación óptima para la máxima tasa específica de crecimiento es de 5.40:1. (Figura 4) La ecuación de regresión para determinar la óptima relación de ω -6/ ω -3 para esta variable es:

$$y = 0.5943 + 0.0551x - 0.0051x^2 \quad r^2=0.99$$

Dónde: y = tasa específica de crecimiento, x = Relación de Omega-6 a omega-3 (ω -6/ ω -3)

No se han encontrado estudios donde se analice la relación de Omega-6 a omega-3 usando la regresión polinomial cuadrática en esta especie.

La literatura nos indica que las necesidades de ácidos grasos están alrededor del uno por ciento tanto de las familias de los Omega-6 u Omega-3. Sin embargo, este estudio muestra la importancia de la relación que se debe mantener entre estos. Cuando el desbalance es muy marcado se observan efectos nocivos, lo cual se debería a la saturación de las elongasas-desaturasas y la síntesis de prostaglandinas. En el rodaballo se observó un efecto perjudicial debido al exceso de EPA y DHA (Guillaume et al. 2004, NRC 1993).

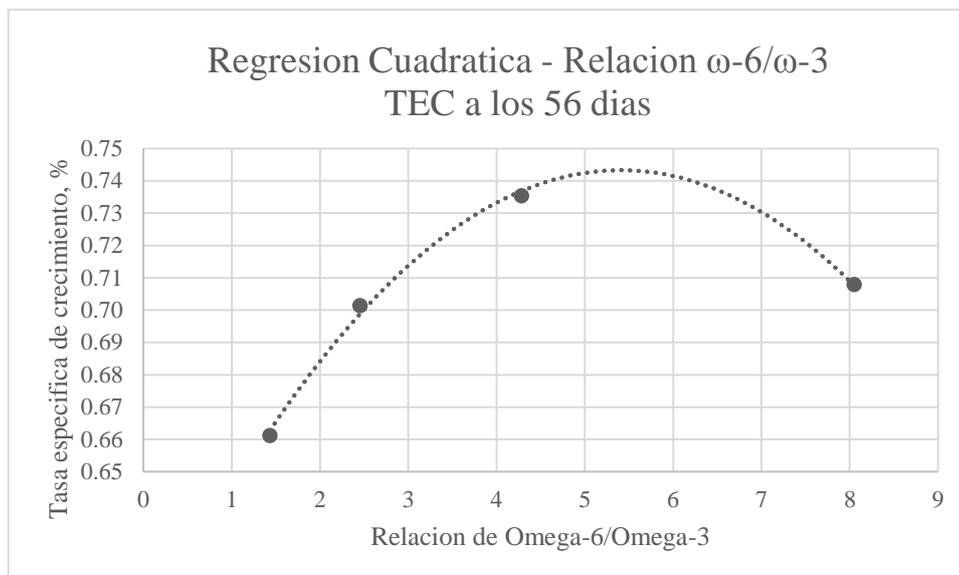


Figura 4: Curva de regresión polinomial cuadrática para determinar la relación óptima de ω -6/ ω -3 en el del paco utilizando la variable tasa específica de crecimiento.

4.2 Perfil de Ácidos Grasos del músculo

En el Cuadro 6 se presenta el contenido de ácidos grasos (AG) expresados como porcentaje de grasa y en mg/100g de músculo. De igual manera en el Cuadro 7 se presentan los totales de Omega-6 y Omega-3 expresados como porcentaje de grasa y en mg/100g de músculo del pez y sus respectivas relaciones.

4.2.1 Ácidos Grasos Saturados

Entre los Ácidos grasos saturados identificados en el músculo del pez se encuentra el Mirístico (14:0), Palmítico (16:0) y Esteárico (18:0), siendo el Palmítico el de mayores proporciones de estos. El ácido Palmítico en la relación de 4.28:1 está en 347mg/100g (18.62%), en la de 2.45:1 en 341 mg/100g (18.47%), para la relación de 8.05:1 y 1.43:1 se encontró valores de 285 y 242 mg/100g (18.11%, 18,2%) respectivamente, estos valores son cercanos a los reportados en peces del género *Brycon* (Moreira et al. 2001; Maia et al. 1998). Sin embargo, Luzia et al. (2003), reportaron mayor proporción del ácido palmítico en el curimatá (*Prochilodus spp*) con 28,9% y en tilapia (*Oreochromis spp*) con 35,9%. Gonzalez et al. (2013), encontraron para la tilapia de Mozambique (*Oreochromis mossambicus*) 402 mg/100g siendo este nivel mayor al encontrado en el presente estudio para el paco. Por otro lado, Rodríguez et al. (2017) determinaron menores niveles para el *Brycon Cephalus* y el *Leporinus friderici*.

4.2.2 Ácidos Grasos Monoinsaturados

En cuanto a los ácidos grasos monoinsaturados determinados en el músculo del pez se tiene el palmitoleico (16:1), oleico (18:1 ω -9), vaccenico (18:1 ω -7) y eicosaenoico (20:1). De los cuales el Oleico es el de mayores proporciones, en el tratamiento con relación de 4.28:1 contiene 348 mg/100g (18.7%), en el de relación 2.45:1 está en 320mg/100g (17.36%), menores niveles de este ácido graso son encontrados en los peces de las relaciones 8.05:1 y 1.43:1, 283 y 212mg/100g (17.96% y 15.9% respectivamente). Gonzalez et al. (2013), encontraron para la tilapia de Mozambique (*Oreochromis mossambicus*) 278.5mg/100g, el cual es un valor intermedio frente a este estudio. Sin embargo, en evaluaciones realizadas en peces del género *Brycon* presentaron un porcentaje mayor para este ácido graso, entre 38.34 y 48.77% (Moreira et al. 2001), en otras especies de agua dulce encontraron niveles entre 30.86% a 41.8% (Mendez et al. 1996; Andrade et al. 1995; Maia et al. 1998). Por otro lado, Rodríguez et al. (2017) determinaron valores de este ácido graso en el *Brycon Cephalus* 12.66% y para el Piau (*Leporinus friderici*) 14.41%. Como se observa existen valores reportados mayores y menores a los de este estudio lo cual obedece a los tipos de hábitos alimenticios por parte de cada especie y a su utilización de estos por parte del pez.

4.2.3 Ácidos Grasos Poliinsaturados

Otro grupo de ácidos grasos determinados en el músculo del pez pertenecen al grupo de los ácidos grasos poliinsaturados dentro de los cuales encontramos los ácidos grasos de la familia de los Omega 6 (ω -6) y Omega 3 (ω -3). Para el ácido linoleico (18:2 ω -6, LNA) se tiene en orden decreciente en el tratamiento con relación 4.28:1 con un nivel de 588 mg/100g (31.54%), para la relación 2.45:1 fue de 569 mg/100g (30.84%), para la relación de 8.05:1 es de 518 mg/100g (32.89%) y por último la relación de 1.43:1 con un nivel más bajo de 340 mg/100g (25.53%). Esto en clara respuesta a los menores niveles de este ácido graso en la dieta para este último tratamiento. Otro importante ácido graso es el α -Linolénico (18:3 ω -3, ALA) encontrándose este en los tratamiento con relación 4.28:1 y 2.45:1 cantidades similares de 59 y 58mg/100g (3.19%, 3.15% respectivamente), para la relación de 8.05:1 el nivel fue de 51 mg/100g (3.21%), mientras que para el tratamiento con relación de 1.43:1 se encontró un nivel de 32 mg/100g (2.41%). Este último dato encontrado refleja también la tendencia en lo suministrado en la dieta, Además se evidencia que el pez estaría direccionando este ácido graso a la síntesis de ácidos grasos de mayor longitud de la misma familia como son el EPA y DHA.

Cuadro 6: Perfil de ácidos grasos en el músculo del pez por tratamiento (*)

		Relaciones de Omega-6 a omega-3							
Omega-6, %		3.98		3.46		2.90		2.20	
Omega-3, %		0.49		0.81		1.18		1.53	
Relación		8.05:1		4.28:1		2.45:1		1.43:1	
Ácidos Grasos		%	mg/100g	%	mg/100g	%	mg/100g	%	mg/100g
Mirístico	14:0	1.18	19	1.45	27	1.71	32	1.84	25
Palmítico	16:0	18.11	285	18.62	347	18.47	341	18.2	242
Palmitoleico	16:1	1.77	28	2.25	42	2.3	42	2.5	33
Estearico	18:0	8.51	134	8.35	156	8.36	154	8.76	117
Oleico	18:1 ω-9	17.96	283	18.7	348	17.36	320	15.9	212
Vaccenico	18:1 ω-7	1.89	30	2.03	38	1.96	36	2.19	29
Linoleico (LNA)	18:2 ω-6	32.89	518	31.54	588	30.84	569	25.53	340
α-Linolénico (ALA)	18:3 ω-3	3.21	51	3.19	59	3.15	58	2.41	32
Eicosaenoico	20:1 ω-9	0.51	8	0.53	10	0.58	11	0.6	8
Eicosadienoico	20:2	1.21	19	0.98	18	0.88	16	0.81	11
Eicosatrienoico	20:3 ω-6	1.66	26	1.24	23	1	18	0.89	12
Eicosatrienoico	20:3 ω-3	1.65	26	1.1	20	0.9	17	1.04	14
Eicosapentaenoico (EPA)	20:5 ω-3	1.36	21	1.87	35	2.66	49	4.35	58
Clupadonico	22:5 ω-3	0.76	12	0.97	18	1.23	23	1.92	26
Docosahexaenoico (DHA)	22:6 ω-3	6.59	104	6.82	127	7.94	146	11.56	154

(*) Los valores corresponden a una muestra compuesta de 4 filetes de músculo de pez por tratamiento.

Para el caso del ácido Linoleico (LNA) en peces de agua dulce se reportaron niveles entre 13.77% y 26.24% (Moreira et al. 2001; Rodrigues et al. 2017) siendo estos niveles menores a los reportados en esta investigación. Para el caso del α -Linolénico (ALA) en estudios realizados por Moreira et al. (2001), Rodrigues et al. (2017) y Luzia et al. (2003) se encontraron niveles entre 0.25% a 1.53%. En otras investigaciones Mendez et al. (1996) no detectaron la presencia de C18:3 ω -3 (ALA) en varias especies del Rio de la Plata. Andrade et al. (1995) encontraron valores inferiores al 2.50%, y en algunas especies no fue detectado.

El mayor porcentaje del Linoleico sobre el α -Linolénico es un común denominador en la mayoría de las especies de agua dulce, incluido el paco, y esto debido a los hábitos alimenticios o al tipo de alimentación en los estanques de cultivo. Por lo tanto, la relación que puede existir entre estos 2 importantes ácidos grasos puede ser direccionada según el objetivo de crianza.

4.2.3.1 EPA y DHA

Tenemos además otros ácidos grasos de importancia biológica como son los ya mencionados EPA y DHA los cuales se muestran en el Cuadro 6. Con respecto al EPA se tiene 21 mg/100g (1.36%), 35 mg/100g (1.87%), 49 mg/100g (2.66%), 58 mg/100g (4.35%), para los tratamientos con relación de 8.05:1, 4.28:1, 2.45:1 y 1.43:1 respectivamente. En el caso del DHA se tiene 104 mg/100g (6.59%), 127 mg/100g (6.82%), 146 mg/100g (7.94%), 154 mg/100g (11.56%), de igual manera los mismos tratamientos. Cabe resaltar que en la dieta del tratamiento 1 el nivel de DHA fue indetectable (Anexo 1) sin embargo si es detectable en el músculo del pez, evidenciándose así la capacidad de síntesis y deposición de este tipo de ácidos grasos por parte del paco. Además, en los siguientes tratamientos el incremento de los niveles del DHA en el músculo del pez también son progresivos. De manera similar los incrementos del EPA en el músculo del paco son progresivos, reflejando el incremento en la dieta. Los niveles de ARA tanto en el alimento como en el músculo del pez son indetectables, sin embargo, la ausencia de este ácido graso en el músculo del pez se debería que las enzimas encargadas de la elongación y desaturación están saturadas por ácidos grasos de la familia de los Omega-3. De acuerdo con Whelan (2009); es el DHA, y no el EPA, el que disminuye el riesgo de enfermedad cardiovascular. En el presente estudio, para los 4 tratamientos en el paco las cantidades de DHA fueron superiores a las de EPA (Cuadro 6), lo cual constituye un indicador de la calidad nutricional de esta especie y de la posibilidad

de considerarlo como un alimento funcional. Datos reportados en peces del género *Brycon* los niveles de ARA, EPA y DHA fueron menores a 1.6% (Moreira et al. 2001). En otros estudios realizados en peces de agua dulce encontraron valores entre 1.50% y 11.67% para el EPA, y entre 4.46% y 19.28% para el DHA (Maia et al. 1994, 1998; Andrade et al. 1995). Rodríguez et al. (2017) obtuvieron valores de EPA y DHA para el *Brycon Cephalus* 6.19 y 21.73% y para el *Leporinus friderici* 6.41 y 15.63% respectivamente. Como se observa los valores reportados en este estudio son cercanos a los reportados por otros investigadores, siempre manteniendo la tendencia de mayor porcentaje del DHA sobre el EPA.

Cuadro 7. Perfil de Ácidos Grasos de Omega-6 y Omega 3 en el Alimento y Músculo del Paco (*)

		Relaciones de Omega-6 a omega-3							
Omega-6, %	3.98	3.46		2.90		2.20			
Omega-3, %	0.49	0.81		1.18		1.53			
Relación	8.05:1	4.28:1		2.45:1		1.43:1			
	%	mg/100g	%	mg/100g	%	mg/100g	%	mg/100g	
Alimento									
Total, ω-6	56.31	3984	48.93	3462	40.48	2902	31.98	2201	
Total, ω-3	6.99	495	11.43	808	16.5	1183	22.38	1539	
EPA + DHA	0.22	16	4.74	335	9.73	698	15.63	1075	
ω-6/ω-3	8.05:1		4.28:1		2.45:1		1.43:1		
Músculo									
Total, ω-6	34.55	544	32.78	611	31.84	587	26.42	352	
Total, ω-3	13.57	214	13.95	259	15.88	293	21.28	284	
EPA + DHA	7.95	125	8.69	162	10.6	195	15.91	212	
ω-6/ω-3	2.54:1		2.36:1		2.01:1		1.24:1		

(*) Los valores corresponden a una muestra compuesta de 4 filetes de músculo de pez por tratamiento.

4.2.3.2 Relación de omega-6 a omega-3

En el Cuadro 7 se muestran los totales de Omega-6 y Omega-3 del músculo del paco. En cuanto a la relación de ácidos grasos Omega 6/Omega 3 (ω-6/ω-3) en el músculo del paco

se tiene 2.54:1, 2.36:1, 2.01:1, 1.24:1 para los tratamientos con relación de 8.05:1, 4.28:1, 2.45:1 y 1.43:1 respectivamente. Como se observa a medida que la relación ω -6/ ω -3 suministrada en las dietas descende, de la misma manera descende en el músculo del paco, lo cual permite resaltar que por medio de la manipulación de la dieta y del sistema de manejo, estos perfiles pueden reducir su contenido de Omega-6 y aumentar del Omega-3, favoreciendo así su uso como alimento funcional.

El departamento de Salud del Reino Unido (1994) recomienda una relación ideal de ω -6/ ω -3 de 4:1 como máximo. Los valores de ω -6/ ω -3 superiores al valor máximo son perjudiciales para la salud y pueden promover enfermedades cardiovasculares. En este estudio, la mejor relación (1.24:1) se encontró para los peces alimentados con la relación de 1.46:1. Un estudio en tilapias con una dieta comercial con niveles decrecientes de proteína a lo largo del cultivo (38, 34, 28, 20% de PB) determinaron una relación de 2.75:1 ω -6/ ω -3 (Restrepo et al. 2012). Mientras que Moreira et al. (2001) encontraron en peces de cultivo, una proporción que variaba de 5.07:1 a 8.79:1. Por otro lado, en otras investigaciones obtuvieron menores proporciones en peces silvestres de agua dulce, entre 0.05:1 a 0.91:1. (Andrade et al. 1995; Gonzales et al. 2003 y Rodrigues et al. 2017). Esto último se debería a que las algas de agua dulce, generalmente, son ricas en ALA (Van Dam et al. 2002). De acuerdo con Brett y Muller (2009), la mayoría de los peces de agua dulce pueden realizar las reacciones de conversión de ALA a EPA y DHA, razón por la cual pueden presentar altos contenidos de estos últimos, por consiguiente, favorecer a una baja relación de omega-6 a omega-3. Los datos determinados en el presente estudio reflejan las características de los peces de agua dulce.

V. CONCLUSIONES

En consecuencia, a lo realizado en el presente trabajo de investigación y en función a los resultados obtenidos, se puede concluir que:

1. Bajo el enfoque de la regresión cuadrática la mejor relación de ácidos grasos omega-6 a omega-3 para el paco usando la ganancia de peso como variable respuesta es de 5.43:1
2. La mejor relación de omega-6 a omega-3 para el paco usando la conversión alimenticia como variable respuesta es de 7.63:1
3. La mejor relación de omega-6 a omega-3 para el paco usando la tasa específica de crecimiento como variable respuesta es de 5.40:1
4. Las diferentes relaciones de omega-6 a omega-3 en las dietas modifican el perfil de ácidos grasos del músculo, siguiendo la misma tendencia.
5. Se evidencia la capacidad del paco para la elongación y desaturación de ácidos grasos poliinsaturados.

VI. RECOMENDACIONES

Luego de realizado el trabajo de investigación, se recomienda:

1. Utilizar una relación de 7.46:1 de ácidos grasos omega-6 a omega-3, que corresponden a la concentración porcentual de 3.67 de omega-6 y 0.49 de omega-3.
2. Utilizar los ácidos grasos poliinsaturados en la dieta del paco, para enriquecer el perfil de ácidos grasos poliinsaturados (EPA y DHA) en el músculo.
3. Evaluar otras fuentes de ácidos grasos omega-6 y omega-3.
4. Evaluar los ácidos grasos omega-6 y omega-3 en la fase de post-larvas, alevinaje y en la etapa de reproducción.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALIAGA, P.** 2004. Variabilidad genética de *Colossoma macropomum* y *Piaractus brachypomus* en la región del Alto Madera (Amazonía Boliviana) para el análisis del Polimorfismo de la longitud de secuencias intrónicas (Epic-Pcr). La Paz (Bolivia), 103 p. Trabajo de grado (Licenciada en Biología). Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Instituto de Biología Molecular y Biotecnología.
- ANDRADE, A. D.; RUBIRA, A. F.; MATSUSHITA, M. AND SOUZA, N. E.** 1995. Omega-3 fatty acids in freshwater fish from south Brazil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 72, 1207-1210.
- ANDRADE, A. D.; VISENTAINER, J. V.; MATSUSHITA, M. AND SOUZA, N. E.** 1996. Omega-3 fatty acids in Based marine fish from south of Brazil. *Arq. Biol. Tecnol.* 39, 187-192.
- BALFRY, S., HIGGS D.** 2001. Influence of dietary lipid composition on the immune system and disease resistance of finfish. In: *Nutrition and Fish Health* (ed. by C. Lim & C.D.Webster), pp. 213–234. Haworth Press, New York.
- BELL, J., SARGENT, J.** 2003. Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities. *Aquaculture* 218, 491–499.
- BRITISH NUTRITION FOUNDATION.** 1996. *Diet and heart disease: A round table of fact*, Ed. M. Ashwell, 2 ed., BNF, London
- BURKHART, A; CROW, R; KEELEY, D.** 2002. *Pocket Guide To: The Care and Maintenance of Aquarium Fish*. New York, NY: PRC Publishing Ltd.
- BUZZI, M; HENDERSON, R; SARGENT, J.** 1996. The desaturation and elongation of linolenic acid and eicosapentaenoic acid by hepatocytes and liver microsomes from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets containing fish oil or olive oil. *Biochim. Biophys. Acta*, 1299: 235–244.

- BUZZI, M; HENDERSON, R; SARGENT, J.** 1997. Biosynthesis of docosahexaenoic acid in trout hepatocytes proceeds via 24-carbon intermediates. *Comp. Biochem. Physiol.*, 116: 263–267
- CABRÉ, E; MAÑOSA, M; GASSULLA, M.A;** 2012. Omega-3 fatty acids and inflammatory bowel diseases - a systematic review. *Br. J. Nutr.* 107, S240–S252.
- CALDER, P.C.** 2007. Immunomodulation by omega-3 fatty acids. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids* 77, 327–335.
- CASTRO, M; MAAFS, A. y GALINDO C.** 2013. Perfil de ácidos grasos de diversas especies de pescados consumidos en México, *Rev. Biol. Trop.* Vol. 61 (4): 1981-1998.
- CALDER, P.C., YAQOOB, P.** 2012. Marine omega-3 fatty acids and coronary heart disease. *Curr. Opin. Cardiol.* 27, 412–419.
- CAROLSFELD, J., HARVEY, B., ROSS, C., BAER, A.** 2003. *Migratory Fishes of South America*. Washington DC: The International Bank for Reconstruction and Development.
- CARLSON, S.E., WERKMAN, S.H., RHODES, P.G., TOLLEY, E.A.,** 1993. Visual-acuity development in healthy preterm infants: effect of marine-oil supplementation. *Am. J. Clin. Nutr.* 58, 35–42.
- CHAPKIN, R.S., KIM, W., LUPTON, J.R., MCMURRAY, D.N.** 2009. Dietary docosahexaenoic and eicosapentaenoic acid: emerging mediators of inflammation. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids* 81, 187–191.
- CHHORN, L., YILDIRIM-AKSOY, M., Y KLESIUS, P.** 2011. Lipid and Fatty Acid requirements of Tilapias, *North American Journal of Aquaculture*, 73:2, 188-193
- COOK H.W.** 1996. Fatty acid desaturation and chain elongation in eukaryotes. *Biochemistry of Lipids, Lipoproteins and Membranes* (ed. by D.E. Vance & J.E. Vance), pp. 129-152. Elsevier, Amsterdam, the Netherlands.
- CRAWFORD, M., CASPER, N., SINCLAIR A.** 1976. The long chain metabolites of linoleic and linolenic acids in liver and brain in herbivores and carnivores. *Comp. Biochem. Physiol.*, 54B: 395 – 401.

- DABROWSKI, K., PORTELLA, M.** 2006. Feeding plasticity and nutritional physiology in tropical fishes, pp. 155–224. In: The physiology of tropical fishes. A. L. Val, V. M. F. Almeida-Val and D. J. Randall (Eds). Academic Press, San Diego, 634 pp.
- DANGOUR, A.D., ANDREEVA, V.A., SYDENHAM, E., UAUY, R.,** 2012. Omega 3 fatty acids and cognitive health in older people. *Br. J. Nutr.* 107, S152–S158.
- DECKELBAUM, R.J., WORGALL, T.S., SEO, T.,** 2006. n–3 fatty acids and gene expression. *Am. J. Clin. Nutr.* 83, 1520S–1525S (Suppl.).
- DELGADO-LISTA, J., PEREZ-MARTINEZ, P., LOPEZ-MIRANDA, J., PEREZ-JIMENEZ, F.,** 2012. Long chain omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: a systematic review. *Br. J. Nutr.* 107, S201–S213.
- DEPARTAMENT OF HEALTH AND SOCIAL SECURITY.** 1994. Nutritional aspects of cardiovascular disease (Report on health and social subjects no. 46). H. M. Stationery Office, London.
- DEZA, S; QUIROZ, S; REBAZA, M; REBAZA, C;** 2002, Efecto de la densidad de siembra en el crecimiento de *piaractus brachypomus* (cuvier, 1818) “Paco” en estanques seminaturales de Pucallpa, *Folia amazónica* vol. 13 (1-2)
- ENSER, M., HALLET, K., HEWITT, B., FURSEY, G., WOOD, J.** 1996. Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork retail. *Meat. Sci.* 42: 443-456.
- FERNANDES, J., LOCHMANN, R., BOCANEGRA, F.** 2004. Apparent digestible energy and nutrient digestibility coefficients of diet ingredients for pacu *Piaractus brachypomus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 35: 237-244.
- FROESE, R., PAULY, D.** 2010. "Fishbase" (On-line). Accessed September 08, 2016 at <http://www.fishbase.org/Summary/SpeciesSummary.php?id=5808>.
- GEORGIADI, A., KERSTEN, S.,** 2012. Mechanisms of gene regulation by fatty acids. *Adv. Nutr.* 3, 127–134.
- GIL, A., SERRA-MAJEM, L., CALDER, P.C., UAUY, R.,** 2012. Systematic reviews of the role of omega-3 fatty acids in the prevention and treatment of disease. *Br. J. Nutr.* 107, S1–S2.

- GOMES, L. C., CAMPOS E., MARTINS-JUNIOR H., ROUBACH R., AKIFUMI E. A. & LOURENÇO J.** 2006. Cage culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in a central Amazon flood plain lake. *Aquaculture*. 253: 374-384.
- GUILLAUME J., KAUSHIK S., BERGOT P., METAILLER R.** 2004 Nutrición y Alimentación de peces y crustáceos.
- GUTIÉRREZ W, ZALDÍVAR J, DEZA S, REBAZA M.** 1996. Determinación de los requerimientos de proteína y energía de juveniles de "paco" (*Piaractus brachypomus*), Pisces Characidae. *Folia Amazónica* 8(2): 35-45.
- HALVER, J., HARDY, R.** 2002: Fish nutrition. Academic Press Inc., San Diego, 500 pp.
- HAMRE, K., YUFERA, M., RONNESTAD, I., BOGLIONE, C., CONCEICAO, L., IZQUIERDO, M.** 2013: Fish larval nutrition and feed formulation: knowledge gaps and bottlenecks for advances in larval rearing. *Rev. Aquac.* 5(Suppl. 1), S26–S58.
- HANKE, G., MCNALL, M., ROBERTS, J.** 2006. First records of the yellow bullhead, *Ameiurus natalis*, a loricariid catfish, *Panaque suttonorum*, and a silver pacu, *Piaractus cf. P. brachypomus*, in British Columbia. *Canadian Field Naturalist*, 120/4: 421-427.
- HARRIS, W.** 1997. ω -3 fatty acids and serum lipoproteins: human studies. *Am. J. Clin. Nutr.* 65: 1645S-1654S.
- HERNÁNDEZ, A.** 1994. Estado actual del cultivo de *Colossoma* y *Piaractus* en Brasil, Colombia, Panamá, Perú y Venezuela. Memorias del VIII Congreso Latinoamericano de Acuicultura y V Seminario Nacional de Acuicultura, Acuicultura y Desarrollo Sostenible. Santafé de Bogotá. Colombia: 9-23.
- HOOIJMANS, C.R., PASKER-DE JONG, P.C., DE VRIES, R.B., RITSKES-HOITINGA, M.,** 2012. The effects of long-term omega-3 fatty acid supplementation on cognition and Alzheimer's pathology in animal models of Alzheimer's disease: a systematic review and metaanalysis. *J. Alzheimers Dis.* 28, 191–209.
- HOLUB, B.** 2002. Clinical nutrition: 4. Omega-3 fatty acids in cardiovascular care. *CMAJ*. 166: 608-15.

INTERNATIONAL FISHMEAL AND FISH OIL ORGANITATION 2008, La importancia de los ácidos grasos omega-3 EPA y DHA en la salud de humanos y animales.

IZQUIERDO, P; TORRES, G; BARBOZA, Y; MAQUEZ, E. Y M. ALLARA. 2000. Análisis proximal, perfil de ácidos, aminoácidos esenciales y contenido de minerales en doce especies de pescado de importancia comercial en Venezuela, Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 50: 187-194.

KANAZAWA, A., TESHIMA, S., SAKAMOTO, M. Y AWAL, M. 1980. Requirements of *Tilapia zillii* for essential fatty acids. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 46:1353–1356.

KAUSHIK, S. 1998: Whole body amino acid composition of European seabass (*Dicentrarchus labrax*), gilthead seabream (*Sparus aurata*) and turbot (*Psetta maxima*) with an estimation of their IAA requirement profiles. Aquat. Living Resour. 11, 355– 358.

KOIVISITO, V., DEFRONZO, R. 1984. Exercise in the treatment of type 11 diabetes. Acta Endocrinologica, Supplement, 262, 107-1 11.

KOVEN, W. 2001. The effect of dietary arachidonic acid (20:4 ω -6) on growth, survival and resistance to handling stress in gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae. Aquaculture 193 107-122

LANDS, W. 1993. Eicosanoids and health. Annals of the New York Academy of Sciences 676, 46-59.

LAUZANNE, L. y LOUBENS, G. 1985. Peces del río Mamoré. Orstom-Cordebeni-UTB

LOUBENS, G., PANFILI, J. 2001 Biologie de *Piaractus brachypomus* (Teleostei: Serrasalmodae) dans le bassin du Mamoré (Amazonie bolivienne). Ichthyological Exploration of Freshwaters. Vol. 12, p. 51–64.

LORD, R., BRALLEY, J. 2002. Polyunsaturated Fatty acid-induced antioxidant insufficiency Integrated Medicine. 1: 38-44.

LUCAS, C. M. 2008. Within flood season variation in fruit consumption and seed dispersal by two characin fishes of the Amazon. Biotropica 40, 581–589.

- LUZIA, L.A., SAMPAIO, G.R., CASTELLUCCI, C.M. & TORRES, E.A.F.** 2003. The influence of season on the lipid profiles of five commercially important species of Brazilian fish. *Food Chemistry*, 83(1), p .93–7.
- MAIA, E. L., RODRIGUEZ-AMAYA, D. B., AND FRACO, M. R. B.** 1994. Fatty acids of the total, neutral, and phospholipids of the Brazilian freshwater fish *Prochilodus scrofa*. *J. Food Comp. Anal.* 7, 240-251.
- MAIA, E. L., CARVALHO, N. L., OGAWA, N. B. P., UEDA, B., YAMASHI, T., WATANABE, E., & OGAWA, M.** 1998. Fatty acids composition of Amazon river fishes. In XVI Brazilian Congress of Food Science and technology. Anals, Rio de Janeiro, pp. 1154-1157.
- MARTELO, J. LORENZEN, K., CROSSA, M., MCGRATH, D.** 2008. Habitat associations of exploited fish species in lower Amazon-floodplain system. *Freshwater Biology*, 53: 2455-2464.
- MENDEZ, E., GONZALEZ, R. M., INOCENTE, G., GRUDICE, H., AND GROMPONE, M. A.** 1996. Lipid content and fatty acid composition of fillets of six Fishes from the Rio de la Plata. *J. Food Comp. Anal.* 9, 163-170.
- MESA-GRANDA, M., BOTERO, M.** 2007. La cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), una especie potencial para el mejoramiento genético. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias.*;20(1):340-69.
- MINISTERIO DE LA PRODUCCION** 2014. Anuario Estadístico Pesquero y Acuícola. Perú.
- 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. *Br. J. Nutr.* 107, S171–S184.
- MOREIRA, A., VISENTAINER, J., DE SOUZA, N, AND MATSUSHITA, M.** 2001. Fatty Acids Profile and Cholesterol Contents of Three Brazilian Brycon Freshwater Fishes, *Journal of food composition and analysis.*14, 565-574.

NRC (National Research Council). 1993. Nutrient requirements of fish. National Academy Press, Washington, D.C.

OLDEPESCA. 2010. Estudio sobre los efectos del cambio climático en las especies acuícolas más importantes de la región, junio 2009. (21°: 2010: San Francisco de Campeche, México). Memorias de la XXI Conferencia de Ministros. San Francisco de Campeche (México).

PESTI, G., VEDENOV D., CASON J., & BILLARD, L. 2009. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. *Br. Poult. Sci.* 50:16–32.

PERES, H., OLIVA-TELES, A. 2008. Lysine requirement and efficiency of lysine utilization in turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles. *Aquaculture* 275, 283–290.

POLEO, G., VICENTE, J., MENDOZA, L., ROMERO O. 2011 Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados. En: *Pesquisa agropecuaria brasileira*. Vol. 46, No. 4; p. 429–437.

POLITI, L., ROTSTEIN, N., CARRI, N. 2001. Effects of docosahexaenoic acid on retinal development: cellular and molecular aspects. *Lipids* 36: 927 – 935.

RAMIREZ, J., OLIVER M., PLA, M., GUERRERO, L., ARIÑO, B., BLASCO, A., PASCUAL, M., GIL, M., 2004. Effect of selection for growth rate on biochemical, quality and texture characteristics of meat from rabbits. *Meat Science*, 67: 617-624.

RESTREPO T, DÍAZ G., PARDO S. 2012. Peces dulceacuícolas como alimento funcional: perfil de ácidos grasos en tilapia y bocachico criados en policultivo. *Rev. Bio. Agro10* (2): 44-53.

RIVERS, J., SINCLAIR, A., CRAWFORD, M. 1975. Inability of the cat to desaturate essential fatty acids. *Nature*, 285: 171–173.

RODRIGUES BL, CANTO ACVDCS, COSTA MPD, SILVA FAD, MÁRSICO ET, CONTE-JUNIOR CA. 2017. Fatty acid profiles of five farmed Brazilian freshwater fish species from different families. *PLoS ONE* 12(6): e0178898.

SANTOS, F. 2009: Estrutura trófica de peixes do Lago Grande, Manacapuru, AM com base nos isótopos estáveis de C e N (Determination of fish trophic structure in the Great Lake

Manacapuru, AM, Bazil using stable isotopes of C and N). Unpublished M.Sc. Dissertation, Ciencias Pesqueiras nos Tropicicos, UFAM, Manaus, 74 pp.

SALEM, N. 1999. Introduction to polyunsaturated fatty acids. Backgrounder 3: 1-8.

SANTHA C.R. & GATLIN D.M. 1991. Growth response and fatty acid composition of channel catfish fry fed practical diets supplemented with menhaden fish oil. *Progressive Fish Culturist* 53,135-140.

SARGENT, J. 1999. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. *Aquaculture* 177, 191-199.

SARGENT J.R., BELL J.G., BELL M.V., HENDERSON R.J. & TOCHER D.R. 1995 Dietary origins and functions of long-chain (ω -3) polyunsaturated fatty acids in marine fish. *Journal of Marine Biotechnology* 3, 26-28.

SARGENT J.R., HENDERSON R.J. & TOCHER D.R. 1989. The lipids. *Fish Nutrition*, 2nd edn, (ed. By J.E. Halver), pp.154-219. Academic Press, San Diego, CA, USA.

SARGENT J.R., TOCHER D.R. & BELL J.G. 2002 The lipids. In: *Fish Nutrition*, 3rd ed, (ed. by J.E. Halver & R.W. Hardy), pp.181-257. Academic Press, San Diego, VA, USA.

SCHMUTH, M., MOOSBRUGGER-MARTINZ, V., BLUNDER, S., DUBRAC, S., 2014. Role of PPAR, LXR, and PXR in epidermal homeostasis and inflammation. *Biochim. Biophys. Acta* 1841, 463–473.

SPRECHER H. 2000 Metabolism of highly unsaturated ω -3 and ω -6 fatty acids. *Biochimica et Biophysica Acta* 1486, pp 219-231.

TAKEUCHI, T., SATOH, S. Y WATANABE, W. 1983. Dietary lipid suitable for practical feed of *Tilapia nilotica*. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 49:1361–1365.

TOCHER, D. 2003. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Rev. Sci.* 11(2), 107-184.

TOCHER, D., BENDIKSEN, E., CAMPBELL, P., BELL, J. 2008. The role of phospholipids in nutrition and metabolism of teleost fish. *Aquaculture* 280, 21–34.

UAUY, R., VALENZUELA, A., 2000. Marine oils: the health benefits of n-3 fatty acids. *Nutrition* 16, 680–684.

ÚBEDA, N., ACHÓNA, M., VARELA-MOREIRASA, G., 2012. Omega 3 fatty acids in the elderly. *Br. J. Nutr.* 107, S137–S151.

VASQUEZ-TORRES, W., PEREIRA-FILHO, M., ARIAS-CASTELLANOS, J. 2011: Optimum dietary crude protein requirement for juvenile cachama *Piaractus brachypomus*. *Cienc. Rural* 41, 2183–2189.

VASQUEZ-TORRES, W.; ARIAS-CASTELLANOS, J., 2013. Crescimento de juvenis de *Piaractus brachypomus* alimentados com dietas contendo diferentes perfis de aminoácidos essenciais. (Growth of juvenile *Piaractus brachypomus* fed diets containing different profiles of essential amino acids). *Pesq. Agropec. Bras.* 48, 849– 856.

VAN DAM, A.A., BEVERIDGE, M.C.M., AZIM, M.E. and VERDEGEM, M.C.J. 2002. The potential of fish production based on periphyton. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12(1), p.1–31

VERGARA, V., LAFETA, Y., CAMACHO R. 2011. Determinación de la digestibilidad de Ingredientes y el requerimiento de proteína y energía digestible en el paco (*Piaractus brachypomus*) IV Congreso Internacional de Acuicultura. UNA La Molina, Lima-Perú.

VOSS, A., REINHART, M., SANKARAPPA, S., SPRECHER, H. 1991 The metabolism of 7,10,13,16,19–docosapentaenoic acid to 4,7,10,13,16,19–docosahexaenoic acid in rat liver is independent of a 4–desaturase. *J. Biol. Chem.*, 266: 19995–20000.

WALL, R., ROSS, R., FITZGERALD, G., STANTON C. 2010. Fatty acids from fish: the anti-inflammatory potential of long-chain omega-3 fatty acids. *Nutrition Reviews* 68, 280–289.

WHELAN, J. 2009 Fishy business: Aquaculture, omega-3 fats and health. Presented on Aquaculture American 2009, Seattle, WA.

VIII. ANEXO

ANEXO 1. Perfil de Ácidos Grasos de la dieta por tratamiento.

Ácidos Grasos		Relaciones de Omega-6 a omega-3							
		8.05:1		4.28:1		2.45:1		1.43:1	
		%	mg/100g	%	mg/100g	%	mg/100g	%	mg/100g
Mirístico	14:0	ND	ND	1.25	88	2.47	177	3.68	253
Pentadecaenoico	15:0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.25	17
Palmítico	16:0	11.92	843	13.3	941	14.27	1023	14.96	1030
Palmitoleico	16:1	ND	ND	1.42	100	2.77	199	4.04	278
Heptadecaenoico	17:0	ND	ND	0.13	9	0.18	13	0.25	17
Esteárico	18:0	3.29	233	3.19	226	3.11	223	2.93	202
Oleico	18:1 ω-9	19.13	1353	17.28	1222	15.56	1116	13.29	915
Vaccenico	18:1 ω-7	1.31	93	1.54	109	1.75	125	2.01	138
Linoleico	18:2 ω-6	56.31	3984	48.93	3462	40.48	2902	31.98	2201
α-Linolénico	18:3 ω-3	6.77	479	5.9	417	4.8	344	3.65	251
Estearidónico	18:4 ω-3	ND	ND	0.38	27	0.76	54	1.18	81
Araquídico	20:0	0.3	21	0.32	23	0.36	26	0.39	27
Eicosaenoico	20:1 ω-9	0.36	25	0.44	31	0.52	37	0.6	41
Eicosatrienoico	20:3 ω-3	ND	ND	ND	ND	0.39	28	0.63	43
Eicosapentaenoico	20:5 ω-3	0.22	16	3.3	233	6.73	483	10.8	743
Behénico	22:0	0.39	28	0.35	25	0.29	21	0.26	18
Clupadónico	22:5 ω-3	ND	ND	0.41	29	0.82	59	1.29	89
Docosahexaenoico (DHA)	22:6 ω-3	ND	ND	1.44	102	3.0	215	4.83	332

ND = No Detectado

ANEXO 2. Equipos del Laboratorio de Investigación de Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos

EQUIPO	UNIDAD	FUNCIÓN
Ablandador de agua	1m ³	Disminuye la dureza (concentraciones de iones de Ca ⁺⁺ y Mg ⁺⁺) del agua de La Molina de 1500 ppm a hasta 16 ppm
Tanque sumidero	Capacidad 360 l	Recepción directa de agua del ablandador. Consta de un desagüe por rebose y una salida hacia la bomba de agua.
Bomba de agua	1 HP de potencia	Permite el movimiento del agua desde el tanque sumidero a través de todos los filtros hacia los acuarios.
Filtro mecánico (Reemy)	1 unidad	Tiene la capacidad para retener partículas de hasta un mínimo de 20 µm.
Filtros Housing	2 unidades	Apoyan el filtro mecánico con la retención de partículas de 20 µm.
Enfriador/calentador de agua	2 HP de potencia	Enfría o calienta el agua entre n rango de 13 – 32 °C.
Esterilizador UV	25 watts	Esteriliza el agua disminuyendo de esta forma la presencia de algas, bacterias y virus no deseado en los acuarios.
Filtros Cuno	4 unidades	Compuesto por dos pares de filtros (5 µm y 1 µm), permite que el agua llegue con mayor pureza a los acuarios.
Bomba de aire (Blower)	1/3 HP de potencia	Toma aire del ambiente y lo traslada a través de las líneas de aire hacia los acuarios, donde se encuentran las piedras difusoras de aire.
Acuarios para pruebas de crecimiento	18 unidades	Alberga a los peces durante la evaluación. Cada acuario de fibra de vidrio tiene capacidad de 55 a 75 litros de color blanco, liso por dentro y fuera, con frontis de vidrio de 6 mm y dimensiones de 0.47x0.47x0.50m.

ANEXO 3. Instalaciones del Laboratorio de Investigación de Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos



ANEXO 4. Pesos en gramos de los peces al inicio, a los 28 días y a los 56 días.

Tratamientos	Repeticiones	Peso Inicial	Dia 28	Dia 56
T1	T1R1	104.13	126.04	160.54
	T1R2	104.34	124.65	145.00
	T1R3	105.16	132.07	152.29
	T1R4	104.17	132.50	163.93
T2	T2R1	104.25	136.99	171.51
	T2R2	104.16	127.28	152.72
	T2R3	104.83	133.71	162.08
	T2R4	104.57	120.19	145.59
T3	T3R1	105.28	126.45	150.31
	T3R2	104.15	127.85	156.16
	T3R3	104.60	131.13	153.05
	T3R4	104.97	139.26	161.28
T4	T4R1	104.73	123.17	149.49
	T4R2	104.13	128.46	150.60
	T4R3	104.32	125.09	152.78
	T4R4	104.78	130.65	152.43

ANEXO 5. Consumo en gramos de alimento por periodo y acumulado.

Tratamientos	Repeticiones	Periodo 0 – 28 d.	Periodo 29 – 56 d.	Acumulado
T1	T1R1	39.20	59.56	98.76
	T1R2	39.60	41.52	81.12
	T1R3	44.09	47.46	91.54
	T1R4	43.35	56.33	99.68
T2	T2R1	49.27	66.34	115.61
	T2R2	41.58	53.65	95.23
	T2R3	44.92	53.89	98.82
	T2R4	27.11	54.06	81.17
T3	T3R1	38.93	50.58	89.51
	T3R2	42.29	56.10	98.39
	T3R3	47.54	51.80	99.34
	T3R4	51.92	51.48	103.39
T4	T4R1	33.10	52.53	85.63
	T4R2	41.99	50.29	92.28
	T4R3	34.51	53.38	87.89
	T4R4	44.32	49.16	93.47

ANEXO 6. Ganancia de peso en gramos por periodo y acumulado.

Tratamientos	Repeticiones	Periodo 0 – 28 d.	Periodo 29 – 56 d.	Acumulada
T1	T1R1	21.91	34.50	56.41
	T1R2	20.32	20.35	40.67
	T1R3	26.91	20.22	47.13
	T1R4	28.33	31.42	59.76
T2	T2R1	32.74	34.52	67.26
	T2R2	23.12	25.44	48.56
	T2R3	28.88	28.37	57.24
	T2R4	15.62	25.40	41.02
T3	T3R1	21.17	23.86	45.03
	T3R2	23.71	28.31	52.01
	T3R3	26.53	21.92	48.45
	T3R4	34.28	22.02	56.30
T4	T4R1	18.43	26.32	44.75
	T4R2	24.33	22.14	46.47
	T4R3	20.77	27.69	48.46
	T4R4	25.87	21.78	47.64

ANEXO 7. Conversión alimenticia por periodo y acumulada.

Tratamientos	Repeticiones	Periodo 0 – 28 d.	Periodo 29 – 56 d.	Acumulada
T1	T1R1	1.79	1.73	1.75
	T1R2	1.95	2.04	1.99
	T1R3	1.64	2.35	1.94
	T1R4	1.53	1.79	1.67
T2	T2R1	1.50	1.92	1.72
	T2R2	1.80	2.11	1.96
	T2R3	1.56	1.90	1.73
	T2R4	1.74	2.13	1.98
T3	T3R1	1.84	2.12	1.99
	T3R2	1.78	1.98	1.89
	T3R3	1.79	2.36	2.05
	T3R4	1.51	2.34	1.84
T4	T4R1	1.80	2.00	1.91
	T4R2	1.73	2.27	1.99
	T4R3	1.66	1.93	1.81
	T4R4	1.71	2.26	1.96

ANEXO 8. Longitud en centímetros de los peces al inicio, a los 28 días y a los 56 días.

Tratamientos	Repeticiones	Longitud Inicial	Día 28	Día 56
T1	T1R1	16.14	16.80	18.38
	T1R2	16.44	16.84	17.74
	T1R3	16.38	17.28	18.20
	T1R4	16.50	17.18	18.74
T2	T2R1	16.44	17.42	19.28
	T2R2	16.34	16.94	18.16
	T2R3	16.16	17.14	18.68
	T2R4	16.30	16.34	18.16
T3	T3R1	16.42	16.98	18.00
	T3R2	16.32	17.08	18.28
	T3R3	16.36	16.98	18.32
	T3R4	16.40	17.74	18.82
T4	T4R1	16.42	17.22	18.34
	T4R2	16.16	16.78	18.14
	T4R3	16.44	16.64	18.36
	T4R4	16.34	17.20	18.00

ANEXO 9. Análisis de varianza de las variables respuesta

1. Análisis de Varianza del peso de los peces a los 56 días.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TRATAMIENTO	3	90.40	30.13	0.54	0.665
Error	12	671.50	55.96		
Total	15	761.89			

2. Análisis de Varianza de la ganancia de peso de los peces a los 56 días.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TRATAMIENTO	3	91.31	30.44	0.53	0.670
Error	12	688.85	57.40		
Total	15	780.16			

3. Análisis de Varianza del consumo de alimento a los 56 días.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TRATAMIENTO	3	180.6	60.22	0.75	0.544
Error	12	965.3	80.44		
Total	15	1146.0			

4. Análisis de Varianza de la conversión alimenticia a los 56 días.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TRATAMIENTO	3	0.03181	0.01060	0.71	0.562
Error	12	0.17820	0.01485		
Total	15	0.21001			

5. Análisis de Varianza de la tasa específica de crecimiento a los 56 días.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TRATAMIENTO	3	0.01125	0.003750	0.50	0.692
Error	12	0.09083	0.007569		
Total	15	0.10208			

6. Análisis de Varianza de la longitud a los 56 días.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TRATAMIENTO	3	0.3010	0.1003	0.67	0.589
Error	12	1.8086	0.1507		
Total	15	2.1096			

ANEXO 10. Análisis de varianza de la regresión de las variables respuesta

1. Análisis de Varianza de la Regresión del peso de los peces a los 56 días.

Análisis de varianza

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	22.3336181	11.1668091	42.0748284	0.108369869
Residuos	1	0.26540356	0.26540356		
Total	3	22.5990217			

2. Análisis de Varianza de la Regresión de la ganancia de peso de los peces a los 56 días.

Análisis de varianza

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0.00725133	0.00362566	130.36182	0.061812815
Residuos	1	2.7812E-05	2.7812E-05		
Total	3	0.00727914			

3. Análisis de Varianza de la Regresión del consumo de alimento a los 56 días.

Análisis de varianza

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0.01138496	0.00569248	1.88725403	0.45765234
Residuos	1	0.00301628	0.00301628		
Total	3	0.01440124			

4. Análisis de Varianza de la Regresión de la conversión alimenticia a los 56 días.

Análisis de varianza

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0.0060087	0.00300435	1.54564358	0.49439039
Residuos	1	0.00194376	0.00194376		
Total	3	0.00795246			

5. Análisis de Varianza de la Regresión de la tasa específica de crecimiento a los 56 días.

Análisis de varianza

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0.00280053	0.00140026	120.696135	0.064230398
Residuos	1	1.1602E-05	1.1602E-05		
Total	3	0.00281213			

6. Análisis de Varianza de la Regresión de la longitud a los 56 días.

Análisis De Varianza

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	0.07412147	0.03706073	32.8397095	0.12246278
Residuos	1	0.00112853	0.00112853		
Total	3	0.07525			