

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ACUICULTURA**



**“EFECTO DE DIFERENTES FUENTES LIPÍDICAS EN EL
ALIMENTO, SOBRE EL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS
EN FILETE DE PACO (*Piaractus brachypomus*)”**

Presentada por:

WILFREDO LORENZO VÁSQUEZ QUISPESIVANA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN ACUICULTURA**

Lima - Perú

2021

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ACUICULTURA**

**“EFECTO DE DIFERENTES FUENTES LIPÍDICAS EN EL
ALIMENTO, SOBRE EL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN
FILETE DE PACO (*Piaractus brachypomus*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

WILFREDO LORENZO VÁSQUEZ QUISPESIVANA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Fernando Galecio Regalado
PRESIDENTE

Mg.Sc. Raúl Porturas Olaechea
ASESOR

Mg.Sc. Víctor Vergara Rubín
CO-ASESOR

Mg.Sc. Jessie Vargas Cárdenas
MIEMBRO

Mg.Sc. Aníbal Verástegui Maita
MIEMBRO

*Al recuerdo de mi abuelita Celestina.
A mis padres, Lorenzo y Asunta, por
su confianza, a mi esposa Marianela
e hijas Kiara y Emily por su
motivación de superación constante.*

AGRADECIMIENTOS

A mis asesores Mg. Sc. Raul Porturas y Mg. Sc. Víctor Vergara, por el apoyo brindado para la culminación de la presente investigación.

A la empresa Acuicultura y Pesquera Calicanto S.R.L representada por el Ing. Huerto Milla, por las facilidades para realizar el presente trabajo de investigación.

Al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional Agraria la Molina, por el financiamiento del presente trabajo de investigación.

A los miembros del jurado, por los valiosos aportes brindados para el desarrollo y culminación de esta tesis.

A la importante colaboración de mis amigos Cindy Tapullima y Héctor Huerto.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PACO (<i>Piaractus brachypomus</i>).....	3
2.2. ÁCIDOS GRASOS POLIINSATURADOS – AGPI OMEGA 3 Y 6	7
2.3. IMPORTANCIA DEL PESCADO COMO FUENTE DE AGPI N-3.....	8
2.4. METABOLISMO LIPÍDICO EN PECES.....	9
2.4.1. Digestibilidad de los lípidos en peces.....	11
2.4.2. Transporte de los lípidos en peces	11
2.4.3. Almacenaje de los lípidos en peces	13
2.4.4. Movilización de los lípidos en peces	15
2.5. UTILIZACIÓN LIPÍDICA EN PECES.....	16
2.6. REQUERIMIENTO DE LÍPIDOS Y ÁCIDOS GRASOS INSATURADOS EN PECES DULCEACUÍCOLAS	17
2.7. EFECTOS BENÉFICOS DEL CONSUMO DE ÁCIDO EICOSAPENTAENOICO (EPA) Y EL DOCOSAHEXAENOICO (DHA).....	19
2.8. FUENTES DE LÍPIDOS PARA PECES DE AGUA DULCE	21
2.9. LA HARINA DE PESCADO COMO FUENTE ADICIONAL DE ÁCIDOS GRASOS POLIINSATURADOS	22
2.10. ACEITES VEGETALES COMO REEMPLAZO DEL ACEITE DE PESCADO.....	23
2.11. ANTECEDENTES DE MODIFICACIÓN DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS....	24
2.12. SÍNTESIS ENDÓGENA Y BIOCONVERSIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. LUGAR Y DURACIÓN DE LA EVALUACIÓN	31
3.2. INSTALACIONES Y EQUIPOS	31
3.2.1. Equipos	31
3.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ANIMALES EXPERIMENTALES	31
3.4. DISTRIBUCIÓN DE TRATAMIENTOS	31
3.5. ELABORACIÓN DE DIETAS EXPERIMENTALES	32
3.6. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DURANTE EL EXPERIMENTO	34
3.6.1. Suministro de alimento	34

3.6.2.	Evaluación de parámetros de producción de paco.....	34
3.6.3.	Tasa de crecimiento.....	34
3.6.4.	Factor de conversión del alimento (FCA).....	34
3.6.5.	Factor de condición (K).....	35
3.6.6.	Evaluación de parámetros de calidad de agua en el cultivo de paco.....	35
3.6.7.	Determinación de la composición química proximal de las dietas experimentales	36
3.6.8.	Determinación de la energía bruta en las dietas experimentales.....	36
3.6.9.	Determinación de la composición química proximal de los filetes de paco.....	37
3.6.10.	Determinación del perfil de ácidos grasos poliinsaturados en las fuentes lipídicas, en las dietas de engorde y en los filetes de paco.....	38
3.7.	DISEÑO EXPERIMENTAL Y DISEÑO ESTADÍSTICO.....	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1.	PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA DURANTE EL CULTIVO DE PACO	42
4.2.	PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE PACO DURANTE EL EXPERIMENTO	44
4.2.1.	Peso final.....	44
4.2.2.	Factor de conversión.....	45
4.2.3.	Factor de condición.....	47
4.2.4.	Tasas de crecimiento.....	47
4.3.	COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DE LAS FUENTES LIPÍDICAS UTILIZADAS EN EL EXPERIMENTO.....	48
4.4.	DIETAS DE ENGORDE PARA PACO Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN LAS DIETAS.....	48
4.5.	FILETES DE PACO Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS.....	52
4.5.1.	Presencia del AGPI n-6 ácido araquidónico AA en los filetes de paco.....	53
4.5.2.	Presencia del AGPI n-6 ácido linoleico LA en los filetes de paco.....	54
4.5.3.	Presencia del AGPI n-3 ácido alfa linolénico ALA en los filetes de paco.....	54
4.5.4.	Presencia de EPA y DHA en los filetes de paco.....	55
4.6.	RELACIÓN N-6/N-3 EN LOS FILETES DE PACO.....	58
V.	CONCLUSIONES.....	63
VI.	RECOMENDACIONES.....	64
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
VIII.	ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ingesta recomendada de EPA y DHA para individuos de distintas condiciones y edades.	20
Tabla 2. Perfil de ácidos grasos de las fuentes lipídicas utilizados en el experimento. ..	21
Tabla 3. Distribución de las unidades experimentales y tratamientos en un estanque....	32
Tabla 4. Nivel de inclusión de los insumos evaluados en la formulación de los tratamientos experimentales	33
Tabla 5. Frecuencia de la evaluación de parámetros de calidad de agua	35
Tabla 6. Perfil de ácidos grasos de las fuentes lipídicas utilizadas para elaborar alimento balanceado para paco.....	40
Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos de calidad de agua en la producción de paco.	43
Tabla 8. Parámetros de producción de paco, obtenidos durante el periodo de 60 días de alimentación con diferentes fuentes lipídicas.....	44
Tabla 9. Parámetros fisicoquímicos de las fuentes lipídicas.	48
Tabla 10. Composición química proximal de las dietas experimentales con diferentes fuentes lipídicas.....	50
Tabla 11. Perfil de ácidos grasos de las dietas utilizadas para paco.....	51
Tabla 12. Composición químico proximal de los filetes de paco.....	52
Tabla 13. Perfil de ácidos grasos de los filetes de paco, en porcentaje	53
Tabla 14. Relación n-6/n-3 en los filetes de paco.....	59
Tabla 15. Resumen de resultados de los principales ácidos grasos en fuentes lipídicas, alimento y filetes de paco	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de los AGPI n-3 Eicosapentaenoico (EPA) y Docosahexaenoico (DHA).....	7
Figura 2. Esquema simplificado del proceso de digestión y absorción de lípidos en el intestino de peces.....	10
Figura 3. Posibles rutas biosintéticas para ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LC-PUFA) y ácidos grasos poliinsaturados de cadena muy larga (VLC-PUFA; C ₂₆ -C ₃₆) en peces.	29
Figura 4. Esquema de la vía metabólica de ácidos grasos.....	30
Figura 5. Perfil de ácidos grasos de las fuentes lipídicas	40
Figura 6. Temperatura del agua del estanque durante los 60 días de experimentación ..	43
Figura 7. Oxígeno disuelto del agua del estanque durante 60 días de experimentación ..	43
Figura 8. Perfil de ácidos grasos de las dietas utilizadas.....	51
Figura 9. Perfil de ácidos grasos de los filetes de pacos.....	58
Figura 10. Resumen de resultados de los principales ácidos grasos en fuentes lipídicas, alimento y filetes de paco	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Determinación de grasa - Método Bligh y Dyer	77
Anexo 2. Análisis estadísticos	79
Anexo 3. Infografía del experimento.....	83
Anexo 4. Parámetros productivos.....	85
Anexo 5. Perfil completo de ácidos grasos de las fuentes lipídicas	88
Anexo 6. Perfil completo de ácidos grasos de las dietas utilizadas para paco.	89
Anexo 7. Perfil completo de ácidos grasos de los filetes de paco, en porcentaje	90

RESUMEN

La investigación se realizó en las instalaciones del centro de producción de peces amazónicos de la empresa Acuicultura y Pesquera Calicanto S.R.L ubicada en la región Ucayali. Con el objetivo de evaluar el efecto de la inclusión de diferentes fuentes lipídicas en la dieta de engorde sobre el perfil de ácidos grasos en el filete de paco (*Piaractus brachypomus*), se utilizaron cuatro tipos de aceite; palma, maíz, soja y pescado, para elaborar alimento balanceado cumpliendo los requerimientos nutricionales de la especie. Se alimentaron por un periodo de dos meses con estas cuatro dietas y se adicionó un alimento comercial como dieta adicional. Se determinó el perfil de ácidos grasos en los aceites, en el alimento balanceado y en los filetes de paco antes y después del experimento. Los niveles de los ácidos grasos poliinsaturados omega 6 (AGPI n-6) como el ácido araquidónico (AA) y los ácidos grasos poliinsaturados omega 3 (AGPI n-3) como el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el docosahexaenoico (DHA) fueron analizados. Se determinó que el alimento experimental con aceite de pescado obtuvo el mejor perfil de AGPI en los filetes de paco (2,11; 4,64 y 7,0 % de AA; EPA y DHA respectivamente), sin embargo, la fuente lipídica de origen vegetal, que mejor influyó en el incremento de AGPI en filete de paco (3,11; 0,82 y 3,71% de AA, EPA y DHA correspondientemente) fue el aceite de palma. Al inicio del experimento, la relación n-6/n-3 en el filete de paco resultó ser de 11.95/1, esto indica una mayor proporción de ácidos n-6 en relación con los ácidos n-3. Al término del experimento con las diferentes dietas, las relaciones n-6/n-3 disminuyeron a valores entre 6.11 – 1.11/1, Siendo las mejores relaciones 1.11/1 y 3.40/1 las alcanzadas por las dietas experimentales con aceite de pescado y aceite de palma respectivamente. Las cuales constituyen un indicador de la calidad nutricional de esta especie y de la posibilidad de considerarlo como un alimento funcional Se demostró la capacidad de mejorar el perfil de AGPI en filetes de paco.

Palabras clave: ácidos grasos, filete, paco, aceite, palma, maíz, soja, pescado, alimento.

ABSTRACT

This study was carried out for two months in the aquaculture farm “Acuicultura y Pesquera Calicanto S.R.L.” located in Ucayali; with the objective to evaluate the effect of the inclusion of different lipid sources in the diet on the fatty acid profile in *Piaractus brachypomus* fillet, four sources of oil were used; palm, corn, soy and fish oil, to elaborate diets that comply with the nutritional requirements of paco (*Piaractus brachypomus*). These four diets and a commercial diet were fed to pacos. The fatty acid profile was determined for oils, diets and paco fillets (before and after the experiment). The levels of omega 6 polyunsaturated fatty acids (n-6 PUFA) such as arachidonic acid (AA) and omega 3 polyunsaturated fatty acids (n-3 PUFA) such as eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) were analyzed. The best PUFA profile in paco fillets (2,11; 4,64 and 7,0% AA; EPA and DHA respectively) was obtained with the diet elaborated with fish oil, however, the best vegetable oil that influenced the increase of PUFA profile in paco fillet (3.11, 0.82 and 3.71% of AA, EPA and DHA) was palm oil. At the beginning of the experiment, the n-6 / n-3 ratio in the paco fillet was 11.95 / 1, this indicates a higher proportion of n-6 acids in relation to n-3 acids. At the end of the experiment with the different diets, the n-6 / n-3 ratios improved to values between 6.11 - 1.11 / 1, with the best ratios 1.11 / 1 and 3.40 / 1 obtained with fish oil and palm oil, respectively. Which constitute an indicator of the nutritional quality of this fish and the possibility of considering it as a functional food. It was demonstrated the ability to improve the PUFA profile in paco fillets.

Keywords: fatty acids, fillet, oil, palm, corn, soy, fish, diet.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el consumo de pescado ha presentado un aumento a nivel mundial y la razón principal se basa en que es considerado como un alimento saludable, ya que aparte de ser buena fuente de proteínas, es reducido en calorías, grasa saturada y colesterol. Su amplia aceptación se fundamenta principalmente, en que es un alimento rico en ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) de la serie omega 3 (n-3), a los cuales se les atribuyen propiedades benéficas en cuanto a la disminución del riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares (Rischio and Prevenzione Investigators 2010). Además de demostrar un efecto antiinflamatorio y citoprotector (Valenzuela *et al.* 2011).

Según Steffens (1997), los peces marinos poseen niveles significativos de AGPI. Mientras que la mayoría de las peces de agua dulce, excluyendo a la trucha, contienen relativamente poco de los AGPI n-3. En este grupo se encuentra el paco (*Piaractus brachypomus*) una especie nativa de importancia económica en toda la Amazonía peruana. Sin embargo, la alimentación de los peces es determinante para el perfil de sus AGPI (Steffens 1997). Se ha demostrado que la composición de los ácidos grasos de los lípidos de la dieta influye en la composición de los ácidos grasos de los lípidos del músculo del pescado (Boscolo *et al.* 2004).

Estudios realizados por Perea *et al.* (2008) determinaron el bajo aporte de AGPI n-3 del paco, constituyéndose en un problema nutricional desde el aspecto de aporte de AGPI n-3. Sin embargo, las especies de agua dulce tienen la habilidad de convertir algunos AGPI ácido eicosa pentanoico – EPA y ácido docosa hexanoico – DHA a partir de ácidos grasos de cadena corta como el ácido linolénico (Castro *et al.* 2013). Esta capacidad podría ser utilizada durante el proceso de cultivo de paco, a fin de promover mediante una dieta, a mejorar el perfil de AGPI.

Esto significa que muchas de estas especies pueden transformar un determinado ácido graso en su correspondiente de cadena más larga, con gran eficiencia, permitiendo que en la elaboración de dietas se incluyan aceites vegetales, siempre y cuando estos contengan cantidades adecuadas de ácido alfa linolénico ALA, que pueden ser convertidos en EPA

y DHA por el sistema enzimático del pez (Turchini *et al.* 2006), estas consideraciones justifican la necesidad de investigar en una de las principales especies amazónicas, el *Piaractus brachypomus* (Paco) que es ampliamente demandado a nivel regional en la Amazonia y constituye significativamente uno de los principales alimentos proteicos, con la orientación de mejorar su perfil de AGPI saludable, tal como lo manifiesta Simopoulos (2008).

Los alcances del presente estudio permitirán beneficiar a todos los participantes en la cadena productiva de esta especie amazónica, siendo la base para replicar en otras especies comerciales amazónicas, así como ampliar las posibilidades de competir con especies ya posicionadas en mercados importantes. Los beneficios conseguidos incluyen también a los consumidores que tendrán a su disposición un producto con propiedades mejoradas obtenidas.

El uso de alimentos comerciales elaborados con insumos tradicionales; aceite de pescado y aceites vegetales como fuente lipídica, son desde el punto de vista económico una limitante en la producción de peces. Reemplazar la fuente lipídica aminoraría los costos. Por ello, para el presente estudio, es importante conocer la influencia de un alimento comercial en el perfil de ácidos grasos poliinsaturados.

Considerando lo expuesto, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general evaluar el efecto de la inclusión de diferentes fuentes lipídicas en la dieta de engorde sobre el perfil de ácidos grasos en el filete de paco (*Piaractus brachypomus*).

Y como objetivos específicos:

- Determinar la fuente lipídica que tiene mayor influencia en el incremento de ácidos grasos omega-3 en filete de paco (*Piaractus brachypomus*)
- Caracterizar el perfil de ácidos grasos poliinsaturados de las dietas de engorde experimentales.
- Determinar el cambio en el perfil de ácidos grasos poliinsaturados en filetes de paco (*Piaractus brachypomus*).
- Comparar la relación n6/n3 y el porcentaje de EPA y DHA en filete de paco, alcanzado con una dieta comercial y las dietas experimentales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PACO (*Piaractus brachypomus*)

2.1.1. Clasificación sistemática

La siguiente clasificación corresponde a Cuvier (1816),

Reino: Animalia

Phylum: Chordata

Clase: Actinopterygii

Orden: Characiformes

Familia: Serrasalminidae

Género: *Piaractus*

Nombre científico: *Piaractus brachypomus*

Nombre común: Paco

Guerra *et al.* (1996); Woyanovich (1998); Alcántara (1985) citados por Atta (2006) manifiestan que los nombres comunes o vernáculo del *Piaractus brachypomus* varía en los diferentes países, en Bolivia se le denomina tambaquí; en Brasil pirapitinga, tambaqui, caranha; en Colombia cachama blanca, paco; en Perú se le conoce como paco y en Venezuela como morocoto o cachama. Esta especie es originaria de la cuenca del río Amazonas donde tiene una amplia distribución, se puede encontrar en todos los grandes ríos tributarios del río Amazonas, incluyendo lagunas y lagos. Esta especie ha sido reportada en ocho países componentes de la gran cuenca amazónica

2.1.2. Requerimientos nutricionales del paco

Respecto a los requerimientos nutricionales, el paco es un pez omnívoro, su alimentación en el medio natural se basa en las frutas, semillas y hojas verdes que caen al agua. Durante el periodo de inundación, se alimenta casi por completo de frutas y semillas que se encuentran en el bosque inundado, se alimenta principalmente de hojas después de la creciente, pero, ocasionalmente parte de su

dieta puede ser peces pequeños e invertebrados (Woynarovich y Woynarovich 1998 citados por Atta 2006b).

a. Proteínas

Esta especie es priorizada para fines piscícolas debido a su baja exigencia nutricional, requiere proteína entre 18 a 32% con alta asimilación de proteínas y lípidos de origen vegetal, rusticidad, buen crecimiento y rápida adaptación a varios tipos de alimentos y condiciones de cultivo (Tafur *et al.* 2009).

Gutierrez *et al.* (1996), determinó un 29.8% de proteína como mínimo para pacos adultos, sin embargo, Vasquez-Torres *et al.* (2011) demostró que, con 31.6% de proteína se alcanza un máximo crecimiento, mientras que niveles superiores a 31.6% no mejoraban la ganancia de peso.

Sin embargo, para pacos juveniles se recomienda entre 33.99 y 34.78% de proteína para alcanzar una adecuada ganancia de peso (Briones 2019). Mientras que Machado *et al.* (2012) recomienda 28% de proteína para esta etapa y Vergara *et al.* (2011) 29.20%

De manera general, Santamaría (2014) reporta que para obtener un buen desempeño en crecimiento y en producción de paco se requiere de 17 a 36 % de proteína cruda.

b. Carbohidratos

Los carbohidratos se acumulan en los músculos y en el hígado principalmente en forma de glucógeno (Craig y Helfrich 2012).

El uso de carbohidratos puede afectar la calidad de la carne, por lo que se recomienda para dietas de peces con peso de 168 gramos la inclusión del 28% de proteína y 40% de carbohidratos para prevenir grasa corporal (Machado *et al.* 2012).

Abimorad *et al.* (2007) recomiendan un nivel de 46 % de hidratos de carbono en la dieta combinado a un valor de lípidos de 4 %.

La presencia de carbohidratos en la dieta para peces, a través de su efecto de ahorro de proteína, puede mejorar el uso de la misma para crecimiento y disminuir la descarga de nitrógeno contaminante al medio (Fundación Observatorio Español de Acuicultura 2009).

c. Lípidos

El requerimiento de lípidos para peces omnívoros es menor debido a su mayor capacidad de utilizar carbohidratos como fuente de energía, a diferencia de los peces carnívoros (FONDEPES 2004).

Los requerimientos de lípidos son menores para peces omnívoros, debido a su mayor capacidad de utilizar carbohidratos como fuente de energía (Bolaño y Rodríguez 2020).

Vásquez (2004) observó que niveles de lípidos mayores a 8% en la dieta de juveniles de cachama blanca afectaron negativamente el desempeño productivo de los animales. Abimorad *et al.* (2007) recomiendan un nivel de 4 % de lípidos en la dieta combinado a un valor de hidratos de carbono de 46 %.

Aunque se ha demostrado que los peces prefieren utilizar las proteínas y carbohidratos como fuente de energía, esto no significa que no se deba incluir o que no se impongan restricciones para el uso de los lípidos en la dieta (Puerta 2016).

d. Relación proteína/energía

Un adecuado balance de proteína cruda y energía digestible mejora las tasas de crecimiento, la eficiencia alimenticia y utilización proteica, minimiza la acumulación excesiva de lípidos y glucógeno en los tejidos somáticos y el hígado; y minimiza la excreción de desechos nitrogenados mejorando por lo tanto la calidad del agua (Bicudo *et al.* 2009).

El interés de utilizar piensos con altos niveles de energía es debido a la mejora que se obtiene en el índice de conversión del alimento. Para que los piensos con altos niveles de energía no originen peces grasos, es necesario que la relación proteína energía sea óptima, y que la tasa de alimentación sea la adecuada. A este respecto, tan importante como el contenido energético de un pienso, es el

nivel de ingestión de energía, que está determinado por la tasa de alimentación, pues resulta evidente que una misma ingestión energética puede conseguirse con diferentes alimentos que contengan distinto nivel de energía, variando la tasa de alimentación.

Asumiendo que los peces regulan su ingestión en función de las necesidades energéticas, se podrían dar tres casos en función del valor de la relación proteína/energía:

- Si la relación proteína/energía es elevada, los peces podrían ingerir un exceso de proteína, que supondría una mayor excreción de nitrógeno y por tanto unas mayores pérdidas por incremento calórico y un mayor coste de la alimentación.
- Si la relación proteína/energía es baja, los peces detendrían la ingestión sin ingerir la suficiente proteína, lo que originaría un peor crecimiento y un engrasamiento debido al exceso de energía.
- Si la relación proteína/energía es la adecuada, tanto la ingestión de proteína como de energía sería la adecuada, optimizándose el crecimiento. Por ello, cuando se diseñan piensos de alta energía debería incrementarse también el contenido proteico y ajustar la tasa de ingestión.

Por tanto, el establecimiento de las necesidades óptimas de energía para los peces no puede llevarse a cabo sin considerar también las necesidades proteicas, pues de lo contrario el crecimiento se vería afectado y los valores determinados de energía no serían adecuados para optimizar el crecimiento Fundación Observatorio Español de Acuicultura (2009).

2.1.3. Requerimientos de calidad de agua

En relación con las exigencias de calidad de agua, *P. brachypomus* puede tolerar temperaturas de 15° a 32° C, sin embargo, la temperatura optima es de 27.5 °C. El oxígeno disuelto en cultivo debe ser mayor a 3.0 mg/litro sin embargo son resistentes a bajos niveles de oxígeno disuelto en el medio natural. El pH óptimo es 6.8 a 7.0 (Atta 2006). La dureza debe ser mayor a 30 mg/l mientras que el dióxido de carbono menor a 20 mg/l. Esta especie es relativamente resistente al nitrógeno amoniacal.

2.2. ÁCIDOS GRASOS POLIINSATURADOS – AGPI OMEGA 3 Y 6

Los AGPI están presentes en las grasas animales, en aceites vegetales y alimentos de origen marino. Los AGPI han sido ampliamente estudiados por su capacidad para generar lípidos bio activos que participan en el control de diversas funciones del organismo tales como el desarrollo del cerebro, el control de la presión arterial y la respuesta inflamatoria. Se distinguen dos grupos de AGPI: los ácidos grasos poliinsaturados omega 6 (AGPI n-6) y los ácidos grasos poliinsaturados omega 3 (AGPI n-3) que se diferencian por la posición del último doble enlace en su estructura, contando desde el carbono omega (Figura 1). Estos ácidos grasos presentan funciones muy distintas y en cierto modo antagónicas. Los AGPI n-6 tales como el ácido araquidónico son la fuente principal para la generación de moléculas proinflamatorias tales como las prostaglandinas y leucotrienos, así como moléculas vasoconstrictoras tales como los tromboxanos (Gatica 2011).

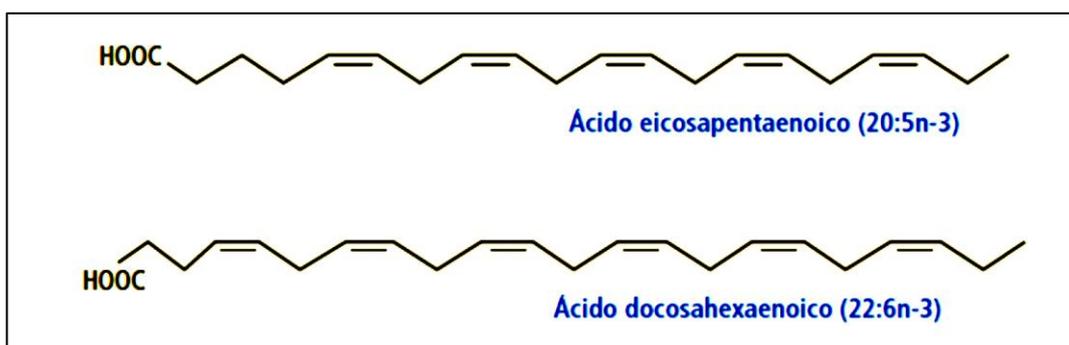


Figura 1. Estructura de los AGPI n-3 Eicosapentaenoico (EPA) y Docosahexaenoico (DHA).
Fuente: Christie (2003)

Sólo en 1963 Hansen y colaboradores demostraron, por primera vez en humanos, la incapacidad de sintetizar estos ácidos grasos indicando, además, la necesidad de ingerir una cierta cantidad de ellos al día, otorgándoles el carácter de ácidos grasos esenciales (Morales *et al.* 2012).

El creciente interés demostrado en las propiedades alimenticias y farmacológicas descritas de los AGPI n-3 contenidos en los aceites de pescado ha conducido a la realización de estudios para mejorar las características químicas y organolépticas de estos aceites y a desarrollar fracciones puras o altamente concentradas de algunos AGPI n-3 (Vásquez 2001).

2.3. IMPORTANCIA DEL PESCADO COMO FUENTE DE AGPI N-3

Para el hombre, el pescado ha sido alimento desde hace muchos siglos, y el interés por estudiar la composición y beneficios nutrimentales de su consumo surgió desde hace varias décadas (Castro *et al.* 2013).

Los primeros estudios que comprobaron los efectos cardioprotectores de los AGPI n-3 surgieron a partir de los estudios realizados en los esquimales que consumían animales de origen marino, quienes a pesar de tener una dieta con más del 30% de los requerimientos energéticos, presentaban una muy baja incidencia de enfermedades cardiovasculares y una menor manifestación de enfermedades inflamatorias (Valenzuela *et al.* 2011).

En los peces, los requerimientos de ácidos grasos esenciales (AGE) como el ácido linoleico (AL) y ácido alfa linolénico (ALA) están influenciados por la temperatura del agua y la salinidad. Según la National Research Council - NRC (1993), estos requerimientos varían tanto cualitativamente como cuantitativamente dependiendo de las especies.

Moreno (2013) en su trabajo de investigación confirma que los peces marinos tienen una mayor proporción de ácidos grasos de 16 y 18 átomos de carbono, en tanto que los peces de agua dulce tienen más de 20 y 22 átomos de carbono, la razón es que los peces marinos requieren estos ácidos grasos para mantener la fluidez de sus membranas celulares a las bajas temperaturas medioambientales en las que viven. Por lo tanto, la relación entre los ácidos grasos n-6/n-3 es mayor en los peces de agua dulce que en los marinos.

Según Steffens (1997), Restrepo *et al.* (2012) indican que en general, los peces marinos son ricos en EPA y en DHA, con una relación n-6: n-3 que oscila entre 1:7 y 1:10, lo cual es atribuido a la composición lipídica del plancton, importante fuente alimenticia. Los estudios también hacen evidente que por medio de la dieta suministrada a los peces de agua dulce se puede mejorar la relación n-6: n-3 y convertirlo en un alimento funcional.

2.4. METABOLISMO LIPÍDICO EN PECES

Para que los lípidos procedentes de la dieta sean incorporados como nutrientes al organismo, se lleva a cabo una cadena de procesos que ocurren desde la ingestión de estos y que son: lipólisis, solubilización, absorción hacia el interior del enterocito, re-esterificación y transporte hacia la linfa (Sargent *et al.* 2002; Tocher 2003). Todos ellos constituyen en conjunto el proceso de digestión y absorción de los lípidos que se esquematiza en la Figura 2.

Estudios recientes muestran, además, que parte de los ácidos grasos dietarios pueden seguir otros destinos metabólicos dentro del propio enterocito, pudiendo ser esterificados localmente en forma de triacilgliceroles o en últimos, que, hasta la fecha, habían sido considerados más propios de los hepatocitos (Buzzi *et al.* 1996 1997; Rodríguez *et al.* 2002). Ello se justifica por el hecho de que en el borde apical del enterocito abundan estructuras de membrana particularmente ricas en fosfolípidos, con elevado contenido en ácidos grasos de cadena larga y elevado número de insaturaciones, por lo que se hace necesario mantener, tanto sus propias reservas lipídicas, como la maquinaria sintética que garantice el reemplazo y funcionalidad de dichos fosfolípidos de membrana.

Como se ha señalado anteriormente, los lípidos de la dieta son necesarios tanto para la provisión de energía mediante la oxidación de sus ácidos grasos, como para la síntesis de lípidos estructurales tales como el colesterol y los fosfolípidos que componen las membranas celulares y que juegan un importante papel regulando su fluidez y funcionalidad.

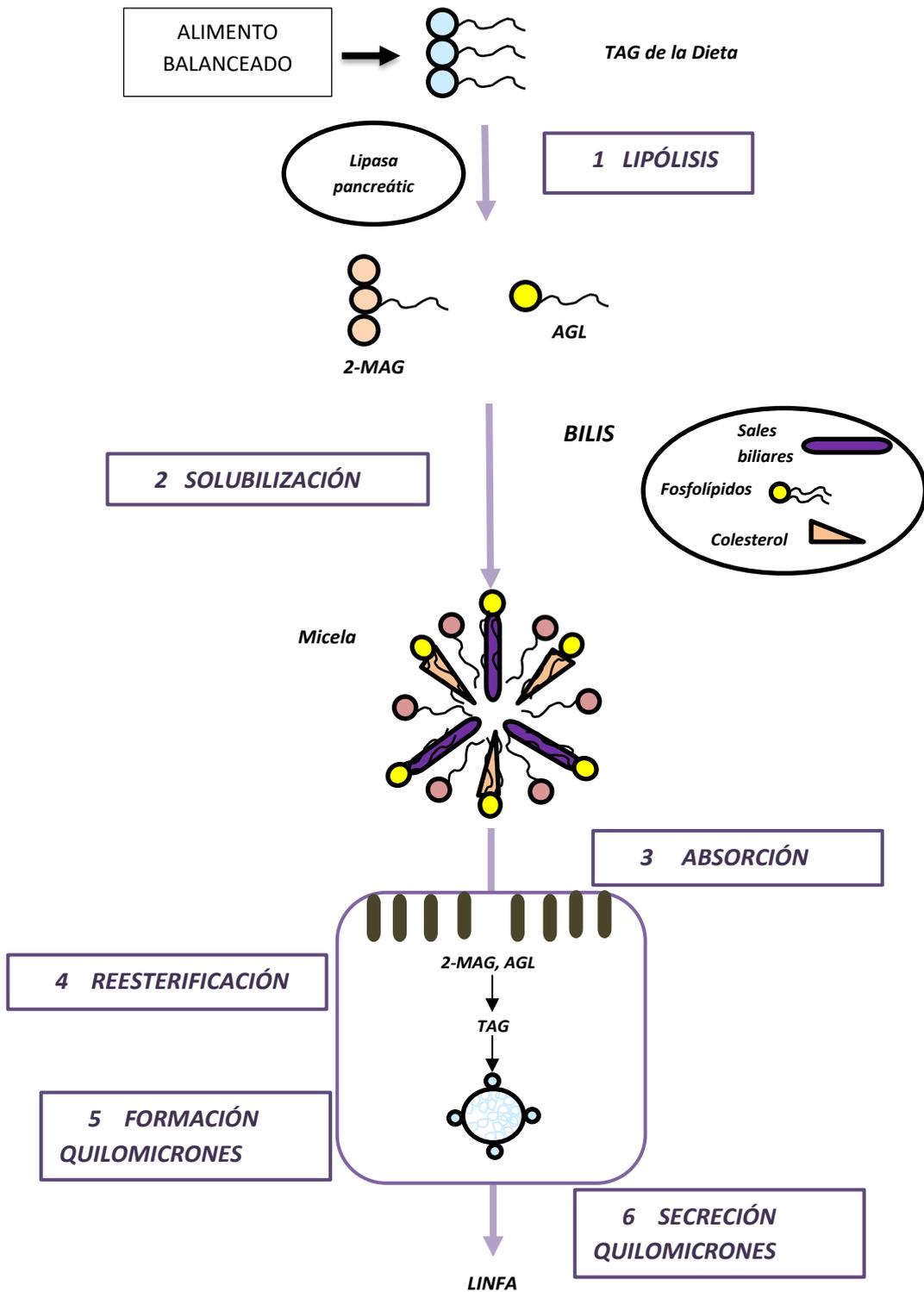


Figura 2. Esquema simplificado del proceso de digestión y absorción de lípidos en el intestino de peces. TAG: triglicéridos; AGL: ácidos grasos libres; 2-MAG: 2-monoacilglicerol.

2.4.1. Digestibilidad de los lípidos en peces

La digestibilidad de los lípidos en la dieta de los peces en algunas especies es generalmente alta (Barandica 2010).

Los lípidos son por lo general bien o muy bien digeridos, excepto si, si por su elevado punto de fusión, son sólidos en la temperatura en la que habita el pez. De esta manera la hidrogenación de los aceites, que mejora su resistencia a la oxidación, los hace más digestibles. Los puntos de fusión de los triacilgliceroles dependen sobre todo de los de sus ácidos grasos constitutivos. Los ácidos grasos poliinsaturados son particularmente bien digeridos. En el salmón Atlántico, su digestibilidad es de 90 a 98% cuando se ingieren en forma de triacilgliceroles o de ácidos grasos libres. En cambio, para los ácidos grasos saturados, la utilización digestiva es menor y decrece con la longitud de la cadena carbonada, pasando de 70% para el mirístico (14:0) a 50% para el estearato (18:0). El mismo tipo de respuesta se ha podido observar en otras especies como la trucha y la carpa.

Las diferencias interespecíficas para digerir grandes cantidades de lípidos han sido poco estudiadas. Sin embargo, existen. Así, en el rodaballo, se observa una disminución de la digestibilidad y una ralentización del crecimiento cuando los alimentos tienen un contenido lipídico superior al 15%. En comparación, las dietas con un contenido de más del 30% de materia grasa dan excelentes resultados en la trucha o el salmón del Atlántico, lo que implica una buena utilización digestiva (Guillaume *et al.* 2004).

2.4.2. Transporte de los lípidos en peces

Las lipoproteínas son los mayores transportadores de lípidos a través del sistema circulatorio en los vertebrados (Chapman *et al.* 1980; Barandica 2010).

La biosíntesis de lípidos implica la combinación de dos unidades de carbono, llamadas acetil coenzima A, en cadenas largas y luego la adición de hidrógeno. La mayoría de la formación de los lípidos se produce en las microsomas del tejido adiposo, el hígado y las mitocondrias de la célula (en menor grado) (Lim y Webster 2001).

Los ácidos grasos absorbidos son reestirificados en el enterocito en triacilgliceroles y fosfolípidos. En el enterocito existen “lípidos estacionarios”, forma de almacenaje

de los triacilgliceroles particular de los peces. Sin embargo, los lípidos re sintetizados son mayoritariamente incorporados en partículas de naturaleza lipoproteicas análogas a los quilomicrones de los mamíferos y a los VLDL (*very low density lipoprotein*). La talla de estas partículas depende de la naturaleza de los lípidos alimentarios. La presencia de quilomicrones, que contienen esencialmente triacilgliceroles (80%) ha sido claramente demostrada en la trucha de 2 a 4 horas después de la comida. Estas lipoproteínas son transportadas hasta el hígado esencialmente por vía linfática, pero también por vía portal en algunas especies (carpa y trucha). Una parte de los ácidos grasos absorbidos también puede ser transportada, acoplada a la albúmina, vía el sistema porta. Esta vía solo parece importante en algunas situaciones; realimentación tras un ayuno y concentración limitante de glicerol.

Los lípidos que llegan al hígado de esta manera, así como los que son sintetizados de nuevo en este órgano, se acoplan con unas proteínas particulares, las apoproteínas y con el colesterol libre y esterificado para formar nuevas lipoproteínas. Al igual que en mamíferos, el transporte de lípidos desde el hígado hacia otros tejidos se lleva a cabo por tres tipos de lipoproteínas plasmáticas: VLDL, LDL (*low density lipoprotein*) y HDL (*high density lipoprotein*). La estructura y la naturaleza de las apoproteínas, así como la composición lipídica de estas diferentes clases lipoproteínas son bastante cercanas a la de los mamíferos. La presencia de apoproteínas análogas a las apoproteínas A y B de mamíferos se ha demostrado en las HDL y VLDL respectivamente. No obstante, las lipoproteínas de los peces contienen porcentajes netamente superiores de n-3 HUFA. En numerosas especies (carpa, rodaballo...) las lipoproteínas mayoritarias son las HDL. Sin embargo, el perfil de las lipoproteínas varía según la especie, la edad, las condiciones nutricionales y el ciclo sexual. De este modo, en los juveniles de truchas inmaduras, predominan las VLDL y sobre todo las LDL mientras que en la trucha en vías de maduración sexual son más abundantes las HDL (hasta el 80% de las lipoproteínas mientras que las LDL solo suponen un 10% y las VLDL menos aun). Una escasa parte de los lípidos (5 a 10%) es transportada en forma de ácidos grasos libres o simplemente acoplada en albúmina. En la mayor parte de los peces, el contenido lipídico en el plasma es muy elevado (1.85 a 2.40 g/100 mL en salmónidos).

Durante la circulación, estas lipoproteínas sufren el ataque de diferentes enzimas: la lipoproteína lipasa cuya presencia ha sido demostrada en el plasma y en diferentes tejidos de la trucha (hígado, músculo, corazón, ovarios, tejido adiposo); una lipasa “salt resistant” análoga a la lipasa hepática de los mamíferos, pero que también se encuentra en los tejidos extra hepáticos; y finalmente la lecitina-colesterol acil transferasa que tiene una actividad muy elevada en el plasma. La acción de estas enzimas se encarga de la transformación intra-vascular de las lipoproteínas. Los triacilglicérols de los quilomicrones y de los VLDL se hidrolizan almacenándose los ácidos grasos liberados en los tejidos, o bien se utilizan para fines energéticos. La hidrólisis de los triacilglicérols se acompaña de modificaciones en la composición de apoproteínas que llevan progresivamente a la formación LDL. Se observa igualmente un intercambio de material de superficie (fosfolípidos, colesterol, apoproteínas) entre los LDL y los HDL, así como un enriquecimiento de estos últimos en ésteres de colesterol. Los procesos de conversión y catabolismo de las lipoproteínas son por tanto muy similares a las de los mamíferos.

Otra clase de lipoproteína, la vitelogenina, existe en los peces hembra durante el desarrollo y la culminación de la maduración. Es una proteína de alta densidad sintetizada por el hígado y transportada hacia los ovarios en las primeras fases de la ovogénesis. Está constituida por un alrededor de un 80% de proteínas y 20% de lípidos, esencialmente fosfolípidos. No está implicada en forma directa en el transporte de los lípidos alimentarios (Guillaume *et al.* 2004).

2.4.3. Almacenaje de los lípidos en peces

Los fosfolípidos, esencialmente localizados en las membranas celulares y en las membranas de orgánulos celulares representan una parte relativamente constante de los tejidos y por consiguiente de la biomasa. Los triacilglicérols, y a veces, los cédidos, constituyen los lípidos de reserva. Son re sintetizados en los tejidos a partir de los ácidos grasos circulantes liberados por acción de las lipasas. En mamíferos, el almacenaje de lípidos se efectúa principalmente en un tejido muy específico: el tejido adiposo. En peces puede ocurrir en varios tejidos: hígado, tejido adiposo peri visceral y músculo, incluso en el tejido subcutáneo. En el músculo blanco, los lípidos se almacenan en pequeñas formaciones de tejido adiposo insertadas entre

las laminillas musculares mientras que en el musculo rojo también se almacenan en el interior de las mismas fibras. La localización de los depósitos lipídicos varía mucho según las especies y sirve de criterio para diferenciar varias categorías de peces. Se distinguen de esta manera los peces “los grasos” como el arenque y la caballa, con contenido lipídicos en el músculo superiores al 10%, y los peces “magros”, como el bacalao, cuya carne contiene menos de un 2% de lípidos, almacenados en el hígado. Entre estas dos categorías existen peces “intermedios” que almacenan los lípidos en el músculo (contenidos de 2.5 a 6%) y en otros lugares como el tejido adiposo peri visceral, como es el caso de los salmónidos. El contenido lipídico de los peces varía en función de la edad y del estadio fisiológico. Generalmente, aumenta con la edad y la talla del animal, mientras que el contenido proteico apenas varía. En los peces salvajes de las zonas frías o templadas, fluctúa fuertemente con los ciclos de las estaciones. Otros muchos factores (genéticos, nutricionales, endocrinos, medioambientales) pueden influenciar igualmente en la importancia de los depósitos lipídicos. Entre todos ellos, la alimentación juega un papel predominante. En su conjunto, los peces de cultivo son netamente más grasos que sus congéneres salvajes, aunque esta diferencia se difumina si la alimentación se controla cualitativamente y, sobre todo cuantitativamente.

La composición de los lípidos, más aún que los lugares de depósito y la importancia de las reservas, difiere considerablemente entre peces y vertebrados superiores terrestres, tanto para fosfolípidos, de transporte o de membrana, como para lípidos neutros (triacilgliceroles y céridos) de reserva. Mientras que los lípidos de mamíferos y aves contienen sobre todo ácidos grasos saturados y monoinsaturados, los de peces contienen siempre un porcentaje elevado de HUFAs. Entre estos últimos, sobre todo en especies de agua fría, se observa una preponderancia de los ácidos grasos de la serie n-3, fenómeno ligado al mantenimiento de la fluidez de la membrana a bajas temperaturas (Guillaume *et al.* 2004).

Los lípidos transportados como VLDL se almacenan principalmente en el hígado y se catabolizan en el músculo (Nanto *et al.* 2003, Barandica 2010).

2.4.4. Movilización de los lípidos en peces

En mamíferos, la movilización de los lípidos depende de una triacilglicerol lipasa hormona-dependiente que hidroliza los triacilgliceroles. Seguidamente, los ácidos grasos liberados en el sistema circulatorio se oxidan, principalmente en las mitocondrias, aunque también en los peroxisomas, para finalizar con la obtención de energía vía la β -oxidación. En peces, los datos referentes a la movilización de los lípidos son fragmentarios y controvertidos. No obstante, la existencia de una triacilglicerol lipasa ha sido claramente demostrada en el hígado y en el tejido adiposo de las truchas. El pH óptimo de esta enzima, localizada en el citosol, se sitúa entre 6.5 y 7.5 al igual que la lipasa de los mamíferos. Estudios recientes han demostrado que esta enzima se activa por un proceso de fosforilación/defosforilación dependiente del AMP cíclico. Los datos relativos a la regulación hormonal de esta enzima son bastante inconexos y difieren según el tejido estudiado. Así, la actividad de la triacilglicerol lipasa hepática se ve estimulada por el glucagón y catecolaminas mientras que la triacilglicerol lipasa del tejido adiposo (cuando existe) no tendría una influencia hormonal clara, exceptuando una acción de las hormonas tiroideas. Igualmente se ha encontrado una lipasa ácida (pH óptimo entre 4 y 4.5) en los lisosomas del músculo rojo de la trucha, pero todavía no se sabe que función juega. Podría actuar sobre la degradación *post-mortem* de los lípidos intracelulares.

En peces se observan, a lo largo del ciclo biológico, periodos en los que los lípidos de reserva se movilizan de forma activa. Se trata de los periodos de ayuno en los meses invernales y la fase de desarrollo de las gónadas. En las especies anádromas, la maduración de las gónadas sucede en un período de no alimentación, que se corresponde con la migración. En todos estos casos, son los triacilgliceroles almacenados en los depósitos (primero de las vísceras y después del músculo) los que son movilizados para suministrar energía (caso del ayuno y la migración) y para la formación de las gónadas. Diversos estudios han demostrado la importancia de las reservas lipídicas en la reproducción. Así, en la trucha un ayuno forzado durante el periodo precedente al desarrollo de las gónadas conlleva una disminución de la fecundidad debido a la insuficiencia de las reservas para el desarrollo de las gónadas (producción de huevos) (Guillaume *et al.* 2004).

Asimismo, algunos de los ácidos grasos absorbidos en el enterocito no formarán parte de los quilomicrones, sino que serán β -oxidados o acumulados como reserva energética del propio enterocito o pasarán a formar parte de sus abundantes y altamente renovables estructuras de membrana, previa transformación o no, en otros ácidos grasos derivados (Fonseca-Madrigal *et al.* 2005).

2.5. UTILIZACIÓN LIPÍDICA EN PECES

Muchos de los lípidos marinos se han empleado tradicionalmente como fuentes de ácidos grasos esenciales, energía no proteica y otros factores de importancia nutricional en las dietas de peces. El suministro mundial de aceite de pescado se utiliza en alimentos acuícolas. Por lo tanto, el costo de la fracción de lípidos en las dietas de peces sin duda incrementa el costo. Se confía en fuentes alternativas de lípidos menos costosas de origen vegetal y / o animal para proporcionar una parte significativa de la dieta (Lim y Webster 2001).

Los animales pueden sintetizar rápidamente grasas a partir de carbohidratos y proteínas, pero, al igual que en el caso de los aminoácidos, existen limitaciones con respecto a algunos grupos químicos. Esto resulta particularmente cierto en el caso de algunos ácidos grasos insaturados y en el de los materiales lipídicos más complejos tales como el colesterol (Hoar 1978). Los peces, al igual que otros organismos terrestres, tienen en su composición ácidos grasos poliinsaturados, con insaturaciones en las posiciones 12 y/o 15 de la cadena carbonada, derivados de los ácidos grasos esenciales, ácido linoleico (18:2 n-6) y ácido α -linolénico (18:2 n-3) a través de una serie de desaturaciones (en $\Delta 6$ y en $\Delta 5$) y elongaciones. Estos ácidos grasos se denominan ácidos grasos poliinsaturados AGPI. En la actualidad no está claro cómo se produce el control de la síntesis de los AGPI en el caso de los peces. En peces marinos el flujo de esta vía de transformación de ácidos grasos esenciales es muy bajo, aunque sus productos ácido araquidónico AA (20:4 n-6), ácido eicosapentenoico EPA (20:5 n-3) y ácido docosahexaenoico DHA (22:6 n-3) presentan unos niveles elevados en los tejidos, en especial los AGPI n-3 y AGPI n-6 (Pendón *et al.* 2010).

Según Perez *et al.* (2007), indican que los peces marinos presentan actividad de la $\Delta 6$ desaturasa, pero tienen limitaciones de la $\Delta 5$ desaturasa, mientras que los peces

de agua dulce poseen actividad de ambas desaturasas, teniendo la capacidad de convertir los ácidos grasos esenciales a AA, EPA y DHA. De esta manera, la $\Delta 6$ desaturasa es responsable de la producción de 18:3 n-6 (ácido gama linolénico) a partir de 18:2 n-6 (AL) y de la de 18:4 n-3 (ácido estearidónico) a partir de 18:3 n-3 (ALA). Estos dos productos son elongados por la elongasa y posteriormente desaturados mediante la $\Delta 5$ desaturasa a 20:4 n-6 (ARA) y 20:5 n-3 (EPA), respectivamente.

Por otra parte, la producción de DHA implica una elongación más, mediante la $\Delta 6$ desaturasa y una reacción de acortamiento de la cadena. Los peces de agua dulce pueden transformar un determinado ácido graso en su correspondiente de cadena más larga. Esta capacidad permite incluir aceites vegetales en la elaboración de dietas, siempre y cuando estos contengan cantidades adecuadas de ácido alfa linolénico ALA, que pueden ser convertidos en EPA y DHA por el sistema enzimático del pez (Tuchini *et al.* 2006).

Aunque generalmente se asume que los ácidos grasos saturados y monoinsaturados como el 16:0 y el 18:1n-9, respectivamente, son los sustratos preferentemente utilizados para la obtención de energía, algunos trabajos también han mostrado la utilización de los ácidos grasos altamente insaturados (HUFA) como el 20:5n-3 y el 22:6n-3 como sustrato energético (Fundación Observatorio Español de Acuicultura 2009).

2.6. REQUERIMIENTO DE LÍPIDOS Y ÁCIDOS GRASOS INSATURADOS EN PECES DULCEACUÍCOLAS

Los requerimientos lipídicos de peces varían en función de multitud de factores. Así, serán diferentes en especies marinas o de agua dulce o si sus hábitos alimenticios son más o menos carnívoros, viéndose influenciados además por parámetros ambientales como la temperatura y la salinidad. Asimismo, dentro de una misma especie, las necesidades variaran según la etapa de desarrollo y más concretamente, en las etapas de reproducción y desarrollo embrionario y larvario.

El contenido graso de un pescado va a depender, no sólo de su capacidad metabólica, sino, sobre todo, del contenido graso de la dieta que será diferente en función de la velocidad a la que el productor quiera obtener el pescado en su talla

comercial. Otro factor a tener en cuenta en el diseño de una dieta es el destino comercial de este pescado, es decir, si es un pescado para consumo directo en fresco en cuyo caso suele interesar un pescado menos graso, o si, por el contrario, va a ser procesado para obtener subproductos tales como el ahumado, en cuyo caso, será necesario partir de un pescado más graso (Ahlgren *et al.* 1992).

Sin embargo, el requerimiento exacto de lípidos dependerá, entre otros factores, de los niveles dietarios de proteína y también de carbohidratos. Igualmente, los requerimientos de ácidos grasos esenciales van a depender del nivel de lípidos de la dieta. Así, los requerimientos de n-3 HUFA aumentan en alevines con el aumento del aporte dietario de lípidos. La composición en ácidos grasos de la dieta es un factor más determinante que el propio nivel de lípido total. En los últimos años se han ensayado las denominadas dietas de alta energía o elevado contenido graso. Estas dietas se diseñan para incrementar la tasa de crecimiento del pez a base de explotar al máximo el efecto de ahorro proteico de los lípidos dietarios, permitiendo la máxima conversión de la proteína dietaria en proteína muscular. Aunque este efecto ahorrador de proteínas está bien documentado, los límites en cuanto a su efectividad no han sido bien definidos en ninguna especie. Si bien un aumento de los lípidos dietarios implica, en muchos casos, un aumento del crecimiento, el uso de esta práctica puede alterar el metabolismo del pez, teniendo consecuencias negativas para su salud y bienestar, y desde el punto de vista del consumidor, al afectar a la calidad y sabor del producto final. La importancia de optimizar el tamaño de la ración en relación con el uso de dietas de alta energía, con el fin de evitar exceso de deposición grasa, ha sido también investigada en la dorada europea (Fundación Observatorio Español de Acuicultura 2009).

Los peces dulceacuícolas pueden clasificarse en tres categorías: los que requieren principalmente n-3 PUFA, como los salmónidos, especies que necesitan n-6 PUFA como la tilapia, y especies que requieren importantes cantidades de ambos como el pez gato (*Ictalurus punctatus*) y la carpas. Especies omnívoras como la perca dorada (*Leiopotherapon bidyanus*), también necesita n-6 y n-3 PUFA, pero los requerimientos cuantitativos no han sido establecidos. Estudios más recientes sobre metabolismo de los PUFA, realizados con pez cebra y tilapia, muestran que utilizando una mezcla de aceites vegetales que aportan un 1 % de 18:3n-3 y 18:2n-6 y garantizan, por lo tanto, los requerimientos de ácidos grasos esenciales de ambas

especies, genera en el pez cebrá un aumento de la actividad $\Delta 6$ que se traduce en un incremento de 18:4n-3 en los tejidos. Sin embargo, en la tilapia el efecto es aún más acusado aumentando la presencia de EPA y DHA (Fundación Observatorio Español de Acuicultura 2009).

La mayoría de los estudios realizados en cuanto a requerimientos de ácidos grasos esenciales de la serie n-3 en especies de peces dulceacuícolas, señalan que estos pueden ser cubiertos, en general, por el ácido alfa linolénico, 18:3n-3. Otras especies se desarrollan mejor con una combinación de 18:3n-3 y 18:2n-6 o incluso 20:5n-3, y en un número reducido de especies, los requerimientos son cubiertos por uno, o los dos, n-3 HUFA principales. Debido a que, en los vertebrados, son el 20:5n-3 y el 22:6n-3 las formas biológicamente activas de los n-3 esenciales, se deduce que el 18:3n-3 dietario es transformado a 20:5n-3 y 22:6n-3 en la mayoría de las especies de agua dulce estudiadas. Las diferencias de requerimiento se pueden aplicar generalmente si se considera la dieta natural de las especies y también si se trata de especies herbívoras, omnívoras o carnívoras. A diferencia de las especies marinas, las microalgas de agua dulce contienen normalmente 18:3n-3 y no 20:5n-3 y 22:6n-3 como principales PUFA. Además, el 18:2n-6 es más bien escaso en las microalgas marinas, siendo abundante en las de agua dulce. El PUFA principal en las partes verdes de las plantas terrestres y de agua dulce es el 18:3n-3, por su parte, el 18:2n-6 abunda en los aceites de semillas vegetales (Ahlgren *et al.* 1992).

Según antecedentes de requerimientos de ácidos grasos esenciales para peces omnívoros, se reporta un requerimiento de 1% de 18:3n-3 y 1% de 18:2n-6 en la dieta para la especie tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Tocher *et al.* 2012).

2.7. EFECTOS BENÉFICOS DEL CONSUMO DE ÁCIDO EICOSAPENTAENOICO (EPA) Y EL DOCOSAHEXAENOICO (DHA)

Los efectos beneficiosos en la salud humana: desarrollo del cerebro, del sistema nervioso central, retina; así como prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares, enfermedades inflamatorias atribuidos a los aceites marinos se relacionan principalmente a su alto contenido relativo de EPA y DHA que alcanza valores entre 24 - 33% del total de ácidos grasos del aceite de pescado (Vásquez 2001). Además, presentan propiedades vasodilatadoras y generan moléculas que resuelven la inflamación denominadas resolvinas (Gatica 2011). Según Valenzuela

et al. (2011) en los humanos y en animales las dietas ricas en EPA y DHA aumentan la proporción de estos ácidos grasos en las membranas lo cual, por un efecto de competencia, disminuye la generación de los productos pro-inflamatorios derivados del AGPI n-6.

Según Morales *et al.* (2012) EPA y DHA también tienen efectos benéficos en adultos ya que además de sus efectos antiinflamatorios incrementan el metabolismo de las grasas en el organismo disminuyendo los niveles de triglicéridos circulantes y aumentando los niveles de colesterol HDL (colesterol bueno). Considerando la creciente evidencia acerca de los efectos benéficos de EPA y DHA sobre la salud humana, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) han establecido recomendaciones para el consumo de estos AGPI para las poblaciones adulta e infantil (Tabla 1) y se ha establecido un índice óptimo de consumo de AGPI n-6/ AGPI n-3 de 5/1.

Tabla 1. Ingesta recomendada de EPA y DHA para individuos de distintas condiciones y edades.

Condición	Ingesta recomendada de EPA y DHA
Adulto	0,250 g/día (EPA+DHA)
Mujer embarazada y lactancia	0,3 g/día (EPA+DHA) con al menos 0,2 g/día de DHA
Infante (6-12 meses edad)	10-12 mg/kg peso (DHA)

Fuente: FAO (2010)

Varias fuentes de información sugieren que los seres humanos evolucionaron de una dieta con una proporción de AG esenciales n-6/n-3 de aproximadamente 1, a dietas como las occidentales con una proporción de 15/1 – 16.7/1.

Las dietas occidentales son deficientes en AGPI omega-3 y tienen cantidades excesivas de ácidos grasos omega-6 en comparación con la dieta en la que evolucionaron los seres humanos y se establecieron sus patrones genéticos. Cantidades excesivas de n-6 y una proporción muy alta de n-6/n-3, como se encuentra en las dietas occidentales actuales, promueven la patogenia de muchas enfermedades, incluidas las enfermedades cardiovasculares, el cáncer y las inflamatorias y autoinmunes, mientras que los niveles elevados de ácidos grasos n-3 (una proporción baja de n-6/n-3) ejercen efectos supresores.

2.8. FUENTES DE LÍPIDOS PARA PECES DE AGUA DULCE

Los lípidos tienen un papel esencial en la nutrición de peces ya que constituyen una importante fuente de energía no-proteica y de vitaminas liposolubles, además de tener un efecto en el ahorro de proteína de los alimentos. El aceite de pescado es la mejor y principal fuente de lípidos en alimentos acuícolas por su contenido de ácidos grasos poliinsaturados (García *et al.* 2010).

Según la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica – OTCA, en su publicación de piscicultura amazónica con especies nativas, se expone lo siguiente: Que los peces de agua dulce, en general, requieren más concentración de ácido alfa linolénico (ALA) que de ácido linoleico (AL). Sin embargo, peces tropicales como la "gamitana", el "paco" y el "sábalo cola roja", crecen mejor cuando son alimentados con dietas que contienen una mezcla de ambos ácidos que son esenciales para peces tropicales y deberían ser incorporados a niveles por lo menos de uno por ciento del alimento. Cuando una dieta contiene niveles muy altos de grasa, puede causar su acumulación en el pez, perjudicando inclusive su sistema metabólico y su presentación en el mercado.

Los aceites de origen marino tienen una composición en ácidos grasos bastante más compleja en ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, principalmente EPA y DHA (FAO 1994). En la Tabla 2 se observa el perfil de ácidos grasos de los insumos utilizados en el presente experimento.

Tabla 2. Perfil de ácidos grasos de las fuentes lipídicas utilizados en el experimento.

Ácidos grasos		gramos / 100 gramos			
		Ac. Pescado	Ac. Palma	Ac. Maíz	Ac. Soya
Ácido palmítico	C16:0	17,6	43,5	10,7	10,7
Ácido esteárico	C18:0	2,5	4,3	2,8	3,6
Ácido oleico	C18:1	12,2	36,6	26,1	22
Ácido linoleico	C18:2	2,2	9,1	57,7	56
Ácido linolénico	C18:3	-	0,2	2,2	7

Fuente: FAO (2013)

Por otro lado, la calidad final del pescado de acuicultura es un reflejo de su alimentación, sobre todo en lo referente al nivel total de lípidos y al perfil de ácidos grasos, por lo que la utilización de piensos con adecuados niveles de energía y omega-3, sobre todo en las fases finales, es fundamental (Cerdeira 2012).

2.9. LA HARINA DE PESCADO COMO FUENTE ADICIONAL DE ÁCIDOS GRASOS POLIINSATURADOS

La harina de pescado presenta claras conveniencias si se compara con las otras harinas de origen vegetal y animal. Entre estas ventajas se pueden mencionar las siguientes; Alto contenido de proteínas (65 a 70%) cifra superior por ejemplo a la de las sojas (45%), harinas de carne y hueso (50 a 55%). Además, las harinas de pescado bien elaboradas presentan factores de digestibilidad en vivo superiores a la de los productos en competencia, ya que en el caso de las harinas especiales el porcentaje de digestibilidad de proteínas es superior al 90%. Los aminoácidos esenciales presentan un contenido más alto en las harinas de pescado en comparación con sus competencias, siendo además muy ricas en aminoácidos tales como la lisina, la metionina, la cistina y la cisteína. Su contenido vitamínico es superior al de los productos de la competencia, principalmente en lo que se relaciona al complejo vitamínico B y al contenido de vitamina D (este último solo se presenta en las harinas de pescado). En cuanto al contenido de sustancias minerales también es un producto aventajado ya que es rico en elementos oligodinámicos tales como el calcio, el fósforo, el hierro y el selenio.

Al tener en su composición las harinas de pescado un 10% aproximado de materia grasa, ésta le da claramente una ventaja sobre todos los demás productos de origen vegetal y animal, ya que esta materia grasa contiene en su formulación ácidos grasos de cadena larga (hasta 22 átomos de carbono) con elevada insaturación (5 a 6 insaturaciones) y de conformación Omega 3. Los principales ácidos grasos de este tipo son el EPA y el DHA, ácidos grasos que no se encuentran presentes ni en los alimentos proteicos vegetales ni animales (Zaldívar 2002).

La presencia de ácido linolénico en la harina de pescado es mínima, considerando que el aceite de pescado contiene 0.13% de este ácido en su composición.

2.10. ACEITES VEGETALES COMO REEMPLAZO DEL ACEITE DE PESCADO

Estimaciones recientes sugieren que la industria de la acuicultura mundial utiliza aproximadamente 2.5 millones de toneladas métricas (mtm) de harina de pescado y 0.7 mtm de aceite de pescado, lo que representa 40 y 60% respectivamente de la producción global (Mourente y Bell 2006).

Uno de los ingredientes utilizados en la formulación de alimentos para peces es el aceite de pescado que proviene principalmente de la anchoveta (*Engraulis ringens*) y se utiliza para suministrar energía dietética y ácidos grasos esenciales, sin embargo, este insumo ha alcanzado la meseta de su producción, además que es un recurso finito (Wing-Keong 2002). La sostenibilidad de la acuicultura se basa en mantener insumos también sostenibles, en este sentido, identificar fuentes lipídicas es una prioridad.

El uso tradicional de los aceites de pescado que contienen una alta proporción de AGPI en los alimentos balanceados comerciales, hacen que estos alimentos sean altamente susceptibles a la oxidación y la subsiguiente rancidez. Esto es especialmente problemático para los alimentos de salmónidos que pueden contener hasta 40% de aceite en la dieta. La alimentación con aceites rancios provoca efectos perjudiciales de la peroxidación de los lípidos en las biomembranas celulares (Wing-Keong 2007).

El aceite crudo de palma contiene cerca del 48% de ácidos grasos saturados y las bajas concentraciones de APGI le dan una excepcional resistencia a la oxidación. Juntos con los efectos protectores de los potentes antioxidantes naturales (carotenoides y vitamina E) presentes en el aceite de palma, la incidencia de la rancidez en el alimento podría ser sustancialmente reducido cuando el aceite de palma es usado en las formulaciones de los alimentos balanceado. El uso de aceite crudo de palma en dietas de alto contenido de grasas es una vía práctica y más económica para producir dietas de alta energía, sin el alto riesgo de la rancidez del alimento. Estos alimentos podrían ser por consiguiente almacenados por largo tiempo, mientras que mantienen su frescura y palatabilidad. El aceite de palma es una fuente superior de energía en la dieta. Los estudios *in vitro* realizados en la β -

oxidación mitocondrial en peces sugiere que existe una preferencia del sustrato para los ácidos grasos saturados y monoinsaturados sobre los AGPI. A diferencia de los aceites vegetales de soya o semilla de colza, que contienen un alto contenido de AGPI, el aceite de palma contiene un abundante abastecimiento de saturados (48%) y monoinsaturados (42%) (Wing-Keong 2007).

El aceite de soya representa una fuente energética muy importante dentro de los ingredientes para la formulación de alimentos balanceados, constituye aproximadamente el 18% de la soya integral en base seca. El aceite de soya es relativamente estable a la oxidación.

Los investigadores norteamericanos Aaron Watson y Allen Place responsables del Center for Environmental Science's Institute for Marine and Environmental Technology de la Universidad de Maryland han conseguido una dieta completamente vegetariana para peces de acuicultura marina. Así, mediante una combinación de harinas (maíz, soya y trigo) y aceites (aceite de soya, aceite de canola y extractos de algas en combinación con aminoácidos como la taurina), demostraron que “una combinación, completamente a base de plantas puede favorecer el crecimiento rápido de carnívoros marinos como la cobia y la dorada, especies que son capaces de alcanzar la madurez tan bien, o incluso mejor, que con dietas convencionales de harina de pescado y aceite de pescado a base de pescado salvaje” (IPAC 2013).

2.11. ANTECEDENTES DE MODIFICACIÓN DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS

Los principales lugares de almacenaje de los lípidos en los peces son el hígado, el tejido adiposo peri visceral o el músculo, única parte realmente comestible. En numerosas especies (trucha, carpa, solla pez gato americano, rodaballo, dorada...) las dietas con un fuerte contenido lipídico, sobre todo si son distribuidas *ad libitum*, conducen a modificaciones de la composición corporal: en la materia fresca, los depósitos lipídicos crecen porcentualmente mientras que el contenido de agua disminuye y el contenido proteico, por lo general, permanece invariable.

Sin embargo, la relación entre el contenido lipídico del alimento y el contenido lipídico del esqueleto es menos simple de lo que podría parecer. Si las dietas se comparan sobre la base de una misma ración energética, la influencia es

relativamente reducida. Por el contrario, si se comparan sobre la base de una misma ración alimenticia, las dietas más ricas en lípidos conllevan consumos mayores de energía y de lípidos y pueden conducir a un aumento considerable del contenido graso. Los diferentes compartimentos corporales no reaccionan de la misma manera. En el caso de la trucha, el contenido de lípidos en los músculos puede pasar de 5 a 15 %. Los lípidos periviscerales aumentan aún más. Son por tanto estos últimos tejidos los responsables del contenido graso de todo animal. En los peces marinos como el bacalao, aunque también en la lubina y en la dorada, donde es el hígado el que cumple esta función, el contenido graso de este órgano puede conducir a una esteatosis (acumulación de triglicéridos en el hígado). Este estado, reversible y no patológico, también puede reflejar un simple sobreconsumo de energía y no un exceso de lípidos alimentarios. En otras palabras, es el lugar preferencial de almacenamiento el que resulta más influenciado. También existe una fuerte influencia por la edad: el contenido lipídico de los músculos dorsales y ventrales son mayores en los peces de mayor tamaño. Las diferentes clases de lípidos no repercuten de igual manera sobre el aumento de los lípidos tisulares: el contenido de fosfolípidos permanece casi constante mientras que los triacilgliceroles son responsables de la casi totalidad del aumento observado.

La utilización de alimentos ricos en lípidos llamados “de alta energía” o “ecológicos” requiere mucha precaución, particularmente en lo que concierne a la gestión de la alimentación. Ésta debe basarse esencialmente en la cantidad de energía digestible (y no de alimento) distribuido; debe buscar no sólo la optimización de los resultados zootécnicos sino también la conservación del medio ambiente y el mantenimiento de la calidad de la carne. Más concretamente, debe realizarse de modo que estos alimentos no provoquen excesivos depósitos lipídicos.

Al contrario de lo que sucede con el aporte cuantitativo de los lípidos alimentarios, su naturaleza no tiene repercusión en el engorde total del pez, ni el contenido lipídico de los músculos. Sin embargo, la naturaleza y el contenido en materias grasas sí que influye de manera considerable en la composición de ácidos grasos en los lípidos corporales. Cuanto más elevado sea el aporte de lípidos alimentarios, más se verá refrenada la síntesis *de novo* de los ácidos grasos y tendrá lugar el depósito de ácidos grasos exógenos. Por tanto, como en otras especies, la composición de los ácidos grasos corporales refleja la de los lípidos alimentarios.

Así, por ejemplo, en la trucha alimentada con dietas que contenían una parte importante de aceite de maíz (8%) se observaron fuertes contenidos de 18:2 n-6 en la carne mientras que, con un alimento a base de aceite de pescado, predominan esencialmente los n-3. Por lo general, los peces de cultivo alimentados con alimentos comerciales que contienen aceites vegetales o simplemente productos vegetales no desengrasados, tienen cantidades de ácidos grasos n-6 más elevados que sus congéneres salvajes. No obstante, las variaciones en la composición de ácidos grasos en los tejidos son menores que las que se dan en los alimentos. En efecto los peces modulan la composición lipídica de sus propios tejidos mediante reacciones de elongación-desaturación y la retención selectiva de ciertos ácidos grasos, particularmente depositando los ácidos grasos poliinsaturados de forma muy eficaz. Esta regulación es tanto más eficaz cuando el engorde es limitado, ya que, en estas condiciones, la parte de los fosfolípidos que tienen una composición relativamente constante es mayor (Guillaume *et al.* 2004).

Según Moreno (2013), numerosos estudios han puesto de manifiesto la importancia de la inclusión de lípidos en las dietas para peces ya que son una fuente rica de AGPI, especialmente los de la serie n-3. Además, indica que es posible, mediante el enriquecimiento de la dieta con AGPI n-3, modificar el perfil de AG en los tejidos de peces de agua dulce, favoreciendo la relación n-6/n-3, y que el tiempo necesario para generar este efecto es de 45 días obteniendo buenas relaciones n-6/n-3.

Según Perez *et al.* (2007), los peces de agua dulce, como la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), carpa común (*Cyprinus carpio*), bagre americano (*Ictalurus punctatus*), tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*), entre otros, presentan mayor actividad, frente a los peces marinos, de una serie de enzimas capaces de modificar el perfil de ácidos grasos presentes en la dieta, así como los productos de su biosíntesis. Esto significa que muchas de esas especies pueden transformar un determinado ácido graso en su correspondiente de cadena más larga, con gran eficiencia.

En la dieta se obtienen todos los ácidos grasos, desde saturados, insaturados, trans, de cadena corta, media, larga y muy larga. Aunque sin duda, los ácidos grasos poliinsaturados, y en especial los ácidos grasos n-6 y n-3, se consideran en la actualidad como los de mayor relevancia dado que además de aportar energía, se

pueden biotransformar, generando componentes bioactivos con variadas acciones fisiológicas (Sanhueza *et al.* 2015).

2.12. SÍNTESIS ENDÓGENA Y BIOCONVERSIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS

Según Machado y Possebon (2012), todos los organismos vivos poseen la habilidad de sintetizar ácidos grasos *de novo*, como los saturados 16:0 y 18:0, a través de la adición o retiro de dos unidades de carbono, y posteriormente producir los ácidos grasos monoinsaturados 16:1 n-7 y 18:1 n-9.

Sin embargo, ningún vertebrado posee las enzimas $\Delta 12$ y $\Delta 15$ desaturasas, necesarias para la síntesis de ácidos grasos linoleico (AL) (18:2 n-6) y ácido alfa linolénico (ALA) (18:3 n-3) a partir del 18:1 n-9, lo que los caracteriza como ácidos grasos esenciales (Tocher *et al.* 2006).

Entretanto, la eficiencia en que los precursores ácido graso linoleico (AL) y ácido alfa linolénico (ALA) son convertidos en ácido araquidónico (AA), ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA) respectivamente, varía mucho entre las especies y puede ser regulada por las calidades de los lípidos disponibles en la dieta natural, con la temperatura y salinidad del ambiente.

Los metabolitos de AL y ALA, AA, EPA y DHA, son los ácidos grasos precursores de las moléculas biológicamente activas, necesarias para muchos procesos fisiológicos, siendo considerados esenciales cuando no son sintetizados por el organismo o cuando su ácido graso C18 homólogo no cumple con el requisito de ácido graso esencial. Las deficiencias dietéticas de ácidos grasos esenciales pueden disminuir el crecimiento y aumentar la mortalidad, más allá de desarrollar patologías como la erosión de las aletas (principalmente la caudal), palidez y aumento del volumen del hígado, miocarditis, lordosis, reducción del potencial reproductivo y síndrome de choque (NRC 1993; Sargent *et al.* 2002; Glencross 2009; citados por Machado y Possebon 2012).

En peces, la síntesis de ácidos grasos AG tiene lugar esencialmente en el hígado por medio del complejo AG sintetasa. Este complejo enzimático presenta numerosas similitudes (peso molecular, propiedades cinéticas) con el de mamíferos. Los principales AG neosintetizados son el palmitato (16:0), el estearato (18:0) y el miristato (14:0) en diferentes proporciones según las especies. Por ejemplo, en la trucha, el AG dominante (57%) es el 16:0 seguido del 14:0 (29%), mientras que en

la carpa estos dos AG se sintetizan en proporciones similares (41 y 37% respectivamente). Por el contrario, en varias especies marinas (solla, platija), el 16:0 y el 18:0 son los AG mayoritarios. Los peces, igual que el resto de los vertebrados, no pueden sintetizar *de novo* los ácidos linoleico (18:2 n-6) y alfa linolénico (C18:3 n-3). Estos dos AG poliinsaturados, o sus derivados de cadena larga deben ser aportados con la alimentación y, por tanto, tienen carácter esencial.

Los AG neosintetizados o aportados por la alimentación pueden ser transformados (bioconvertidos) en AG de cadena más larga o más insaturados, al menos en cierta medida. Los AG monoinsaturados (ácidos palmitoleico, 17:1 n-7 y oleico, 18:1 n-9) se sintetizan a partir de los AG saturados correspondientes por la acción de una $\Delta 9$ desaturasa. En el caso de los AG poliinsaturados, la bioconversión comprende elongaciones (incorporación de 2 carbonos) y desaturaciones (incorporación de un doble enlace) acometidas sucesivamente por las $\Delta 6$, $\Delta 5$ y $\Delta 4$ desaturasas (Figuras 3 y 4). Los sistemas de desaturación y de elongación no se han caracterizado completamente en peces. No obstante, las desaturasas, al igual que otras enzimas implicadas en el metabolismo de los lípidos, son bastante poco específicas. Tienen afinidad para las series de AG que disminuyen de la serie n-3 a la serie n-9. De este modo, los substratos preferenciales de la $\Delta 6$ desaturasa son: 18:3 n-3 > 18:2 n-6 > 18:1 n-9. Asimismo, los AG poliinsaturados como el 22:6 n-3 ejercen una retroinhibición sobre la $\Delta 6$ desaturasa. La aparición del AG poliinsaturado n-9, que sólo se observa en peces de agua dulce, únicamente se produce en caso de deficiencia de 18:2 n-6 y 18:3 n-3; constituye un signo carencial. Finalmente se debe mencionar, por haber sido señalado en la rata, que probablemente la $\Delta 4$ desaturasa y enzimas de elongación – reducción de las cadenas. Este complejo permite pasar de 22:5 n-3 a 22:6 n-3 por medio de 24:6 n-3.

Según Lee *et al.* (2015), la fuente de carbono para la síntesis endógena de nuevos lípidos vía lipogénesis es el Acetil-CoA, el cual es producido en las mitocondrias a través de la descarboxilación oxidativa del piruvato (fuente de carbohidrato) o a partir del catabolismo oxidativo de algunos aminoácidos (fuente de proteínas). La primera ruta de lipogénesis es la síntesis de ácidos grasos, catalizado por el citosólico, complejo multienzimático de ácido graso sintetasa, el cual produce ácidos grasos saturados, principalmente 16:0 y 18:0. Los ácidos grasos monoinsaturados, tales como el 18:1 n-9 y 16:1 n-7, son producidos a través de la

actividad de $\Delta 9$ estearoil CA desaturasa microsomal. Ácidos grasos saturados y monoinsaturados de cadena larga, tales como el 20:0 y 20:1 n-9, son producidos por la acción de elongasas de acilo graso. Ácidos grasos monoinsaturados no pueden ser más desaturados debido a que los AG poliinsaturados no pueden ser sintetizados *de novo* por ningún vertebrado; además, los AG poliinsaturados pueden ser más elongados y desaturados por la acción específica de una desaturasa de acilo graso y enzimas elongasas de acilo graso (Figura 3).

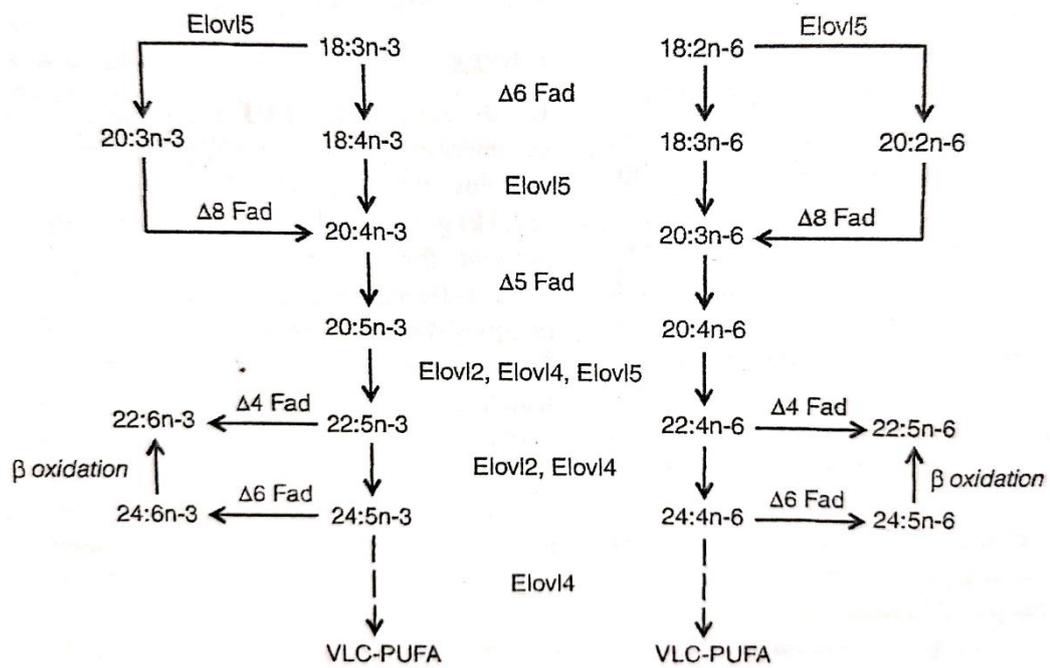


Figura 3. Posibles rutas biosintéticas para ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LC-PUFA) y ácidos grasos poliinsaturados de cadena muy larga (VLC-PUFA; C₂₆-C₃₆) en peces.

Fuente: Lee *et al.*, (2015)

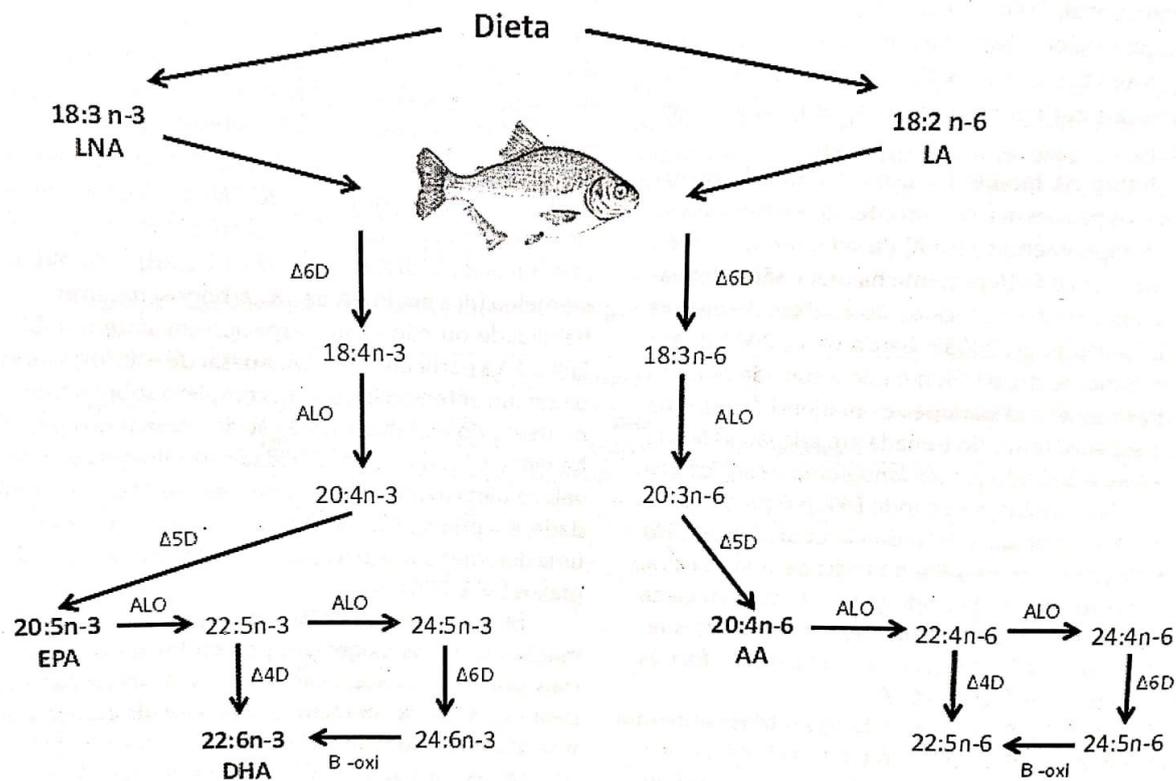


Figura 4. Esquema de la vía metabólica de ácidos grasos
 Izquierda: Eicosapentanoico (EPA) (20:5n-3) y docosaexanoico (DHA) (22:6n-3) a partir de ácido graso precursor, alfa linoléico (ALA) (18:3n-3).
 Derecha: síntesis de ácido araquidónico (AA) (20:4 n-6) a partir del precursor linoleico (LA) (18:2 n-6). Una desaturación de cadena carbónica es realizada por las enzimas $\Delta 6$ desaturasa ($\Delta 6D$), $\Delta 5$ desaturasa ($\Delta 5D$), $\Delta 4$ desaturasa ($\Delta 4D$), en cuanto que el elongamiento, por la enzima elongasa (ALO) y la oxidación, por la enzima beta-oxidasa (β -oxi).

Fuente: Machado y Possebon (2012).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR Y DURACIÓN DE LA EVALUACIÓN

El trabajo de investigación tuvo una duración de dos meses y se llevó a cabo en las instalaciones del centro de producción de peces amazónicos de la empresa Acuicultura y Pesquera Calicanto S.R.L ubicada en la región Ucayali.

3.2. INSTALACIONES Y EQUIPOS

Se utilizaron como unidades experimentales cinco corrales de 25 metros cuadrados cada uno, instalados dentro de un estanque de tierra.

3.2.1. Equipos

Durante el manejo de los pacos se utilizaron tinas de plástico para el control biométrico, balanza electrónica digital marca RESHY con 0.1 g de precisión y capacidad de 10 kg, utilizada en el pesaje del alimento suministrado y obtención del peso individual de cada paco, además de un ictiómetro, para medir la talla de los peces y de esta manera obtener el incremento de talla total de la respectiva unidad experimental.

Además, Los análisis físicos y químicos del agua se realizaron in situ utilizando un kit de análisis de agua HANNA instruments®.

3.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ANIMALES EXPERIMENTALES

Se trabajaron con 90 pacos de peso de 200 g, provenientes de la empresa Acuicultura y Pesquera Calicanto S.R.L. Previamente seleccionados, pesados y distribuidos al azar en los corrales (18 peces en cada corral).

3.4. DISTRIBUCIÓN DE TRATAMIENTOS

Se evaluaron cuatro dietas con diferentes tipos de aceites y una dieta comercial

Tabla 3. Distribución de las unidades experimentales y tratamientos en un estanque

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4	Tratamiento 5
18 peces alimentados con Alimento comercial	18 peces alimentados con dieta incluyendo aceite de palma	18 peces alimentados con dieta incluyendo aceite de maíz	18 peces alimentados con dieta incluyendo aceite de soya	18 peces alimentados con dieta incluyendo aceite de pescado

3.5. ELABORACIÓN DE DIETAS EXPERIMENTALES

Se trabajó con una formulación para peces omnívoros recomendada por Tacon (1989). En la Tabla 4 se detalla el nivel de inclusión de cada ingrediente y la composición química proximal calculada mediante la metodología de prueba error utilizando una hoja de cálculo.

A partir de esta formulación se elaboraron las cuatro dietas experimentales que contemplan la misma cantidad de los insumos proteicos y energéticos. Se modificó únicamente la fuente de lípidos según los tratamientos mencionados anteriormente.

Los requerimientos de lípidos son menores para peces omnívoros, debido a su mayor capacidad de utilizar carbohidratos como fuente de energía.

Castagnioli (1991), menciona que los lípidos se constituyen en fuentes de energía de aprovechamiento inmediato para los peces. En la formulación es conveniente usar valores moderados de grasas, entre seis y ocho por ciento. Cuando una dieta contiene niveles muy altos de grasa, puede causar su acumulación en el pez, perjudicando inclusive su sistema metabólico y su presentación en el mercado.

Las cuatro formulaciones se procesaron en el Laboratorio de Acuicultura de la Facultad de Pesquería, de la Universidad Agraria la Molina, se utilizó una mezcladora de panificación para la mezcla de los insumos, añadiendo agua a temperatura de 80 °C para acondicionar la mezcla para su posterior paso por la moladora de carne que cumplió el proceso de pelletización. El secado se realizó en un secador estático a 60 °C por seis horas.

Con el objetivo de comparar el perfil de ácidos grasos en filete de paco, alcanzado con una dieta comercial, se utilizó como dieta control el alimento de la marca Aquatech, específico para la alimentación de gamitanas y pacos.

Tabla 4. Nivel de inclusión de los insumos evaluados en la formulación de los tratamientos experimentales

Ingredientes (%)	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	Dieta 4
	Ac. Palma	Ac. Maíz	Ac. Soya	Ac. Pescado
Harina de pescado	25	25	25	25
Harina de soya	18	18	18	18
Harina de maíz	28	28	28	28
Harinilla trigo	16	16	16	16
Aceite de palma	8	-	-	-
Aceite de maíz	-	8	-	-
Aceite de soya	-	-	8	-
Aceite de pescado	-	-	-	8
Prémix	0,5	0,5	0,5	0,5
Fosfato di cálcico	2	2	2	2
Antioxidante	0,02	0,02	0,02	0,02
Lisina	0,3	0,3	0,3	0,3
Inhibidor de hongos	0,2	0,2	0,2	0,2
Cloruro de colina	0,22	0,22	0,22	0,22
CMC	1,31	1,31	1,31	1,31
Sal	0,4	0,4	0,4	0,4
Total	100	100	100	100
Composición química proximal (%)				
Proteína	29,0	29,0	29,0	29,0
Grasa	12,8	12,8	12,8	12,8
Chos	34,3	34,3	34,3	34,3
Ceniza	10,3	10,3	10,3	10,3
Fibra	1,6	1,6	1,6	1,6
Humedad	12,0	12,0	12,0	12,0
Energía bruta (kcal/kg)*	4611,60	4565,10	4497,30	4582,30

* Resultados de análisis por calorimetría

3.6. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DURANTE EL EXPERIMENTO

3.6.1. Suministro de alimento

El suministro del alimento se realizó en dos raciones diarias, ofrecidas a las 8:00 am, y 2:00 pm, asegurándose que todo el alimento ofrecido sea ingerido por los peces. La cantidad aumentó de acuerdo con el crecimiento de los peces.

3.6.2. Evaluación de parámetros de producción de paco

Durante el experimento se realizaron biometrías quincenales; donde se capturaron todos los peces de cada corral, estos peces fueron trasladados a una tina conteniendo agua del estanque, para luego medir la talla y peso de cada pez. Inmediatamente después de la medición los peces fueron devueltos a su corral. Con los datos recolectados se evaluaron los principales parámetros de producción; tasa específica de crecimiento, tasa de crecimiento absoluto y relativo, factor de conversión del alimento FCA, factor de condición K y supervivencia.

3.6.3. Tasa de crecimiento

Se calculó la tasa específica de crecimiento, tasa de crecimiento absoluto, y relativo de acuerdo con lo propuesto por Wootton (1991).

$$\text{Tasa específica de crecimiento (\% día}^{-1}\text{)} = \frac{(\log \text{ peso final} - \log \text{ peso inicial}) \times 100}{\text{Tiempo}}$$

Donde: Log = logaritmo natural

$$\text{Tasa de crecimiento absoluto} = (Y_2 - Y_1) / (t_2 - t_1)$$

$$\text{Tasa de crecimiento relativo} = (Y_2 - Y_1 / Y_1 (t_2 - t_1) \times 100$$

Donde: Y1 y Y2 peso o talla al inicio y al final del experimento.

t1 y t2 tiempo al inicio y al final del experimento.

3.6.4. Factor de conversión del alimento (FCA)

El factor de conversión alimenticia (FCA) se determinó calculando los gramos de alimento consumido, por cada gramo de peso corporal ganado (Kilambi y Robinson 1979). Esta variable productiva de desempeño del cultivo se determina en base a la fórmula empleada por Melo *et al.* (2001), Chu-Koo y Kohler (2005) y Almeida *et al.*

(2008), en diferentes experiencias de engorde de *Colossoma* y *Piaractus* (Andrade *et al.* 2011).

FCA= (Alimento ingerido (mg peso seco) /peso húmedo ganado (mg).

(Kilambi y Robinson 1979).

3.6.5. Factor de condición (K)

Partiendo de la base, que el crecimiento de un organismo implica un cambio de tamaño a través del tiempo, este cambio también puede expresarse en peso. Como para los peces la medida más frecuentemente registrada es la longitud se utiliza un modelo que relacione estas dos medidas. El modelo de considerar es el isométrico, denominado factor de condición (K) indica el estado nutricional del pez. Este factor se determina relacionando el peso observado del pez en gramos y la longitud total observada en centímetros a través de la fórmula siguiente:

$$\text{Factor de condición de (K)} = \frac{100 \times \text{peso en gramos}}{(\text{Longitud en cm})^3} \quad (\text{Le Cren 1951})$$

3.6.6. Evaluación de parámetros de calidad de agua en el cultivo de paco

La evaluación de los parámetros de calidad de agua se realizaron *in situ*. Para cada evaluación se tomó una muestra de agua del estanque y se analizaron los diferentes parámetros de calidad de agua según la frecuencia de cada análisis que se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5. Frecuencia de la evaluación de parámetros de calidad de agua

Parámetro	Método	Equipo	Frecuencia	Lugar de muestreo
Oxígeno disuelto	Electrodos	YSI 550 ^a	Diario	<i>In situ</i>
Dióxido de carbono	Titulación	HI 3817BP, HANNA®	Semanal	<i>In situ</i>
Alcalinidad como CaCO ₃	Titulación	HI 3817BP, HANNA®	Semanal	<i>In situ</i>
Dureza como CaCO ₃	Titulación	HI 3817BP, HANNA®	Semanal	<i>In situ</i>
Nitritos	Titulación	HI 3817BP, HANNA®	Semanal	<i>In situ</i>
Temperatura	Electrodos	YSI 550 ^a	Diario	<i>In situ</i>
pH	Electrodos	HI 3817BP, HANNA®	Diario	<i>In situ</i>

3.6.7. Determinación de la composición química proximal de las dietas experimentales

Se determinó la composición química proximal de las dietas experimentales y el alimento comercial en el laboratorio de la Empresa Intertek Testing Services Perú S.A.

Los métodos de ensayo aplicados en el laboratorio fueron:

Proteína cruda: Según Norma Técnica Peruana, ISO 5983:2002 (revisada el 2013) (Validado) 2002 Alimentos Para Animales. Determinación del contenido de nitrógeno y cálculos del contenido de proteína cruda. Método Kjeldahl.

Grasa cruda: Según Norma AOAC 920.39 (Validado) 2012 Fat (Crude) or Ether Extract in Animal Feed. Direct Method.

Humedad: Según Norma Técnica Peruana - ISO 6496. Items 8.1.2, 8.2 (Revisada el 2016) 2011 Alimentos Para Animales. Determinación del contenido de humedad y de otra materia volátil.

Ceniza: Según Norma AOAC 942.05, 18th Ed., Rev. Online. 2008 Ash of Animal Feed

Fibra cruda: Según Norma AOCS Official Method Ba 6-84. 6th Edition, Rev. Online. 2009 Crude Fiber by Procedure Using Glass Wool.

3.6.8. Determinación de la energía bruta en las dietas experimentales

Se determinó la cantidad de calor (energía bruta), medida en calorías, mediante el principio de la oxidación total de una muestra de las dietas (combustión total) en una bomba calorimétrica. Cuando se realiza la combustión física total del alimento los azúcares se oxidan completamente a CO₂ y H₂O, y todo su contenido energético se libera en forma de calor. En el organismo tiene lugar exactamente la misma oxidación: $\text{Glucosa} + 6 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$

Los análisis de energía bruta se realizaron en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) de la facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

3.6.9. Determinación de la composición química proximal de los filetes de paco

Para realizar los análisis de composición química proximal de los filetes, al momento de la selección de los peces, se reservó un pez de 200 g para enviarlo al laboratorio, siendo esta primera muestra el punto de referencia inicial del experimento. Posteriormente al término del experimento, a los 60 días, se extrajo al azar un pez con peso promedio de 340 g de cada tratamiento para su envío al laboratorio.

La preparación del pez antes de enviar al laboratorio consistió en sacrificarlo por conmoción, eviscerar, filetear, retirar la piel y colocarlo dentro de bolsas con cierre hermético. Cada bolsa con los dos filetes provenientes de un pez (con un rendimiento del 50% para filetes), se ubicó dentro de una caja de tecnopor acompañado de gel pack para mantener la temperatura por debajo de los 10°C hasta su llegada al Laboratorio de la Empresa Intertek Testing Services Perú S.A. en la ciudad de Lima, donde se realizaron los siguientes análisis químicos proximal de los filetes de paco antes y después del experimento:

Proteína; Según COVENIN 1195 1980 Alimentos. Determinación de Nitrógeno. Método Kjeldahl.

Grasa Total: Según Norma Técnica Peruana 201.016. 2002. Carne y Productos Cárnicos. Determinación del contenido de grasa total.

Humedad: Según NOM-116-SSA1-1994. Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico. Método por arena o gasa.

Ceniza: Según norma AOAC 938.08 18th Edition. 2005. Ash of Seafood

Fibra cruda: Según norma AOCS Official Method Ba 6-84. 6th Edition, Rev. Online. 2009 Crude Fiber by Procedure Using Glass Wool.

3.6.10. Determinación del perfil de ácidos grasos poliinsaturados en las fuentes lipídicas, en las dietas de engorde y en los filetes de paco.

La determinación del perfil de AGPI se realizó en los laboratorios de la Empresa Intertek Testing Services Perú S.A.

Las muestras utilizadas para los análisis de ácidos grasos poliinsaturados fueron las mismas que se utilizaron para el análisis químico proximal.

Se determinó el perfil de AGPI de cada fuente lipídica utilizada en la elaboración de cada dieta: aceite de palma, aceite de maíz, aceite de soya y aceite de pescado.

Primero, se aplicó el método rápido de extracción y purificación de lípidos de Bligh y Dyer (1959) que permite que los lípidos de la materia biológica puedan extraerse y purificarse mediante una sola operación (Anexo 1).

Posteriormente, se realizó la determinación de ácidos grasos, de acuerdo la AOCS método oficial Ce 1b-89, aprobado nuevamente en el 2009, para el cual se utilizó un cromatógrafo de gases con sistema de inyección capilar CGC AGILENT 6850 SISTEMA DE GC SERIES, con columna capilar AGILENT TECHNOLOGIES 7890 A GC-System (sílice fundida) de 25 mm de tamaño y 0.35 mm de diámetro interno.

3.6.11. Perfil de ácidos grasos de las fuentes lipídicas

En la Tabla 6 se reporta el perfil de ácidos grasos de las fuentes lipídicas utilizadas para la elaboración de las dietas en el presente experimento. El aceite de pescado es el único insumo que aporta directamente ácidos grasos poliinsaturados a la dieta; ácido araquidónico AA (20:4 n-6), ácido eicosapentaenoico EPA (20:5 n-3) y ácido docosahexaenoico DHA (22:6 n-3), los demás insumos como el aceite de palma, soya y maíz no aportan estos ácidos grasos poliinsaturados. Sin embargo, sí contribuyen con el aporte de ácidos grasos monoinsaturados como el ácido oleico y de ácidos grasos poliinsaturados como linoleico.

Los resultados de la Tabla 6 y la Figura 5 indican que el aceite de palma utilizado en el presente trabajo reportó en su composición una mayor presencia del ácido graso monoinsaturado oleico con 41.70% y del ácido graso saturado palmítico con 39.59%.

Esto concuerda con lo mencionado por Edem (2002); Muller *et al.* (2001); citados por Durand (2015). Estos valores hallados, también coinciden con lo reportado por Rincón y Martínez (2009); ácido graso monoinsaturado oleico (36 - 44 %) y ácido graso saturado palmítico (39.3 – 47.5%). Y con lo reportado por Gesteiro *et al.* (2018); ácido graso monoinsaturado oleico 35.79% y ácido graso saturado palmítico 38.84%.

Con respecto al aceite de maíz, mostró principalmente el ácido graso polinsaturado linoleico en un porcentaje de 55.50%; el ácido graso monoinsaturado oleico en un 28.49% y el ácido graso saturado palmítico en un 11.64%. Valores similares a lo reportado por Delucchi *et al.* (2018); ácido graso polinsaturado linoleico en un porcentaje de 51.60%; el ácido graso monoinsaturado oleico en un 34.20% y el ácido graso saturado palmítico en un 11.40%. Y con lo informado por Hernández *et al.* (1999); ácido graso polinsaturado linoleico en un porcentaje de 55.70%; el ácido graso monoinsaturado oleico en un 20.90% y el ácido graso saturado palmítico en un 14.30%.

El aceite de soya exhibió principalmente el ácido graso polinsaturado linoleico en un porcentaje de 54.04%; el ácido graso monoinsaturado oleico en un 20.96% y el ácido graso saturado palmítico en un 10.82%. Resultados equivalentes fueron reportados por Lafont *et al.* (2014); ácido graso polinsaturado linoleico (52,55 - 53,01%); ácido graso monoinsaturado oleico (22,06 – 23,51%) y el ácido graso saturado palmítico (11,36 – 12,04%). Y con lo informado por Hernández *et al.* (1999); ácido graso polinsaturado linoleico en un porcentaje de 57.00%; el ácido graso monoinsaturado oleico en un 23.40% y el ácido graso saturado palmítico en un 12.00%.

El aceite de pescado utilizado aporta los siguientes ácidos grasos poliinsaturados; araquidónico AA, eicosapentaenoico EPA y docosahexaenoico DHA, en valores de 1.24; 18,54 y 11.74 por ciento respectivamente.

Tabla 6. Perfil de ácidos grasos de las fuentes lipídicas utilizadas para elaborar alimento balanceado para paco.

Carbonos	Ácido graso (%)	Aceite de palma	Aceite de maíz	Aceite de soya	Aceite de pescado
C16:0	Palmítico	39,59	11,64	10,82	15,51
C18:0	Estearico	5,62	1,76	4,36	3,14
C18:1 w9c	Oleico	41,70	28,49	20,96	9,72
C18:2 w6c	Linoleico	10,52	55,50	54,04	1,32
C18:3 w3	Alfa-linolénico	0,30	0,98	7,38	0,78
C20:1w9	Eicosenoico	0,13	0,25	0,18	1,28
C20:4w6	Araquidónico	0,00	0,00	0,00	1,25
C20:5w3	Eicosapentaenoico (EPA)	0,00	0,00	0,00	18,54
C22:6w3	Docosahexaenoico (DHA)	0,00	0,00	0,00	11,74

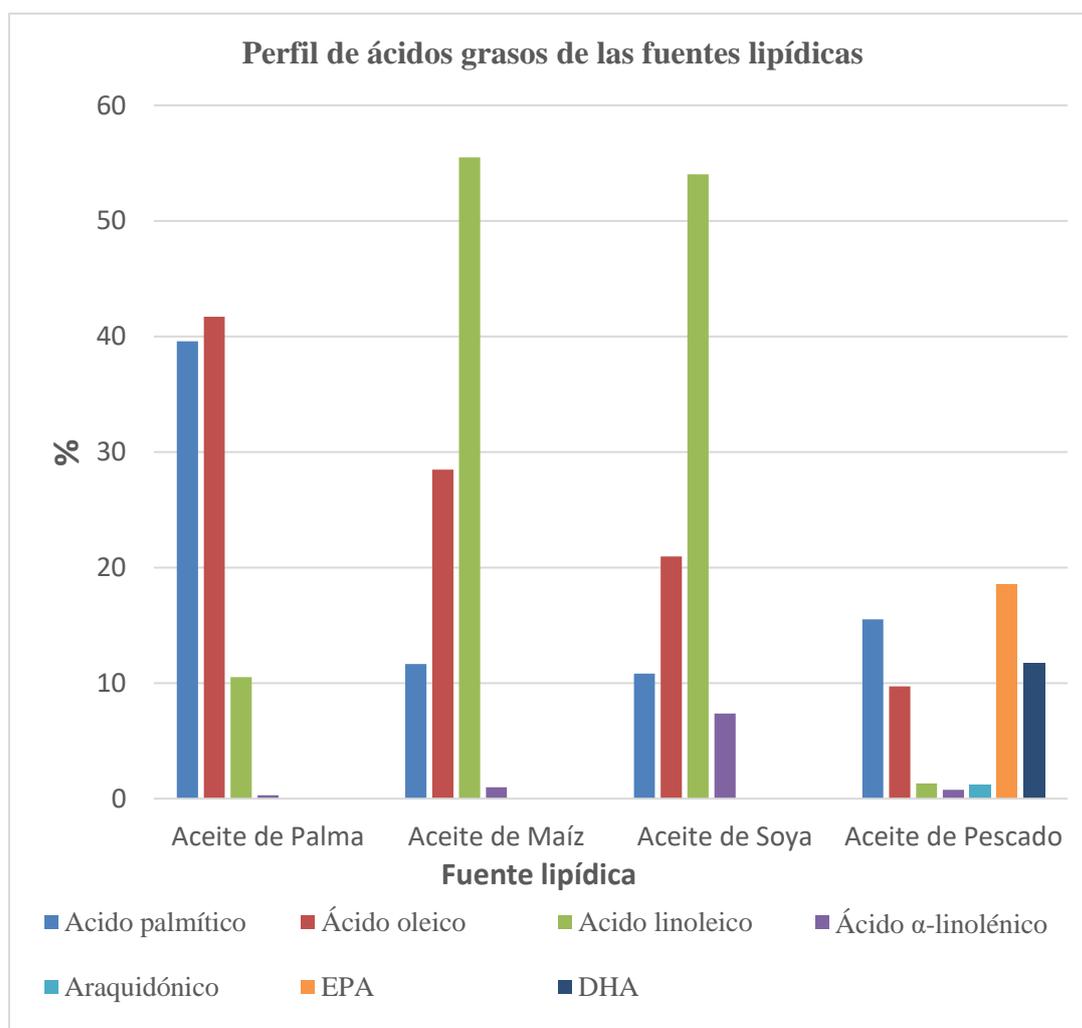


Figura 5. Perfil de ácidos grasos de las fuentes lipídicas

3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL Y DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño experimental corresponde a un Diseño Completamente al Azar con cuatro tratamientos, que fueron las dietas experimentales con diferentes tipos de aceite en su formulación y un tratamiento control representado por un alimento comercial específico para peces amazónicos de la marca Naltech. Cada tratamiento contenía 18 repeticiones conformadas por peces de 200 gramos.

Los tratamientos fueron:

Tratamiento control: Alimento comercial para peces amazónicos

Tratamiento 1: Alimento con inclusión de 8 por ciento de aceite de palma

Tratamiento 2: Alimento con inclusión de 8 por ciento de aceite de maíz

Tratamiento 3: Alimento con inclusión de 8 por ciento de aceite de soya

Tratamiento 4: Alimento con inclusión de 8 por ciento de aceite de pescado

Variable evaluada

La variable evaluada fue el perfil de ácidos grasos poliinsaturados (Omega 3 y Omega 6) en los filetes de paco, en los siguientes momentos:

Al inicio de la experimentación y a los 60 días.

Se utilizó el paquete estadístico Minitab para procesar los resultados obtenidos del perfil de ácidos grasos poliinsaturados (Omega 3 y Omega 6) en los filetes de paco. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza con un nivel de significancia de 0.05 para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos (formulaciones) y posteriormente a una prueba de Tuckey para comparar las medias.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA DURANTE EL CULTIVO DE PACO

Según Salinas (2018), los valores de calidad de agua registrados en el presente trabajo cumplen con los requerimientos ambientales para el paco. En la Tabla 7 se observan los parámetros determinados; como la temperatura promedio del agua de 26°C, un valor relativamente bajo si se toma en cuenta el rango de 28 a 30°C recomendado por Gomes (2009). Sin embargo, el FONDEPES (2004) reporta que la temperatura óptima para el cultivo de especies amazónicas oscila entre 25 y 30°C.

En la Figura 6 se observa el comportamiento de los valores de temperatura durante el tiempo de experimentación, que oscila entre 25.5 y 27°C.

El oxígeno disuelto, con un valor promedio de 5.4 mg/l también está dentro de los requerimientos de la especie, considerando que los peces amazónicos en general se adaptan a bajas concentraciones de oxígeno disuelto como lo demostraron Hernández *et al.* (2007), quienes no observaron adaptaciones morfológicas (prolapso del labio inferior) ni respiración acuática superficial, aun cuando los niveles de oxígeno descendieron a cerca de 2 mg/l. En la Figura 7 se observa el comportamiento de los valores de oxígeno disuelto durante el tiempo de experimentación, que oscila entre 4.5 y 6 ppm.

Otro estudio realizado en la región Ucayali por Gutiérrez *et al.* (1996) registraron un valor de 5.34 mg/l, similar al presente trabajo de investigación. En relación con el pH; el valor de 6.5 también guarda relación con lo determinado por Gutiérrez *et al.* (1996) que registraron un valor de 5.88.

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos de calidad de agua en la producción de paco.

Parámetro	Valor
Temperatura ambiente (°C)	27,0
Temperatura agua (°C)	26,0
Oxígeno disuelto (mg/l)	5,40
pH	6,50
Amonio (ppm)	0,00
Nitrito (ppm)	0,00
Alcalinidad (ppm)	62,00
Dióxido carbono (ppm)	9,0
Dureza (ppm)	32,00
Conductividad eléctrica (Us)	319,00
Solidos totales disueltos (ppm)	312,0

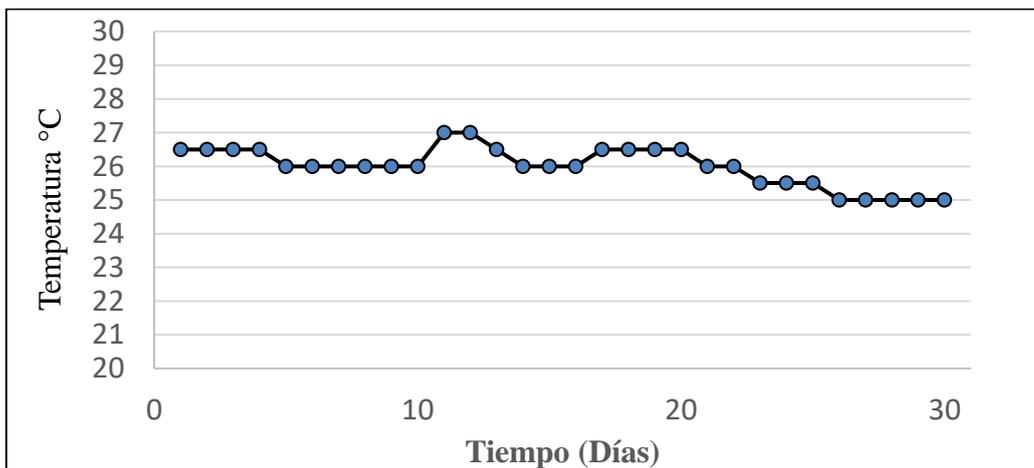


Figura 6. Temperatura del agua del estanque durante los 60 días de experimentación

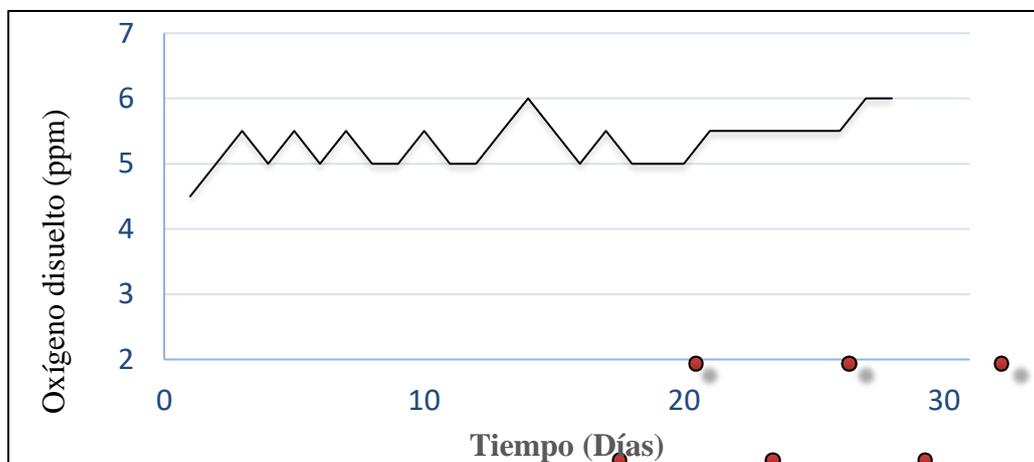


Figura 7. Oxígeno disuelto del agua del estanque durante 60 días de experimentación

4.2. PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE PACO DURANTE EL EXPERIMENTO

En la Tabla 8 se muestra los resultados de los parámetros de producción obtenidos en el transcurso de 60 días de investigación.

Tabla 8. Parámetros de producción de paco, obtenidos durante el periodo de 60 días de alimentación con diferentes fuentes lipídicas

Parámetro	Dieta control Alimento comercial	Dieta 1 Con aceite de palma	Dieta 2 Con aceite de maíz	Dieta 3 Con aceite de soya	Dieta 4 Con aceite de pescado
Peso inicial, g	200	200	200	200	200
Peso final, g	350 +/- 15	345 +/- 19	334 +/- 19	340 +/- 22	335 +/- 15
Ganancia de peso, g	150	145	134	140	135
Alimento consumido, g	262,5	261	268	259	283,5
Factor de Conversión del Alimento	1,75 +/- 0.11	1,8 +/- 0.15	2 +/- 0.17	1,85 +/- 0.21	2,1 +/- 0.25
Factor de Condición	2,53 +/- 0.03	2,59 +/- 0.03	2,71 +/- 0.1	2,52 +/- 0.23	2,58 +/- 0.21
Talla inicial, cm	21	21	21	21	21
Talla final, cm	24	23,7	23,1	23,8	23,5
Tasa Específica de crecimiento, %/día	1,67 +/- 0.14	1,67 +/- 0.07	1,67 +/- 0.11	1,67 +/- 0.08	1,67 +/- 0.14
Tasa de Crecimiento Absoluto, cm/día	0,05 +/- 0.002	0,05 +/- 0.009	0,04 +/- 0.009	0,05 +/- 0.004	0,04 +/- 0.003
Tasa de Crecimiento Relativo, %/día	0,24 +/- 0.11	0,21 +/- 0.02	0,17 +/- 0.02	0,22 +/- 0.02	0,20 +/- 0.02

4.2.1. Peso final

Los datos de peso final, producto de la ganancia de peso en cada tratamiento del experimento, fueron sometidos a un análisis de varianza dando como resultado un p valor de 0.0758, que a un nivel de significancia del 0.05%

indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos con relación al peso final. Sin embargo, se observa que los pacos alimentados con el alimento comercial obtuvieron un valor numérico en peso final de 350 g, mayor a los pesos de 345; 340; 335 y 334 alcanzados por las dietas experimentales con aceite de palma, soya, pescado y maíz respectivamente. Se debe considerar que estas diferencias están relacionadas con el consumo de alimento y factor de conversión. Un peso mayor alcanzado con una cantidad menor de alimento consumido proporciona un menor factor de conversión del alimento, indicando de esta manera una mejor eficiencia del alimento en relación con las demás dietas.

Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para contrastar la normalidad de los datos de peso final, dando como resultado un p valor de 0.1043 que indica que, los datos se ajustan a una distribución normal, en el anexo 4 se observa el histograma correspondiente.

4.2.2. Factor de conversión

Para el factor de conversión del alimento se registraron valores en un rango de 1.75 a 2.1; destacando el alimento comercial con el valor que corresponde a 1.75, luego las dietas experimentales con aceite de palma, aceite de soya, aceite de maíz y aceite de pescado con valores de 1.8; 1.85; 2.0 y 2.1 correspondientemente. Según el análisis de varianza a un nivel de significancia del 0.05%, no existen diferencias significativas en los promedios de factor de conversión del alimento.

Teniendo en cuenta que, el factor de conversión del alimento es la proporción entre la cantidad de alimento consumido y la ganancia de peso de los peces, en el mismo período de tiempo, y que las condiciones de calidad de agua fueron las mismas para los cinco corrales instalados dentro del estanque, entonces, los diversos valores obtenidos en el presente experimento se deberían especialmente al aprovechamiento del aporte de fuentes alimenticias propias del estanque, principalmente zooplancton (Salinas 2018). Sin embargo, se debe considerar la influencia que podría tener el tipo de alimento balanceado utilizado, en este caso, el alimento

comercial fue fabricado mediante el proceso de extrusión, donde la temperatura (mayor a 100°C) mejora en cierta manera la digestibilidad de los insumos, principalmente de las harinas de soya, maíz y trigo y en consecuencia presentó un valor de 1.75, mejor a los demás valores alcanzados por las dietas elaboradas sin proceso de extrusión.

Se debe señalar también que el factor de conversión del alimento no solo depende de la cantidad del alimento consumido, sino de otros factores que también influyen en el aprovechamiento del alimento (ganancia de peso), como la calidad y tipo de alimento, el tamaño del pez, la densidad de carga, el oxígeno disuelto y la temperatura del agua. Como un indicador general, mientras el factor de conversión del alimento es cercano a 1, significa que, no solo el alimento balanceado es eficaz, sino que los demás factores que influyen en el crecimiento del pez también son los adecuados. En este sentido, los valores obtenidos son aceptables si se considera que en otras investigaciones con peces amazónicos se reportaron valores de conversión alimenticia mayores, como el obtenido por Fernandes *et al.* (2001) de 3.34 y 4.14 para pacú juveniles (*Piaractus mesopotamicus*) alimentados con diferentes niveles de proteína bruta. Por otro lado, Chu-Koo *et al.* (2011) reportaron valores menores de factores de conversión del alimento 1.08; 0.69 y 0.82 para alevinos de *Colossoma macropomum* de 1.38 gramos, criados en tres temperaturas 27.5; 30 y 32.5 °C respectivamente. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que, en las primeras etapas del ciclo de vida de los peces, los valores de factor de conversión del alimento pueden ser menores a uno, esto se debe al aporte del alimento natural que es bien aprovechado por los alevinos.

En el estudio realizado por Tueros (2018) sobre los parámetros productivos del paco, registró valores de conversión del alimento entre 1.84 y 1.95 para peces que empezaron con 104 gramos y terminaron con pesos de 150 gramos promedio.

Esta diversidad de resultados en el factor de conversión del alimento demuestra que son varios los factores que intervienen y determinan el resultado de este indicador.

4.2.3. Factor de condición

Durante la investigación se registraron para el factor de condición valores promedio dentro del rango de 2.53 y 2.71. Similares valores entre 1.31 a 2.80 fueron reportados por Felipa *et al.* (2016) para alevinos de *Colosomma macropommum* criados en estanques por un periodo de 54 días. Pardo *et al.* (2016) obtuvieron factores de condición entre 4.76 y 4.85 para pacos cultivados en biofloc por 84 días, desde un peso de 54.5 g. Según Lizama *et al.* (2002) el factor de condición refleja información acerca del estado fisiológico de los peces y del uso adecuado de las fuentes alimenticias. En este sentido, los valores calculados en la presente investigación indican un adecuado estado fisiológico de los pacos en todos los tratamientos. Según el análisis de varianza a un nivel de significancia del 0.05%, no existen diferencias significativas en los promedios de factor de condición.

Sin embargo, la pluralidad de resultados en las investigaciones mencionadas, obedecen a distintos tratamientos a los que fueron sometidos los peces; contenido proteico del alimento (29.83 – 31.19%, Tabla 10), sistema de cultivo, calidad del agua, edad del pez y otros que ejercen influencia sobre el estado fisiológico del pez. Además, se debe considerar que, el factor de condición se manifiesta con resultados diferentes en las distintas etapas de crecimiento del pez. Siendo más representativo el crecimiento en longitud durante las primeras etapas de crecimiento, o lo que se conoce como un crecimiento isométrico, mientras que una tendencia al aumento de grosor se manifiesta en las etapas de adulto, conocido como crecimiento alométrico.

4.2.4. Tasas de crecimiento

Con relación a los demás parámetros de crecimiento; tasa específica de crecimiento, tasa de crecimiento absoluto y tasa de crecimiento relativo, expresados en diferentes unidades, es importante tener en cuenta que estos parámetros se ven influenciados no solo por el alimento, sino también por el estado fisiológico del pez, la densidad de crianza y la temperatura del agua (Ribeyro 2013; Salinas 2018). Según el análisis de varianza a un nivel

de significancia del 0.05%, para los parámetros de tasa de crecimiento absoluto y tasa de crecimiento relativo no existen diferencias significativas en sus promedios.

4.3. COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DE LAS FUENTES LIPÍDICAS UTILIZADAS EN EL EXPERIMENTO

La Tabla 9 muestra los resultados del análisis químico proximal realizado a los aceites de palma, maíz, soya y pescado. Los valores determinados son similares para las cuatro fuentes lipídicas, principalmente el aporte de kilocalorías por kilogramo.

Tabla 9. Parámetros fisicoquímicos de las fuentes lipídicas.

Parámetro	Aceite de palma	Aceite de maíz	Aceite de soya	Aceite de pescado
Proteína (%)	0,03	0,03	0,00	0,14
Grasa cruda (%)	99,61	99,90	99,84	99,96
Humedad (%)	0,39	0,10	0,16	0,04
Ceniza (%)	0,01	0,01	0,00	0,04
Fibra cruda (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
Energía (kcal/kg)	8965,02	8991,12	8985,60	8996,96

4.4. DIETAS DE ENGORDE PARA PACO Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN LAS DIETAS

Con las cuatro fuentes lipídicas se elaboraron cuatro dietas. En la Tabla 10 se presentan los parámetros fisicoquímicos de las dietas elaboradas, así como del alimento comercial, los mismos que contienen entre 29.83 y 31.19% de proteína, de acuerdo con los requerimientos de la especie, según Machado *et al.* (2012) que recomienda 28% de proteína y Vergara *et al.* (2011) 29.20%.

Según Tacon (1989) recomienda un 30% de proteína para paco. En este sentido, los valores de proteína en las dietas de experimentación cumplen con los requerimientos.

Con respecto a los niveles de grasa, en las dietas experimentales se supera el 4 a 6% recomendado por Vasquez-Torres *et al.* (2011), mientras que para la dieta comercial se mantiene en el margen recomendado. Sin embargo, de acuerdo con los estudios realizados en pacos juveniles por Vasquez-Torres *et al.* (2012), valores de lípidos

superiores en la dieta a 40 g kg^{-1} tienen efectos negativos sobre el crecimiento y la utilización de nutrientes.

Baldisserotto y Carvalho (2010) reportan qué, entre cuatro dietas isoproteicas (25.6% de proteína bruta) y contenido de 3; 5; 7 y 9% de lípidos, la que contenía 7% de lípidos promovió mejor ganancia de peso, tasa de eficiencia proteica y retención de proteína en *Piaractus* con peso inicial de 29.7 g. Una ración con 3% de lípidos no cubre las exigencias nutricionales de los juveniles.

Los carbohidratos en las dietas experimentales (34.33 – 36.72%) se aproximan al porcentaje de 36% recomendado por Vasquez-Torres *et al.* (2011), mientras que el alimento comercial presentó un valor de 41.86%.

La cantidad de energía de las dietas experimentales (4497.30 – 4611.60 kcal/kg) y del alimento comercial (3975.90 kcal/kg) superan ampliamente el valor de 3413 kcal/kg recomendado por Miranda (2018).

En cuanto a la relación proteína/energía de las dietas elaboradas con las fuentes lipídicas vegetales, se obtuvo valores similares entre 65.2 y 68.8 g proteína/Mcal energía. El alimento comercial reportó un valor mayor de 78 g proteína/Mcal energía. Carneiro (1983) encontró que una dieta con 30% de proteína bruta y 2900 kcal de energía digestible (relación 103.5 g proteína/Mcal energía) permitía un mejor rendimiento en el pacu.

Según Cowey (1978), niveles de energía más altos disminuyen la ingesta de alimento, que se expresa en una menor retención de proteína. Gutierrez *et al.* (1996) demostró que niveles mínimos de 29,8% de proteína bruta y 2700 kcal de energía digestible/kg de alimento son los requeridos por el pacu en dietas de crecimiento para una adecuada ganancia de peso y una eficiente retención de proteína, con una relación 110.37 g proteína/Mcal energía.

Según los resultados obtenidos, la dieta comercial presentó mayor ganancia de peso (150 g en comparación a las dietas elaboradas con aceites vegetales, con ganancias de peso entre 134 -145 g). Considerando que las condiciones de cultivo fueron similares para los cinco tratamientos, se podría inferir que la relación proteína/energía de la dieta comercial (78 g proteína/Mcal energía) que fue mayor a

las demás dietas, influyó en los resultados de mayor ganancia de peso. Esto demuestra que la relación proteína/energía mientras mayor sea, se tendrá mejores resultados en relación con el crecimiento del paco, como lo demostró Salinas (2018); una dieta con 3.4 Mcal ED/Kg y una relación de 100 g proteína/Mcal energía disminuyó en un 21 por ciento la conversión alimenticia y redujo en 13 por ciento el costo de alimentación por kilogramo de peso.

Basado en los resultados obtenidos, se deduce que se podría mejorar la ganancia de peso incrementando en las dietas el nivel de proteína o disminuyendo el de energía kcal/kg, hasta llegar a una relación promedio de 100 g proteína/Mcal energía.

Tabla 10. Composición química proximal de las dietas experimentales con diferentes fuentes lipídicas.

Parámetro	Dieta control Alimento comercial	Dieta 1 Con aceite de palma	Dieta 2 Con aceite de maíz	Dieta 3 Con aceite de soya	Dieta 4 Con aceite de pescado
Proteína (%)	31,01	31,19	29,83	30,96	29,90
Grasa cruda (%)	3,60	13,71	13,81	14,18	13,86
Humedad (%)	10,10	10,21	10,19	9,73	9,92
Ceniza (%)	9,40	7,40	7,40	7,50	7,40
Fibra cruda (%)	4,03	3,16	2,07	2,12	2,20
CHOs (%)	41,86	34,33	36,70	35,51	36,72
Energía bruta (kcal/kg)	3975,90	4611,60	4565,10	4497,30	4582,30
Relación g Prot/Mcal Ener	78	67.6	65.3	68.8	65.2

En la Tabla 11 y Figura 8 se muestra el perfil de ácidos grasos en cada dieta experimental, se observa que la dieta elaborada con aceite de palma presenta la mayor proporción de ácidos grasos saturados, representado principalmente por el ácido palmítico (32.85%). A su vez que presenta la menor proporción de ácidos grasos poliinsaturados como el ácido linoleico (17.27%)

La dieta elaborada con aceite de soya presenta la mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados; ácido linoleico (47.62%) y ácido alfa-linolénico (5.78%), valores

coherentes con el aceite de soya, el insumo con mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados; ácido linoleico (54.04%) y ácido alfa-linolénico (7.38%) (Tabla 6).

Tabla 11. Perfil de ácidos grasos de las dietas utilizadas para paco.

Carbonos	Ácido graso (%)	Alimento comercial	Dieta con Aceite de palma	Dieta con Aceite de maíz	Dieta con Aceite de soya	Dieta con Aceite de pescado
C16:0	Palmítico	13,97	32,85	13,38	12,68	16,32
C16:1w7	Palmitoleico	0,68	1,17	1,11	1,07	6,59
C18:0	Estearico	4,92	4,80	2,14	3,91	3,16
C18:1 w9c	Oleico	22,10	33,74	25,27	20,04	12,30
C18:2 w6c	Linoleico	48,47	17,27	48,45	47,62	11,98
C18:3 w3	Alfa-linolénico	6,16	0,95	1,40	5,78	1,36
C20:5w3	Eicosapentaenoico (EPA)	0,00	2,64	2,42	2,44	14,77
C22:6w3	Docosahexaenoico (DHA)	0,14	1,55	1,40	1,46	9,43

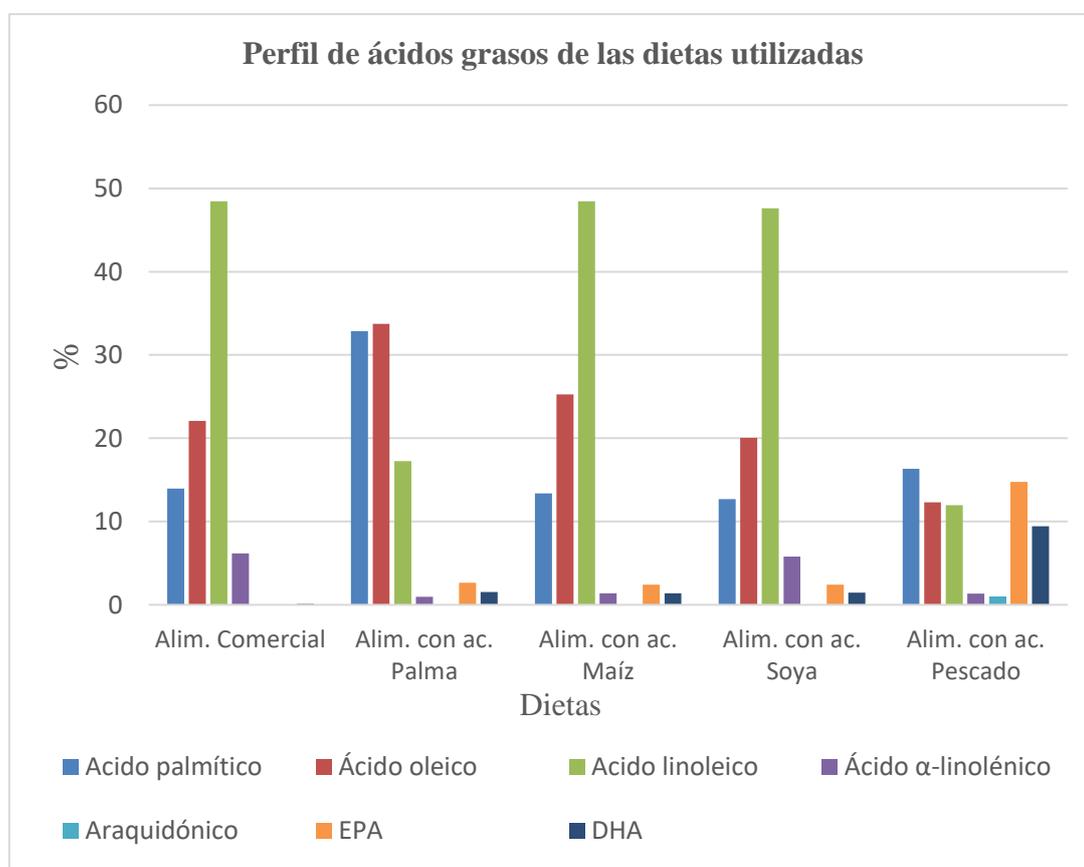


Figura 8. Perfil de ácidos grasos de las dietas utilizadas

4.5. FILETES DE PACO Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS

En la Tabla 12 se exponen los parámetros fisicoquímicos de los filetes de paco obtenidos después del periodo de experimentación, en todos los tratamientos los valores están dentro de los valores encontrados por el Instituto Tecnológico Pesquero del Perú (2009); la proteína se encuentra dentro del rango de 15.7 % a 18.7 %.

Según Vallejos y Menchola, (1984) citados por Cortez (1992), el paco es considerado como una especie grasa (mayor del cinco por ciento). Esta especie presenta una gran fluctuación en el contenido graso de casi 31 veces, el contenido más alto fue observado en el mes de Abril (8.7 por ciento), y el más bajo en noviembre (0.82 por ciento) (ITP 2009). Esto guarda relación con los resultados obtenidos en el presente experimento; al inicio el porcentaje de grasa en los pacos fue de 1.30% y cuando terminó el experimento llegaron a valores entre 2.30 y 5.30%. Este incremento de grasa en los filetes de paco se relaciona con el mayor nivel de inclusión de lípidos en la formulación de las dietas y a su vez con niveles por encima del 4 a 6 por ciento recomendado por Vasquez-Torres *et al.* (2011). Mientras que, para la dieta comercial, también se registró un incremento en el porcentaje de grasa a 2.50%.

Tabla 12. Composición químico proximal de los filetes de paco.

Parámetro	Inicio de experimento	Dieta comercial	Aceite de palma	Aceite de maíz	Aceite de soya	Aceite de pescado	ITP (2009)
Proteína (%)	18,14	18,38	17,41	17,80	18,23	18,38	14.96 - 18.90
Grasa cruda (%)	1,30	2,50	2,30	5,30	3,80	2,80	2.73 - 18.09
Humedad (%)	79,44	77,60	78,50	75,12	76,17	77,10	64.29 - 79.12
Ceniza (%)	1,08	1,50	1,28	1,38	1,71	1,40	0.87 - 1.40
Fibra cruda (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-

En la Tabla 13 y Figura 9 se detalla el perfil de ácidos grasos en los filetes de paco.

Tabla 13. Perfil de ácidos grasos de los filetes de paco, en porcentaje

Carbonos	Nombre de ácido graso	Inicio	Dieta comercial	Aceite de palma	Aceite de maíz	Aceite de soya	Aceite de pescado
C16:0	Palmítico	25,73	23,73	24,88	22,82	23,30	21,30
C16:1w7	Palmitoleico	2,95	3,28	2,37	2,85	2,88	3,93
C18:0	Esteárico	8,40	8,26	8,36	7,08	7,63	7,52
C18:1 w9c	Oleico	36,51	31,02	31,18	31,54	31,16	23,62
C18:2 w6c	Linoleico	15,01	16,20	14,26	23,04	21,28	13,11
C18:3 w3	Alfa-linolénico	0,52	0,90	0,56	0,73	1,46	0,83
C20:4w6	Araquidónico	1,22	2,13	3,11	1,25	1,38	2,11
C20:5w3	Eicosapentaenoico (EPA)	0,09	1,11	0,82	0,65	0,55	4,64
C22:6w3	Docosahexaenoico (DHA)	0,69	2,47	3,71	1,82	1,73	7,00

4.5.1. Presencia del AGPI n-6 ácido araquidónico AA en los filetes de paco

Con respecto a la presencia del AA en los filetes de paco, se inició con un valor de 1.22% y al término del experimento alcanzaron valores de 3.11; 1.25 y 1.38% para los tratamientos donde se utilizaron aceites vegetales de palma, maíz y soya correspondientemente. Según el análisis de varianza y la prueba de Tuckey aplicados, ambos con un nivel de significancia del 0.05%, existen diferencias significativas en los promedios de AA en los filetes de paco, siendo los filetes de paco obtenidos con dietas elaboradas con aceite de palma y aceite de pescado, además de la dieta comercial, los que mayor porcentaje de AA presentaron; 3.11; 2.11 y 2.13% respectivamente.

Considerando que no hubo presencia de AA en las fuentes lipídicas vegetales ni en las dietas, la presencia de AA en estos filetes se debe al proceso de bioconversión del ácido linoleico LA a ácido araquidónico AA. Este proceso comprende elongaciones (incorporación de dos carbonos) y desaturaciones (incorporación de un doble enlace) acometidas sucesivamente por las $\Delta 6$, $\Delta 5$ y $\Delta 4$ desaturasas (Guillaume *et al.* 2004). El primer paso es conversión al ácido gama-linoleico por $\Delta 6$ -desaturasa, luego el ácido gama-linoleico se convierte al ácido dihomo-gamma-

linoleico, que a su vez se convierte al ácido araquidónico. En este caso, según el resumen de la Tabla 15 y Figura 10 las fuentes lipídicas vegetales y las dietas elaboradas presentaron niveles de LA en alrededor del 50%, en especial para el aceite de maíz y soya, además de sus dietas.

4.5.2. Presencia del AGPI n-6 ácido linoleico LA en los filetes de paco

Respecto al ácido linoleico en los filetes de paco, se alcanzaron valores de 16.20; 14.26; 23.04; 21.28 y 13.11 por ciento para los pacos alimentados con dieta comercial, con aceite de palma, maíz, soya y pescado respectivamente.

Según Moreira *et al.* (2001); Rodrigues *et al.* (2017) citados por Tueros (2018), peces de agua dulce reportaron niveles entre 13.77 y 26.24% siendo estos niveles similares a los reportados en esta investigación.

Los filetes de paco, al inicio del experimento presentaron un 15.01% de ácido linoleico y al final se observa que los filetes de los pacos alimentados con dietas incluyendo aceite de maíz y soya presentaron los más altos niveles de ácido linoleico 23.04 y 21.28% en relación a las dietas con aceite de aceite de palma y aceite de pescado (14.26 y 13.11%) y alimento comercial (16.20%), este incremento de ácido linoleico se debe a que el aceite de maíz y el aceite de soya son las fuentes con mayor aporte de ácido linoleico (55.50 y 54.04%) a diferencia de los aceites de palma y pescado (10.52 y 1.32%), consecuentemente las dietas elaboradas con estos aceites son proporcionales a su aporte; es así que las dietas que incluyen aceite de maíz y soya presentaron un 48.45 y 47.62% de ácido linoleico mientras que las dietas con aceite de palma y aceite de pescado presentaron 17.27 y 11.98% de ácido linoleico.

4.5.3. Presencia del AGPI n-3 ácido alfa linolénico ALA en los filetes de paco

Para el caso del ácido alfa linolénico ALA en estudios realizados por Moreira *et al.* (2001), Rodrigues *et al.* (2017) y Luzia *et al.* (2003) citados por Tueros (2018) se encontraron niveles entre 0.25% a 1.53% y Andrade *et al.* (1995) citados por Tueros (2018) encontraron valores inferiores al 2.50%, y en algunas especies no fue detectado.

En el presente experimento se reportó un valor inicial de 0.52% de ALA en los filetes de paco, y al término del experimento se incrementó a valores de 0.56; 0.73; 1.46 y 0.83% para las dietas elaboradas con aceite de palma, maíz, soya y pescado respectivamente. Sobresale el valor de 1.46% de ALA en el filete obtenido con la dieta elaborada a partir de aceite de soya. Esto se correlaciona también con el mayor porcentaje de ALA que tiene el aceite de soya (7.38%) con relación a las demás fuentes lipídicas como el aceite de palma (0.30%), aceite de maíz (0.98%) y aceite de pescado (0.78%). Se debe considerar que los peces de agua dulce como el paco, tienen la habilidad de demostrar una mayor capacidad metabólica de elongar y desaturar el ALA a ácido eicosa pentanoico - EPA y ácido docosa hexanoico - DHA (Karapanagiotidis, *et al.* 2007 citados por Moreno 2013b).

El mayor porcentaje del ácido linoleico (13.11 – 23.04%) sobre el ácido alfa linolénico (0.56 – 1.46%) 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 dos importantes ácidos grasos puede ser direccionada según el objetivo de crianza (Tueros 2018).

Es por este motivo que la incipiente producción a nivel industrial de aceites vegetales ricos en ALA (chía, linaza, sachá inchi y rosa mosqueta) en algunos países latinoamericanos, resulta una alternativa novedosa e innovadora para aumentar el consumo de ácidos grasos n-3, específicamente de su precursor metabólico, el ALA (Morales *et al.* 2001).

4.5.4. Presencia de EPA y DHA en los filetes de paco

Al inicio del experimento, como punto de partida, se analizó el contenido de AGPI n-3 tales como el ácido eicosapentaenoico EPA (0.09%) y el docosahexaenoico DHA (0.69%) en los filetes de paco.

Según Wing-Keong (2002), se sabe que la composición de ácidos grasos de los filetes de pescado refleja la composición de ácidos grasos del aceite usado en la dieta. Teniendo en cuenta este enunciado y en relación con los AGPI araquidónico AA, eicosapentaenoico EPA y docosahexaenoico

DHA, el aceite de pescado es la única fuente lipídica que aporta directamente estos tres AGPI, como se puede observar en la tabla 6 y en el resumen mostrado en la Tabla 15 y Figura 10.

Sin embargo, al comparar con el aporte de AGPI de las dietas, se observa en la Tabla 15 y Figura 10 que, en las dietas elaboradas con aceite de palma, maíz y soya, se evidencia la presencia de EPA en valores de 2.64; 2.42 y 2.44% respectivamente, así como DHA en valores de 1.55; 1.40 y 1.46% correspondientemente. La presencia de AGPI EPA y DHA en las dietas con aceites vegetales de palma, maíz y soya se debe principalmente a la harina de pescado que aporta estos AGPI. Mientras que, en la dieta con aceite de pescado, el nivel alcanzado de EPA y DHA son más altos, alcanzando valores de 14.77 y 9.43% respectivamente, esto se debería por la presencia de harina y aceite de pescado como ingredientes, que amplían el nivel de EPA y DHA. En relación con la dieta comercial; no se registró presencia de EPA, más sí un valor de 0.14% de DHA.

Según el análisis de varianza y la prueba de Tuckey aplicados, ambos con un nivel de significancia del 0.05%, existen diferencias significativas en los promedios de EPA en los filetes de paco, siendo los pacos alimentados con dieta que incluye aceite de pescado los que presentaron mayor porcentaje de EPA (4.64%) seguidos de la dieta comercial con 1.11% y aceite de palma con 0.82%.

En relación con el DHA, el análisis de varianza y la prueba de Tuckey aplicados, ambos con un nivel de significancia del 0.05%, mostraron diferencias significativas en los promedios de DHA en los filetes de paco, siendo los filetes de paco obtenidos con dietas elaboradas con aceite de pescado y aceite de palma los que mayor porcentaje de DHA presentaron; 7.0 y 3.71% respectivamente. Mientras que los filetes obtenidos con la dieta comercial, y dietas elaboradas con aceite de maíz y soya alcanzaron valores de 2.47; 1.82 y 1.73% respectivamente.

Una comparación de los porcentajes de los AGPI EPA y DHA en la dieta y posteriormente en el filete de paco, explica el comportamiento de estos AGPI con el aporte de cada ingrediente en las tres dietas elaboradas con aceites vegetales. Partiendo de la base que no hay presencia de EPA ni

DHA en los aceites vegetales como se observa en la Tabla 6. Se infiere que la presencia de EPA y DHA en las dietas elaboradas es debido al aporte principalmente de la harina de pescado, que ingresa en la misma cantidad (25%) a cada formulación, en consecuencia, la cantidad de EPA y DHA presente en las tres dietas mencionadas debería ser en los mismos porcentajes, sin embargo, se observa en la Tabla 11 un mayor porcentaje de EPA (2.64%) y DHA (1.55%) en la dieta elaborada con aceite de palma, a diferencia de las dietas elaboradas con aceite de maíz (EPA 2.42% y DHA 1.40%) y soya (EPA 2.44% y DHA 1.46%). Esta diferencia se podría deber al alto contenido de antioxidantes naturales, como los carotenos y la vitamina E (tocoferoles y tocotrienoles) presentes en el aceite de palma que son de gran importancia porque actúan inhibiendo o retardando el proceso de peroxidación lipídica sobre los ácidos grasos insaturados (Rincón y Martínez 2009). Protegiendo al EPA y DHA de la harina de pescado, durante el procesamiento de la dieta (pelletizado), de esta manera se entiende una mayor presencia de EPA y DHA en la dieta con aceite de palma. Se debe considerar, además, que la capacidad de oxidar los lípidos se incrementa cuando aumenta la temperatura (Barandica 2010), esto refuerza más la inferencia que el aceite de palma protegería al EPA y DHA proveniente de la harina de pescado, por ello se evidencia mayor presencia de estos AGPI en la dieta elaborada con aceite de palma y en consecuencia también en el filete de paco.

Según Barandica (2010), ya se ha demostrado que el aceite de palma sustituye con éxito una parte significativa de aceite de pescado en las dietas para varias especies como el salmón Atlántico, trucha arcoíris y algunos peces de agua templada como el gato de río *Ictalurus punctatus*.

Por otro lado, se debe considerar que, en agua dulce, el fitoplancton se caracteriza por niveles altos de 18:2 n-6 y 18:3 n-3, niveles razonables de EPA, pero generalmente bajos niveles de DHA (Sargent *et al.* 1995). Consecuentemente, el zooplancton (cladóceros y copépodos) que consume fitoplancton (Veramaris® 2021) se convierte en una fuente natural de EPA y DHA para los peces.

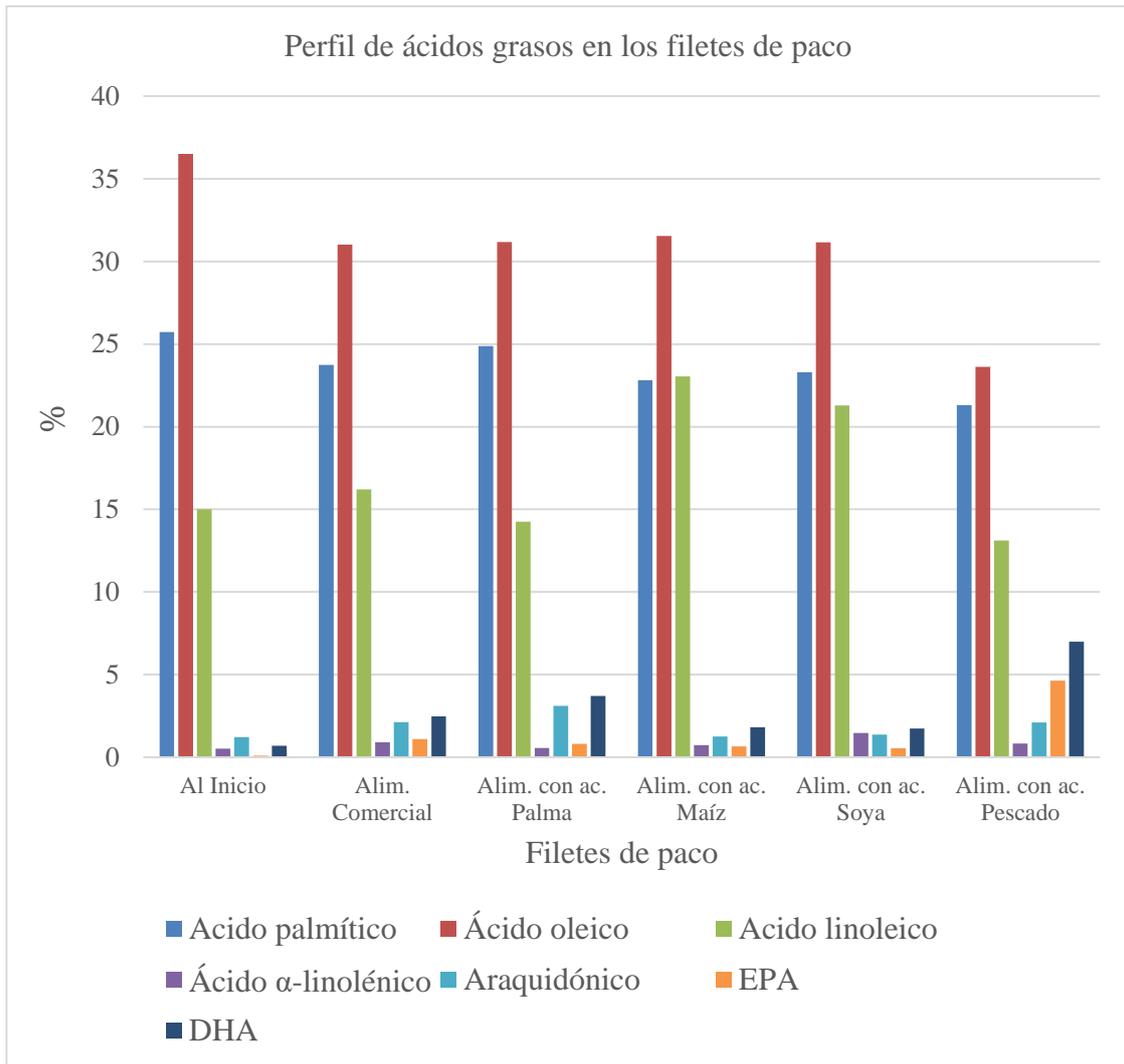


Figura 9. Perfil de ácidos grasos de los filetes de pacos

4.6. RELACIÓN N-6/N-3 EN LOS FILETES DE PACO

Steffens (1997) reporta que los peces marinos tienen una relación n-6/n-3 que oscila entre 1:7 y 1:10 (ricos en EPA y en DHA), que se atribuye a la composición lipídica del plancton, importante fuente alimenticia. También indica que, para ser considerado un alimento funcional, la relación n-6/n-3 debe ser menor a 1.

Simopoulos (2008), estableció que para tener una dieta saludable la relación ideal entre los AGPI n-6/n-3 es entre 1-4/1, dependiendo del tipo de enfermedad a considerar.

El departamento de Salud del Reino Unido (1994) recomienda una relación de n-6/n-3 de 4:1 como máximo. Los valores de n-6/n-3 superiores al valor máximo son perjudiciales para la salud y pueden promover enfermedades cardiovasculares.

Según estudios realizados por Perea *et al.* (2008) determinaron el pobre aporte de AGPI n-3 del paco, constituyéndose en un problema nutricional desde el aspecto de aporte de AGPI n-3. Sin embargo, con el presente estudio, se demostró que la dieta y el tipo de aceite incluido, influye en la capacidad de mejorar el perfil de AGPI durante el proceso de cultivo de paco. En la Tabla 14 se observa la relación n-6/n-3 que se alcanzó con la dieta comercial y las diferentes dietas elaboradas con diversas fuentes lipídicas.

Los peces de agua dulce pueden ser usados como una dieta saludable para humanos, considerando que su calidad nutricional es aún mejor, ya que además de tener considerables cantidades de APGI n-3, los peces de agua dulce contienen mayores niveles de ácido araquidónico que los peces marinos (Steffens 1997).

Tabla 14. Relación n-6/n-3 en los filetes de paco

AGPI	Inicio	Dieta comercial	Aceite de palma	Aceite de maíz	Aceite de soja	Aceite de pescado
gama-Linolénico (n-6) %	0.41	0.33	0.24	0.24	0.31	0.23
Eicosadienoico (n-6) %	0.64	0.78	0.79	0.65	0.63	0.55
Adrenico (n-6) %	0.53	1.12	1.65	0.61	0.63	0.97
Linoleico (n-6) %	15.01	16.2	14.26	23.04	21.28	13.11
Araquidónico (n-6) %	1.22	2.13	3.11	1.25	1.38	2.11
Alfa-linolénico (n-3) %	0.52	0.9	0.56	0.73	1.46	0.83
Estearidónico (n-3) %	0	0.14	0	0.56	0	0.48
Eicosatetraenoico (n-3) %	0	0.15	0	0	0.1	0.47
Eicosapentaenoico (EPA) (n-3) %	0.09	1.11	0.82	0.65	0.55	4.64
Docosapentaenoico (n-3) %	0.19	0.63	0.8	0.46	0.42	1.8
Docosahexaenoico (DHA) (n-3) %	0.69	2.47	3.71	1.82	1.73	7
n-6 %	17.81	20.56	20.05	25.79	24.23	16.97
n-3 %	1.49	5.4	5.89	4.22	4.26	15.22
Relación n6/n-3	11.95	3.81	3.40	6.11	5.69	1.11

Según la Tabla 14, al inicio del experimento, la relación n-6/n-3 en el filete de paco resultó ser de 11.95/1, esto indica una mayor proporción de ácidos n-6 en relación con los ácidos n-3. Al término del experimento con las diferentes dietas, las relaciones n-6/n-3 disminuyeron a valores entre 6.11 – 1.11/1, Siendo las mejores relaciones 1.11/1; 3.40/1 y 3.81/1 las alcanzadas por las dietas elaboradas con aceite de pescado, aceite de palma y dieta comercial respectivamente. Las cuales constituyen un indicador de la calidad nutricional de esta especie y de la posibilidad de considerarlo como un alimento funcional (Tueros 2018).

Por encima de la relación 1-4/1 sugerida por Simopoulos (2008) están las de 5.69/1 y 6.11/1 alcanzadas por las dietas elaboradas con aceite de soya y de maíz correspondientemente.

De acuerdo con Tueros (2018), 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. Estas características de los peces de agua dulce y reacciones de conversión se han demostrado en el presente estudio, al disminuir la relación inicial de n6/n3 de 11.95/1 a relaciones de 3.81/1; 5.69/1; 6.11/1; 3.40/1 y 1.11/1 para la dieta comercial y demás dietas con aceite de maíz, aceite de soya, aceite de palma y aceite de pescado respectivamente.

Tabla 15. Resumen de resultados de los principales ácidos grasos en fuentes lipídicas, alimento y filetes de paco

Ácidos grasos			Aceite					Alimento					Filete				
			Palma	Maíz	Soya	Pescado	Comercial	Palma	Maíz	Soya	Pescado	Inicio	Comercial	Palma	Maíz	Soya	Pescado
Ácido palmítico	C16:0	AGS	39.59	11.64	10.82	15.51	13.97	32.85	13.38	12.68	16.32	25.73	23.73	24.88	22.82	23.30	21.30
Ácido esteárico	C18:0	AGS	5.62	1.76	4.36	3.14	4.92	4.80	2.14	3.91	3.16	8.40	8.26	8.36	7.08	7.63	7.52
Ácido oleico	C18:1 w9c	AGMI	41.70	28.49	20.96	9.72	22.10	33.74	25.27	20.04	12.30	36.51	31.02	31.18	31.54	31.16	23.62
Ácido linoleico	C18:2 w6c	AGPI	10.52	55.50	54.04	1.32	48.47	17.27	48.45	47.62	11.98	15.01	16.20	14.26	23.04	21.28	13.11
Ácido α-linolénico	C18:3 w3	AGPI	0.30	0.98	7.38	0.78	6.16	0.95	1.40	5.78	1.36	0.52	0.90	0.56	0.73	1.46	0.83
Ácido linolénico	C18:3 w4	AGPI	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17
Araquidónico	C20:4w6	AGPI	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	1.22	2.13	3.11	1.25	1.38	2.11
Eicosapentaenoico (EPA)	C20:5w3	AGPI	0.00	0.00	0.00	18.54	0.00	2.64	2.42	2.44	14.77	0.09	1.11	0.82	0.65	0.55	4.64
Docosahexaenoico (DHA)	C22:6w3	AGPI	0.00	0.00	0.00	11.74	0.14	1.55	1.40	1.46	9.43	0.69	2.47	3.71	1.82	1.73	7.00

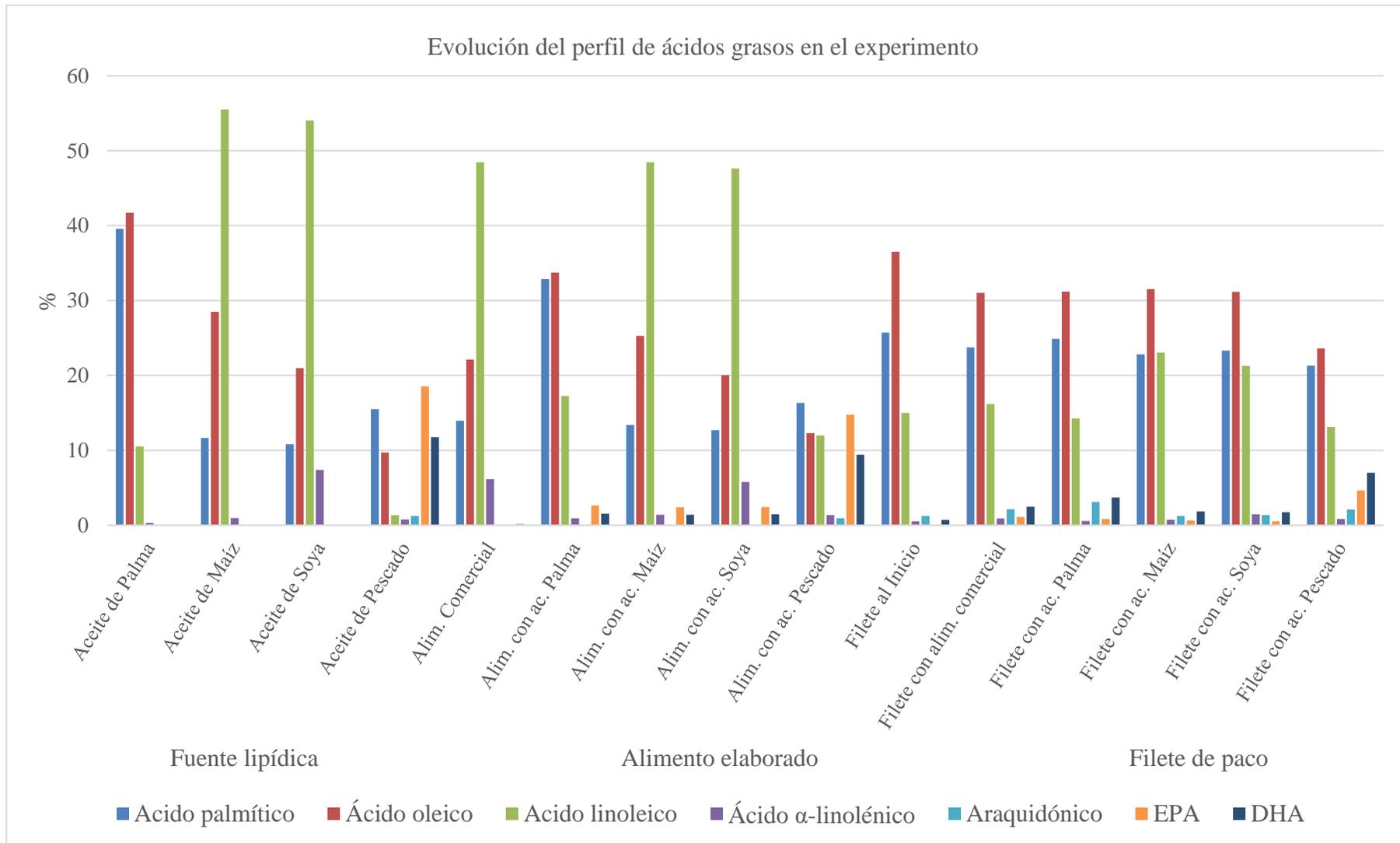


Figura 10. Resumen de resultados de los principales ácidos grasos en fuentes lipídicas, alimento y filetes de paco

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se llevó el presente experimento se puede concluir los siguiente:

1. La harina de pescado aportó directamente EPA y DHA en todas las dietas experimentales.
2. La dieta con inclusión de aceite de palma fue la que mejor influyó en el incremento de ácidos grasos omega-3 en filete de paco (*Piaractus brachypomus*) fue la elaborada con aceite de palma; con valores de 0.82 y 3.71% de EPA y DHA respectivamente.
3. La dieta que presentó mejor perfil de ácidos grasos poliinsaturados fue la preparada con aceite de pescado, seguida de la dieta elaborada con aceite de palma
4. Se determinó el cambio en el perfil de ácidos grasos poliinsaturados en filetes de paco; se mejoró la relación de n-6/n-3, de 11.95/1 al inicio a 1.11/1 y 3.40/1 (con aceite de pescado y aceite de palma; respectivamente) al final del experimento.
5. La dieta comercial mejoró la relación de n-6/n-3, de 11.95/1 al inicio a 3.81/1; con valores de 1.11 y 2.47% de EPA y DHA respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

Luego de realizado el trabajo de investigación, se recomienda:

1. Evaluar otras fuentes vegetales de ácido graso omega-3 para mejorar la relación n-6/n-3 en los filetes de paco.
2. Evaluar el perfil de ácidos grasos en diversos periodos de alimentación.
3. Investigar su uso con otras especies de diferente hábito alimentario.
4. Determinar el aporte de ácidos grasos poliinsaturados aportados por la productividad primaria del agua de cultivo.
5. Replicar el trabajo en aguas claras.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abimorad, E.; Carneiro, J.; y Urbinati, E. 2007. Growth and metabolism of pacu (*Piaractus mesopotamicus* 1887) juveniles fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. *Aquaculture Research*. 38(1), 36 – 44. Consultado 10 jun. 2016. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01621.x>
- Ahlgren, G.; Gustafsson, I. y Boberg, M. 1992. Fatty acid content and chemical composition of freshwater microalgae. *J. Phycol.* 28, 37-50.
- ANDRADE, G.; MÉNDEZ, Y. y PERDOMO, D. 2011. Engorde experimental de cachama (*Colossoma macropomum*) en la Estación Local El Lago, estado Zulia, Venezuela. *Revista Zootecnia Tropical*, 29(2): 213-218. Consultado 10 jun. 2016. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/262744833_Engorde_experimental_de_cachama_Colossoma_macropomum_en_la_Estacion_Local_El_Lago_estado_Zulia_Venezuela
- Atta, R. 2006b. Estudio comparativo en dos sistemas de preparación de los progenitores de *Piaractus brachipomus* (Estacion acuicola “El Prado” departamento de Santa Cruz) (en línea). Tesis Med. Vet. Zootecnista, Bolivia. Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno. 148 p. Consultado 10 jun. 2016. Disponible en <http://www.riiaamazonia.org/PUBS/T15.pdf>.
- Baldisserotto, B. y Carvalho, L. 2010. Especies nativas para piscicultura no Brasil. 2da Edicao Revista e Ampliada. Editorial Editoraufsm. Santa Maria. Pag 220
- Barandica, L. 2010. Efectos de las dietas experimentales en la respuesta inmune de los peces. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular. Facultad de Biociencias. Universidad Autónoma de Barcelona. Consultado 1 mar. 2021. Disponible en <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/3627/lbc1de1.pdf?sequence..>

Bicudo, A; Sado, R; y Cyrino, J. 2009. Growth and haematology of pacu, *Piaractus mesopotamicus*, fed diets with varying protein to energy ratio. *Aquaculture Research*. 40, 846 – 495.

Bolaño, M. y Rodriguez, D. 2020. Formulación y evaluación de una dieta para cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) con base en materias primas vegetales y sus efectos zootécnicos y económicos. Tesis en Acuicultura, Universidad de Córdoba, Colombia. Consultado el 15 de enero 2021. Disponible en <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/3040/bola%C3%B1o-rgelmar%C3%ADa-rodr%C3%ADguez-sunchodaniela.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Boscolo, W.; Hayashi, C.; Meurer, F.; Feiden, A. y Wolff, L. 2004. Desempenho e características de carcaça de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) alimentadas com rações contendo diferentes níveis de gordura (en línea). *Acta Scientiarum. Animal Sciences Maringá*, 26(4): 443-447p. Consultado 10 jun. 2016. Disponible en <http://revistas.bvs-vet.org.br/actascianimsci/article/download/10738/11484>

Briones, K. 2019. Digestibilidad de ingredientes proteicos y requerimiento de proteína para el paco (*Piaractus brachypomus*) en la etapa de alevinos. Tesis para optar el grado de Maestro Magister Scientiae en Nutrición. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Carneiro, J. 1983. Níveis de proteína e energia na alimentacao do pacú *Colossoma mitrei*, Berg 1985. Disertacao de Mestrado. Jaboticabal, FCAV-UNESP, 56 pp.

Castagnoli, N. 1991. Handbook of nutrient requirement of finfish: Brazilian Finfish, tambaqui, pacu, and matrincha. Mississippi State University. Editor R. Wilson CRC Press: 31-34.

Castro, M.; Maafs, A. y Galindo, C. 2013. Perfil de ácidos grasos de diversas especies de pescados consumidos en México. *Revista de Biología Tropical*. México D.F. 61(4): 1981-1998.

Cerdá, J. 2012. Futuro de la alimentación de los peces en granjas marinas. Valencia: *Revista AquaTIC 37*: 78-89 (en línea). España. Consultado 22 julio 2019. Disponible en http://revistaaquatic.com/aquatic/pdf/37_10.pdf

Christie 2003. Lipid analysis - Third edition. The Oily Press Lipid Library.

Chu-Koo, F.; Stewart, P.; Babilonia, J.; Garcia-Davila, C.; Trushenski, J. y Kohler, C. 2011. Efectos de la temperatura del agua sobre el crecimiento, la utilización de alimentos y supervivencia de alevinos de gamitana (*Colossoma macropomum*). Folia Amazónica 2(1) 15:21. Consultado 22 julio 2019. Disponible en <http://revistas.iiap.org.pe/index.php/foiaamazonica/article/view/359>

Cortez J. 1992. Características bromatológicas de dieciséis especies hidrobiológicas de la Amazonía peruana en época de creciente. Folia Amazónica 4(1) 111:118. Consultado 22 julio 2019. Disponible en <http://revistas.iiap.org.pe/index.php/foiaamazonica/article/view/184>

Craig, S. y Helfrich, L. 2012. Understanding fish nutrition, feeds, and feeding Extension, Virginia Polytechnic Institute and State, Fish_Culture_files/Feed.pdf Consultado 22 julio 2020. Disponible en http://www.lssu.edu/faculty/gsteinhart/GBS_LSSU/BIOL372.

Delucchi, C.; Percibaldi, M.; Trejo, M. y Éyhérabide, G. 2018. Mejoramiento genético del perfil de ácidos grasos del aceite de maíz. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA), Argentina. Consultado 22 julio 2019. Disponible en <http://ria.inta.gob.ar/sites/default/files/revisiones/delucchi-castellano-4.pdf>

Department Of Health And Social Security. 1994. Nutritional aspects of cardiovascular disease (Report on health and social subjects no. 46). H. M. Stationery Office, London.

Durand, S.; Torres, J. y Sanhueza, J. 2015. Aceites vegetales de uso frecuente en Sudamérica: características y propiedades. Revista de Nutrición Hospitalaria. Chile 32(1):11-19.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2010. Fats and Fatty Acids in Human Nutrition: Report of an Expert Consultation (en línea). Roma Italia 180 p. Consultado 12 jun. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/ag/agn/nutrition/docs/Fats%20and%20Fatty%20Acids%20Summary.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1994. Control de calidad de insumos y dietas acuícolas (en línea). I Curso Regional de Capacitación, Santiago de Chile, organizado por el Proyecto AQUILA II y ejecutado por

Fundación Chile. Consultado 12 jun. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/AB482S00.htm#TOC>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2012. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012 (en línea). Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Roma. Consultado 12 jun. 2016. Disponible en www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2013. Fish to 2030. Prospects for Fisheries and Aquaculture. Agriculture and Environmental Services Discussion Paper 03. Washington.

Felipa, G.; Blas, W. y Alcántara, F. 2016. Relación longitud-peso, factor de condición y tabla estándar del peso de mil alevinos de gamitana *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) criados en estanques artificiales. Folia Amazónica 25(1) 17:24. Consultado 22 julio 2019. Disponible en <http://revistas.iiap.org.pe/index.php/foviaamazonica/article/download/379/444/>

Fernandes, J; Carneiro, D; y Sakomura, N. 2000. Fontes e Níveis de Proteína Bruta em Dietas para Alevinos de Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Rev. bras. zootec. 29(3):646-653

Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES). 2004. Manual de cultivo de gamitana. Consultado 15 jul 2019. Disponible en [http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBME NU4/manual_gamitana.pdf](http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBME%20NU4/manual_gamitana.pdf).

Fonseca-Madrugal, J.; Kalarazos, V.; Campbell, P. y Tocher, D. (2005). Influence of dietary palm oil on growth, tissue fatty acid compositions, and fatty acid metabolism in liver and intestine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquac. Nutr. 11, 241-250.

Fundación Observatorio Español de Acuicultura (2009). La Nutrición y Alimentación en Acuicultura. Consejo Superior de Investigaciones Científicas Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España.

García, A.; Muy, D.; Puello, A.; Villa, Y.; Escalante, M. y Preciado, K. 2010. Uso de ingredientes de origen vegetal como fuentes de proteína y lípidos en alimentos balanceados para peces marinos carnívoros (en línea). Avances en Nutrición Acuícola

X - Memorias del Décimo Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, 8-10 de Nov, San Nicolás de los Garza, N. L., México. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. 321-340. Consultado 21 jun. 2016. Disponible en http://www.uanl.mx/utilerias/nutricion_acuicola/X/archivos/13-ArmandoGarcia.pdf.

Gatica, A. 2011. Ácidos grasos EPA y DHA: Y su vital importancia en la nutrición humana (en línea). Revista Indualimentos. Abril 2011: 58-60. Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA) Universidad de Chile. Consultado 10 jun. 2016. Disponible en <http://www.dinta.cl/wp-dintacl/wp-content/uploads/epa-dha.pdf>

Gesteiro, E.; Galera, J. y Gonzales, M. 2018. Aceite de palma y salud cardiovascular: consideraciones para valorar la literatura. Revista Nutrición Hospitalaria 35(5):1229-1242. Consultado 22 julio 2019. Disponible en <http://dx.doi.org/10.20960/nh.1970>

Gomes, F. 2009. Desempenho do tambaqui (colossoma macropomum), da pirapitinga (piaractus brachypomum), e do híbrido tambatinga (c. macropomum x p. brachypomum) mantidos em viveiros fertilizados na fase de engorda. Dissertação (Mestrado). Universidad Federal de Goiás. 70 p.

Guillaume, J.; kaushik, S; Bergot, P. y Métailler, R. 2004. Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. Ediciones Mundi-Prensa. España. Pag 153.

Gutiérrez, W.; Zaldívar, J.; Deza, S. y 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. Consultado 22 julio 2019. Disponible en <http://revistas.iiap.gob.pe/index.php/foliaamazonica/article/download/320/301/>

Hernández, E.; Quispe, C. y Alencastre, M. 1999. Composición de ácidos grasos en aceites de mayor consumo en el Perú. Revista Ciencia e Investigación, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Consultado 22 octubre 2020. Disponible en https://sisbib.unmsm.edu.pe/BvRevistas/ciencia/v02_n1/aceites.htm

Hoar, W. 1978. Fisiología general y comparada. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. Pág. 77.

Instituto Tecnológico Pesquero del Perú. 2009. Información nutricional sobre algunos peces comerciales de la Amazonía Peruana. Boletín de investigación vol 9. Consultado

20 jul 2019. Disponible en <http://mddconsortium.org/wp-content/uploads/2014/11/ITP-2009-Informe-de-peces-amazonicos.pdf>

IPAC Acuicultura. Soja, maíz y trigo para una alimentación 100 % vegetal en acuicultura. Boletín electrónico del 12 de agosto 2013. Consultado 20 jul 2019. Disponible en http://www.ipacuicultura.com/noticias/en_portada/29989/soja_maiz_y_trigo_para_una_alimentacion_100_vegetal_en_acuicultura.html

Karapanagiotidis , I.; Bell, M;. Little, V. y Yakupitiyage, A. 2007. Replacement of dietary fish oils by alpha linolenic acid rich oils lowers omega 3 content in tilapia flesh (en línea). Acta Scientiarum Animal Sciences 26(4): 443-447. Consultado 10 jun. 2016. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11745-007-3057-1#/page-1>

Kilambi, R. V. And Robison, W. R. 1979. Effects of temperature and stocking density on food consumption and growth of grass carp *Ctenopharyngodon idella*, Val. J. Fish Biol. 15:337- 342

Lafont, J.; Durango, L. y Aramendiz, H. 2014. Estudio Químico del Aceite Obtenido a Partir de Siete Variedades de Soya (*Glycinemax L.*). Revista Información Tecnológica Vol. 25(2) 79-86. Consultado 10 jun. 2019. Disponible en https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000200009

Lim, Ch. y Webster, C. 2001. Nutrition and fish health. Food Products Press. An Imprint of the Haworth Press, Inc. New York, London, Oxford.

Lizama, M; y Ambrósio, A. 2002. Condition factor in nine species of fish of the characidae family in the upper Paraná River floodplain, Brazil. Braz. J. Biol. 62(1): 113-124

Machado, D. y Possebon, J. 2012. Nutriaqua, Nutrición y alimentación de especies de interés para la acuicultura brasilera. Sociedad Brasileira de Acuicultura y Biología Acuática. Ministerio de Pesca e Aquicultura. Brasil.

Mendoza, D. 2011. Informe: Panorama de la Acuicultura Mundial, en América Latina y el Caribe y en el Perú, Dirección General de Acuicultura, Ministerio de la Producción. Lima, Perú. 66p.

Miranda, D. 2018. Digestibilidad de ingredientes y determinación del requerimiento de energía digestible de paco (*Piaractus brachyomus*). Tesis Mg. Sc. Nutrición. Perú UNALM. 72 p.

Mispeces, Es. 2015. Europa - Aditivos Autorizados: Astaxantina como aditivo en los piensos para peces, crustáceos y peces ornamentales (en línea). Cádiz, ES. Consultado el 04 jul. 2016. Disponible en <http://www.mispeces.com/nav/actualidad/noticias/noticia-detalle/Astaxantina-como-aditivo-en-los-piensos-para-peces-crustceos-y-peces-ornamentales-00001/#.V3wkLaI4LMt>

Montgomery, D. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. S.A. de C.V. México.

Morales, J.; Valenzuela, R.; Gonzales, D.; Gonzales, M.; Tapia, G.; Sanhueza, J. y Valenzuela, A. 2012. Nuevas fuentes dietarias de ácido alfa-linolénico: una visión crítica. Revista Chilena de Nutrición 39(3): 79-87 p. Consultado 20 jun. 2018. Disponible en <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnut/v39n3/art12.pdf>.

Moreno, J. 2013. Cambios en el perfil de ácidos grasos de filete de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* en respuesta a diferentes fuentes lipídicas (en línea). Tesis Mag. en Producción Animal. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 134 p. Consultado 20 jun. 2016. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/39433/1/jennymarcelamorenopoveda.2013.pdf>.

Moreno, J. 2013b. Cambios en el perfil de ácidos grasos de filete de tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* en respuesta a diferentes fuentes lipídicas (en línea). Tesis Mag. en Producción Animal. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 134 p. Consultado 20 jun. 2016. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/39433/1/jennymarcelamorenopoveda.2013.pdf>.

Mourente, G. y Bell J. 2006. Partial replacement of dietary fish oil with blends of vegetable oils (rapeseed, linseed and palm oils) in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrac L.*) over a long-term growth study: Effects on muscle and liver fatty acid composition and effectiveness of a fish oil finishing diet. Comp. Biochem. Physiol. 145: 389–399.

NRC (National Research Council). 1993. Nutrient Requirements of Fish (en línea). National Academy Press. Washington, D.C. 114 p. Consultado 10 jun. 2016. Disponible en www.bouillettes-dependance-baits.com/res/site19627/res588041_nutriments.pdf

Pardo, S.; Alzate, H.; Pérez, J. y Chaverra, S. 2016. Índices corporales de cachama blanca *Piaractus brachypomus* cultivadas en biofloc (BFT). Revista Investigación Pecuaria N° 123. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. Consultado 04 dic. 2016. Disponible en <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/revip/article/view/2957>

Pendón, C.; Mourente, G. y Gonzales, A. 2010. Estudio del metabolismo de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) en peces: influencia nutricional y hormonal sobre la síntesis de PUFAs. Departamento de Bioquímica y Biología molecular, Universidad de Cadiz – España. Consultado 04 dic. 2016. Disponible en <http://www.observatorio-acuicultura.es/recursos/bases-de-datos/proyectos/estudio-del-metabolismo-de-acidos-grasos-poliinsaturados-pufas-en>

Perea, A.; Gomez, E.; Mayorga, Y. y Triana, C. 2008. Caracterización nutricional de pescados de producción y consumo regional en Bucaramanga, Colombia (en línea). Archivos Latinoamericanos de Nutrición 58(1): 91-97. Consultado 15 jun. 2016. Disponible en <http://www.scielo.org.ve/pdf/alan/v58n1/art13.pdf>

Perez, P.; Bressan, M.; Logato, R. y Silveira G. 2007. Nutrição lipídica para peixes. Revista Eletrônica Nutritime 4(2): 436-455 p. Consultado 10 jun. 2016. Disponible en http://www.nutritime.com.br/arquivos_internos/artigos/044V4N2P436_455_MAR2007.pdf

Puerta, L. 2016. Coeficientes de digestibilidad aparente de materias primas alternativas en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y sus efectos sobre el desarrollo morfométrico de las vellosidades intestinales. Consultado 10 jun. 2019. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262017000200015

Restrepo, T.; Díaz, G. y Pardo, S. 2012. Peces dulceacuícolas como alimento funcional: Perfil de ácidos grasos en tilapia y bocachico criados en policultivo. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 10(2): 44-53 p. Consultado 10 jun. 2019. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n2/v10n2a06.pdf>

Revista Mexicana de Ingeniería Química 2016. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa Distrito Federal, México. 3(2): 219-225. Consultado 02 jun. 2016. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62030207>

Rincón, S. y Martínez, D. 2009. Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. Revista Palmas Vol. 30 No. 2. Consultado 20 jun. 2016. Disponible en https://www.academia.edu/34612248/An%C3%A1lisis_de_las_propiedades_del_aceite_de_palma_en_el_desarrollo_de_su_industria_An_Analysis_of_the_Properties_of_Oil_Palm_in_the_Development_of_the_its_Industry_An_Analysis_of_the_Properties_of_Oil_Palm_in_the_Development_of_the_its_Industry

Rischio and Prevenzione Investigators 2010. Efficacy of n3 polyunsaturated fatty acids and feasibility of optimizing preventive strategies in patients at high cardiovascular risk: rationale, design and baseline characteristics of the Rischio and Prevenzione study, a large randomized trial in general practice (en línea). Milán, Italia. BioMed Central 11(68). Consultado 20 jun. 2016. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2909229/>.

Rodríguez, C. Pérez, J. y Henderson, J. 2002. The esterification and modification of n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids by hepatocytes and liver microsomes of turbot (*Scophthalmus maximus*). Comp. Biochem. Physiol. B132 (3), 559-570.

Salinas, A. 2018. Niveles de energía y relación proteína a energía sobre el desempeño productivo y composición corporal del paco (*Piaractus brachypomus*). Tesis M. Sc. en Nutrición. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina. 23 p.

Sanhueza, J.; Durán, S. y Torres, J. 2015. Los ácidos grasos dietarios y su relación con la salud. Nutrición Hospitalaria 32(3): 1362-1375 p. Consultado 20 jun. 2019. Disponible en <http://www.aulamedica.es/nh/pdf/9276.pdf>

Sargent, R.; Bell J.; Bell, M.; Henderson, R. y Tocher, D. 1995 Dietary origins and functions of long-chain (ω -3) polyunsaturated fatty acids in marine fish. Journal of Marine Biotechnology 3, 26-28.

Secretaría Pro Tempore del Tratado de Cooperación Amazónica 1992. Piscicultura con especies amazónicas (en línea). Secretaria Pro- Tempore. Lima, Perú. Consultado 21 jun.

2016. Disponible en <http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/CDinvestigacion/IIAP/iiap1/texto03.htm>

Simopoulos, A. 2002. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomed Pharmacother.* Oct;56(8):365-79. Consultado 12 jun. 2016. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0753332202002536?via%3Dihub>

Simopoulos, A. 2008. The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases (en línea). The Center for Genetics, Nutrition and Health, Washington. 233: 674-688. Consultado 12 jun. 2016. Disponible en http://www.cmcgc.com/media/handouts/320121/M10_Simopoulos.pdf

Steffens, W. 1997. Effects of variation feeds on nutritive in essential fatty acids in fish value of freshwater fish for humans. *Aquaculture* 151(1997): 97.119

Sylvia, G.; Morrissey, M.; Graham, T. y Garcia, S. 2008. Changing Trends in Seafood Markets (en línea). *Journal of Food Products Marketing* 3(2): 49-63. Consultado 10 jun. 2016. Disponible en http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1300/J038v03n02_05

Tacon, A. 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de capacitación (en línea). Programa Cooperativo Gubernamental FAO. Documento de campo No. 4. Programa AQUILA I. Brasilia-Brasil. Consultado 12 jun. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/3/content/60051bb9-bd0e-5631-b5e1-9b5ec8e51998/AB492S00.htm>

Tafur, J.; Alcántara, F., Del Aguila, M., Cubas, R., Mori, L. y Chu-Koo, F. 2009. Paco *Piaractus brachypomus* y gamitana *Colossoma macropomum* criados en policultivo con el bujurqui-tucunaré, *Chaetobranchus semifasciatus* (Cichlidae). Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. *Folia Amazónica*, Vol. 18:1-2: 97-104

Tocher, D. 2003. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Rev. Fish. Sci.* 11, 107-184. Consultado el 04 feb 2021. Disponible en <https://dspace.stir.ac.uk/bitstream/1893/2925/1/DRT%20Review%20final.pdf>

Tocher, D.; Fonseca-Madrigal, J.; Bell, J.; Dick, J.; Henderson, R. y Sargent, J. 2002. Effects of diets containing linseed oil on fatty acid desaturation and oxidation in hepatocytes and intestinal enterocytes in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Fish Physiol. Biochem.* 26 (2), 157-170.

Tocher, D.; Zheng, X.; Schlechtriem, C.; Hastings, N.; Dick, J. y Tale, A. 2006. Highly unsaturated fatty acid synthesis in marine fish: cloning, functional characterization, and nutritional regulation of fatty acid acyl $\Delta 6$ desaturase of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) *Lipids* 41:1003-1016. Consultado 9 abr. 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/6541629_Highly_unsaturated_fatty_acid_synthesis_in_marine_fish_Cloning_functional_characterization_and_nutritional_regulation_of_fatty_acyl_D6_desaturase_of_Atlantic_cod_Gadus_morhua_L

Tueros, G. 2018. Comportamiento productivo y composición lipídica del paco (*Piaractus brachyomus*) alimentado con diferentes relaciones de ácidos grasos omega 6 a 3. Tesis Mag. en Nutrición. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina. 63 p. Consultado 20 jul. 2019.

Turchini, G.; Francis, D. y De Silva, S.S. 2006. Fatty acid metabolism in the freshwater fish Murray cod (*Maccullochella peelii peelii*) deduced by the whole body fatty acid balance method (en línea). *Comparative Biochemistry and Physiology* 144(1), 110-118. Consultado e1 08 jun. 2016. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1096495906000315>

Valenzuela, R.; Tapia, G.; González, M. y Valenzuela, A. 2011. Ácidos grasos omega-3 (EPA y DHA) y su aplicación en diversas situaciones clínicas (en línea). Santiago, Chile. *Revista Chilena de Nutrición* 38(3): 356-367. Consultado 20 jun. 2016. Disponible en <http://www.scielo.cl/pdf/rchnut/v38n3/art11.pdf>

Vásquez-Torres, W; Pereira-Filho, M; y Arias-Castellanos, J. 2011. Optimum dietary crude protein requirement for juvenile cachama *Piaractus brachyomus*. *Ciencia Rural*, Santa María 41(12) 2183-2189

Vásquez-Torres, W y Arias-Castellanos, J. 2012. Effect of Dietary carbohydrates and lipids on growth in cachama (*Piaractus brachyomus*). *Aquaculture Research* 1-9

Vásquez, C. 2001. Elaboración de Leche Pasteurizada Enriquecida con Acidos Grasos Poliinsaturados EPA (Eicosapentaenoico) y DHA (Docosahexaenoico) provenientes del aceite semirrefinado de pescado. Tesis Ingeniero en Industria Alimentarias. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina. 115 p. Consultado 24 oct. 2020. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4048/Q02-V365-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Veramaris® 2021. Omega 3. Consultado 30 jun 2021. Disponible en <https://www.veramaris.com/que-hacemos-en-detalle.html>

Vergara, V.; Lafeta, Y.; 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. Simposio llevado a cabo en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Wake Forest University Baptist Medical Center 2008. Popular Fish, Tilapia, Contains Potentially Dangerous Fatty Acid Combination (en línea). Science Daily. Consultado 22 jun. 2016. Disponible en www.sciencedaily.com/releases/2008/07/080708092228.htm.

Wing-Keong. 2002. Potential of palm oil utilisation in aquaculture feeds. *Asia Pacific J Clin Nutr* (2002) 11(Suppl): S473–S476.

Wing-Keong. 2007. Reemplazo del aceite de pescado marino en los alimentos de la acuicultura con aceite de palmera. Fish Nutrition Laboratory, School of Biological Sciences, Universiti Sains Malaysia, Penang 11800, Malaysia. Consultado 21 jun. 2016. Disponible en <https://www.aquahoy.com/no-categorizado/592-reemplazo-del-aceite-de-pescado-marino-en-los-alimentos-de-la-acuicultura-con-aceite-de-palmera>

Wootton, R. F. 1991. Ecology of Teleost Fishes. Fish and Fisheries. Series Y. Chapman & Hall, 2-6 Bodanz Row, London SE 1 8HN. 404 pp.

Zaldívar, F. 2002. Las harinas y aceites de pescado en la alimentación acuícola. Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3 al 6 de Sep del 2002. Cancún, Quintana Roo, México. Consultado 22 jun. 2016. Disponible en https://www.uanl.mx/utilerias/nutricion_acuicola/VI/archivos/A32.pdf

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Determinación de grasa - Método Bligh y Dyer

Objetivo: Obtener la grasa de un alimento homogeneizado mediante extracción directa con disolventes en frío.

Fundamento: El método se basa en la homogeneización de alimentos húmedos con metanol y cloroformo en proporciones tales que forman una fase sencilla miscible con el agua en los alimentos, que al adicionar posteriormente cloroformo y agua se separan dos fases con los materiales lípidos en la capa de cloroformo.

Referencia: Análisis Químico de Alimentos de Pearson. Egan, H; Kirk R y Sawyer R. Compañía Editorial Continental, México. 1988.

Materiales insumos y equipos

Materiales y equipos

- Balanza analítica
- Ultraturrax
- Centrífuga
- Rotavapor
- Estufa
- Micropipeta
- Vórtex
- Material usual de laboratorio: filtros, vasos, tubos tapa rosca, etc.

Reactivos

Determinación de grasa Método Bligh y Dyer

- Metanol p.a.
- Cloroformo p.a.
- Hidróxido de potasio p.a.
- Éter de petróleo

Desarrollo del proceso

Preparación de las muestras

- Homogeneizar la muestra previamente analizada o conocida su humedad.
- Pesar en vaso precipitado de 250 mL aproximadamente 10 g de muestra exactamente pesados.
- Agregar agua desionizada en tal cantidad que el total de agua presente sea 16 ml.
- Agregar 40 mL de metanol
- Agregar 20,0 mL de cloroformo con pipeta volumétrica, extraer por 2 minutos con ultraturrax
- Agregar nuevamente 20,0 mL de cloroformo y extraer por 30 segundos con ultraturrax
- Agregar 20 ml de agua y extraer por 30 segundos con ultraturrax
- Distribuir el contenido en tubos de centrifuga de 50 mL y centrifugar por 10 minutos a 2000 – 2500 rpm.
- Extraer con jeringa de 10 mL la capa inferior de cloroformo de cada tubo sin perturbar las capas flotantes, filtrarlo por papel plegado y recibir el filtrado en erlenmayer de 50 ml.
- Tomar una alícuota de 25,0 mL del filtrado con pipeta volumétrica y trasvasijar a un matraz redondo de fondo plano de 100 mL previamente secado, pesado y mantenido en desecador.
- Evaporar el cloroformo en rotavapor a 60 °C.
- Completar el secado en estufa de vacío a 60 °C por 2 horas. Enfriar en desecador
- Pesar el matraz con la grasa.

Expresión de resultados

$$A \text{ (g/100g)} = \frac{V_T \times P_2}{V_a \times P_1}$$

A : Concentración en g/100g (%) de grasa

P1 : Peso de la muestra

P2 : Peso de la grasa seca obtenida

VT : Volumen total de cloroformo (40 mL)

Va : Volumen de la alícuota de cloroformo tomada (25 mL).

Anexo 2. Análisis estadísticos

Análisis de la varianza del peso final alcanzado por los pacos

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Control	18	6294	349.667	249.0588
T1	18	6214	345.222	386.1830
T2	18	6011	333.944	377.8203
T3	18	6123	340.167	517.6765
T4	18	6038	335.444	250.8497

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	3135.8889	4	783.97	2.20	0.08	2.48
Dentro de los grupos	30287	85	356.32			
Total	33422.8889	89				

Análisis de la varianza del Factor de Conversión del Alimento

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Control	4	7.00	1.75	0.0167
T1	4	7.30	1.83	0.0292
T2	4	8.00	2.00	0.0400
T3	4	7.39	1.85	0.0590
T4	4	8.27	2.07	0.0841

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.2757	4	0.0689	1.51	0.25	3.06
Dentro de los grupos	0.6869	15	0.0458			
Total	0.9625	19				

Análisis de la varianza del Factor de Condición

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Control	4	10.14	2.535	0.0010
T1	4	10.35	2.588	0.0007
T2	4	10.86	2.715	0.0107
T3	4	10.09	2.523	0.0550
T4	4	10.33	2.583	0.0432

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.0930	4	0.02	1.05	0.41	3.06
Dentro de los grupos	0.3316	15	0.02			
Total	0.4247	19				

Análisis de la varianza de Tasa de Crecimiento Absoluto

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Control	4	0.20	0.050	3.3333E-06
T1	4	0.22	0.054	0.0001
T2	4	0.18	0.045	0.0001
T3	4	0.22	0.055	1.6667E-05
T4	4	0.18	0.044	9.5833E-06

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.0004	4	0.0001	1.97	0.15	3.06
Dentro de los grupos	0.0007	15	4.99E-05			
Total	0.0011	19				

Análisis de la varianza de Tasa de Crecimiento Relativo

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Control	4	0.95	0.238	0.0156
T1	4	0.85	0.213	0.0006
T2	4	0.70	0.175	0.0003
T3	4	0.88	0.220	0.0003
T4	4	0.82	0.205	0.0003

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.0084	4	0.0021	0.61	0.66	3.06
Dentro de los grupos	0.0516	15	0.0034			
Total	0.0600	19				

Análisis de la varianza de Ácido Araquidónico AA en filetes de paco

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Inicio	3	3.65	1.22	0.0508
comercial	3	6.38	2.13	0.1081
Palma	3	9.33	3.11	0.0613
maiz	3	3.75	1.25	0.0975
soya	3	4.15	1.38	0.0408
pescado	3	6.33	2.11	0.1983

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	8.1272	5	1.6254	17.51	3.82E-05	3.11
Dentro de los grupos	1.1138	12	0.0928			
Total	9.2410	17				

Análisis de la varianza de Ácido Eicosapentaenoico EPA en filetes de paco

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Inicio	3	0.26	0.09	0.0009
Comercial	3	3.32	1.11	0.2686
Palma	3	2.45	0.82	0.0408
Maíz	3	1.95	0.65	0.0225
Soya	3	1.65	0.55	0.1575
Pescado	3	13.92	4.64	0.3988

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	41.6501	5	8.3300	56.21	6.55E-08	3.11
Dentro de los grupos	1.7784	12	0.1482			
Total	43.4285	17				

Análisis de la varianza de Ácido Docosahexaenoico DHA en filetes de paco

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Inicio	3	2.08	0.693	0.0441
Comercial	3	7.42	2.473	0.4101
Palma	3	11.12	3.707	0.2316
Maíz	3	5.47	1.823	0.1434
Soya	3	5.20	1.733	0.4408
Pescado	3	21.00	7.000	3.0000

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	75.0969	5	15.01938333	21.10	1.45E-05	3.11
Dentro de los grupos	8.5403	12	0.711694444			
Total	83.6373	17				

Anexo 3. Infografía del experimento



Selección de pacos



Corrales dentro del estanque



Biometría de pacos

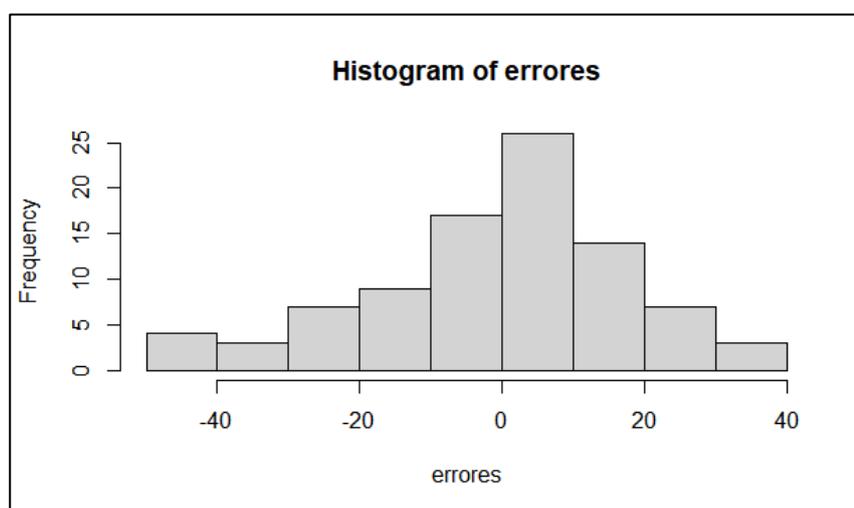
Anexo 4. Parámetros productivos

Peso en gramos de los peces al final del experimento

Dieta comercial	T1 con aceite de palma	T2 con aceite de maíz	T3 con aceite de soya	T4 con aceite de pescado
350	320	340	320	345
365	350	370	360	300
358	368	310	370	334
352	360	310	324	340
300	344	360	300	310
346	360	333	350	346
348	340	300	340	350
350	350	340	310	362
330	325	350	350	340
357	346	340	340	323
368	320	315	335	340
340	340	340	350	328
345	345	355	300	334
370	365	318	380	318
350	377	350	348	330
360	364	320	360	360
355	300	340	356	340
350	340	320	330	338
Prom. 350	Prom. 345	Prom. 334	Prom. 340	Prom. 335

Análisis de varianza de los pesos finales del experimento

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamiento	4	3136	784.0	2.2	0.0758 .
Residuals	85	30287	356.3		



Prueba de Normalidad para los datos de peso del experimento

Factor de Conversión del Alimento

N° de biometría	Dieta comercial	T1 con aceite de palma	T2 con aceite de maíz	T3 con aceite de soya	T4 con aceite de pescado
1	1.7	2	1.9	2.2	2.5
2	1.9	1.9	1.9	1.74	1.94
3	1.8	1.8	2.3	1.65	1.88
4	1.6	1.6	1.9	1.8	1.95
Promedio	1.75	1.8	2	1.85	2.1

Tasa de Crecimiento Absoluto, cm/día

N° de control	Dieta comercial	T1 con aceite de palma	T2 con aceite de maíz	T3 con aceite de soya	T4 con aceite de pescado
1	0.049	0.052	0.04	0.06	0.046
2	0.051	0.04	0.038	0.055	0.044
3	0.052	0.065	0.06	0.05	0.04
4	0.048	0.06	0.043	0.055	0.047
Promedio	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04

Tasa de Crecimiento Relativo, %/día

N° de control	Dieta comercial	T1 con aceite de palma	T2 con aceite de maíz	T3 con aceite de soya	T4 con aceite de pescado
1	0.1	0.21	0.17	0.2	0.2
2	0.2	0.18	0.2	0.23	0.23
3	0.25	0.22	0.17	0.21	0.19
4	0.4	0.24	0.16	0.24	0.2
Promedio	0.24	0.21	0.17	0.22	0.2

Tasa Específica de crecimiento, %/día

N° de control	Dieta comercial	T1 con aceite de palma	T2 con aceite de maíz	T3 con aceite de soya	T4 con aceite de pescado
1	1.9	1.7	1.85	1.74	1.9
2	1.64	1.75	1.67	1.6	1.55
3	1.62	1.67	1.6	1.75	1.63
4	1.54	1.56	1.55	1.59	1.6
Promedio	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67

Factor de Condición

N° de control	Dieta comercial	T1 con aceite de palma	T2 con aceite de maíz	T3 con aceite de soya	T4 con aceite de pescado
1	2.55	2.61	2.85	2.78	2.88
2	2.52	2.55	2.72	2.64	2.4
3	2.5	2.6	2.69	2.42	2.55
4	2.57	2.59	2.6	2.25	2.5
Promedio	2.53	2.59	2.71	2.52	2.58

Anexo 5. Perfil completo de ácidos grasos de las fuentes lipídicas

Carbonos	Ácido graso (%)	Aceite de palma	Aceite de maíz	Aceite de soya	Aceite de pescado
C12:0	Laúrico	0,43	0,00	0,00	0,14
C14:0	Mirístico	0,74	0,00	0,00	6,63
C14:1	Miristoleico	0,00	0,00	0,00	0,18
C15:0	Pentadecanoico	0,00	0,00	0,00	0,51
C16:0	Palmítico	39,59	11,64	10,82	15,51
C16:1w7	Palmitoleico	0,00	0,00	0,00	8,08
C16:2w4	Hexadecadienoico	0,00	0,00	0,00	0,25
C16:3w4	Hexadecatrienoico	0,00	0,00	0,00	0,18
C17:0	Heptadecanoico	0,00	0,00	0,00	1,01
C17:1	Cis-10-heptadecanoico	0,00	0,00	0,00	1,22
C18:0	Estearico	5,62	1,76	4,36	3,14
C18:1 w9c	Oleico	41,70	28,49	20,96	9,72
C18:1 w7	Vaccenico	0,58	0,62	1,35	2,81
C18:2 w6c	Linoleico	10,52	55,50	54,04	1,32
C18:3 w3	Alfa-linolénico	0,30	0,98	7,38	0,78
C18:3 w4	Linolénico	0,00	0,00	0,00	0,13
C18:3 w6	Gama-linolénico	0,00	0,00	0,00	0,25
C18:4 w3	Estearidónico	0,00	0,00	0,00	0,25
C20:0	Araquídico	0,39	0,40	0,34	0,38
C20:1w9	Eicosenoico	0,13	0,25	0,18	1,28
C20:2 w6	Eicosadienoico	0,00	0,00	0,00	0,16
C20:3 w6	Cis-8,11,14-eicosatrienoico	0,00	0,00	0,00	0,17
C20:4w3	Eicosatetraenoico	0,00	0,00	0,00	0,87
C20:4w6	Araquidónico	0,00	0,00	0,00	1,25
C20:5w3	Eicosapentaenoico (EPA)	0,00	0,00	0,00	18,54
C21:0	Heneicosanoico	0,00	0,00	0,39	0,00
C22:0	Behenico	0,00	0,15	0,00	0,19
C22:1w9	Erucico	0,00	0,00	0,00	0,21
C22:1w11	Cetoleico	0,00	0,00	0,00	1,12
C22:4w6	Adrénico	0,00	0,00	0,00	0,13
C22:5w3	Docosapentaenoico	0,00	0,20	0,17	2,23
C22:6w3	Docosahexaenoico (DHA)	0,00	0,00	0,00	11,74
C23:0	Tricosanoico	0,00	0,00	0,00	0,75
C24:1w9	Nervónico	0,00	0,00	0,00	0,51
	Ácidos grasos (%)	% Área en grasa extraída			
	Ácidos grasos saturados	46,77	2,31	15,91	28,26
	Ácidos grasos monoinsaturados	42,41	41,00	22,49	25,13
	Ácidos grasos poliinsaturados	10,82	56,68	61,59	38,25
	Picos no identificados	0,00	0,01	0,01	8,36

Anexo 6. Perfil completo de ácidos grasos de las dietas utilizadas para paco.

Carbonos	Ácido graso (%)	Alimento comercial	Aceite de palma	Aceite de maíz	Aceite de soya	Aceite de pescado
C12:0	Laúrico	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00
C14:0	Mirístico	0,40	1,42	0,85	0,89	5,43
C14:1	Miristoleico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
C15:0	Pentadecanoico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41
C16:0	Palmítico	13,97	32,85	13,38	12,68	16,32
C16:1w7	Palmitoleico	0,68	1,17	1,11	1,07	6,59
C16:2w4	Hexadecadienoico	0,00	0,16	0,15	0,16	0,21
C16:3w4	Hexadecatrienoico	0,00	0,26	0,25	0,24	0,00
C17:0	Heptadecanoico	0,19	0,19	0,17	0,18	0,86
C17:1	Cis-10-heptadecanoico	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25
C18:0	Estearico	4,92	4,80	2,14	3,91	3,16
C18:1 w9c	Oleico	22,10	33,74	25,27	20,04	12,30
C18:1 w7	Vaccenico	1,31	1,01	1,01	1,51	2,54
C18:2 w6c	Linoleico	48,47	17,27	48,45	47,62	11,98
C18:3 w3	Alfa-linolénico	6,16	0,95	1,40	5,78	1,36
C18:3 w6	Gama-linolénico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
C18:4 w3	Estearidónico	0,00	0,23	0,22	0,22	0,20
C20:0	Araquídico	0,37	0,36	0,36	0,33	0,33
C20:1w9	Eicosenoico	0,28	0,27	0,33	0,30	1,08
C20:4w3	Eicosatetraenoico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,65
C20:4w6	Araquidónico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95
C20:5w3	Eicosapentaenoico (EPA)	0,00	2,64	2,42	2,44	14,77
C22:0	Behenico	0,33	0,00	0,16	0,33	0,18
C22:1w9	Erúxico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
C22:1w11	Cetoleico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83
C22:5w3	Docosapentaenoico	0,18	0,50	0,53	0,55	1,93
C22:6w3	Docosahexaenoico (DHA)	0,14	1,55	1,40	1,46	9,43
C23:0	Tricosanoico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61
C24:1w9	Nervónico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46
Ácidos grasos (%)		% Área en grasa extraída				
Ácidos grasos saturados		20,18	39,92	17,06	18,32	27,3
Ácidos grasos monoinsaturados		24,37	36,19	27,72	22,92	25,36
Ácidos grasos poliinsaturados		54,95	23,56	54,94	58,47	41,68
Picos no identificados		0,50	0,33	0,28	0,29	5,66

Anexo 7. Perfil completo de ácidos grasos de los filetes de paco, en porcentaje

Carbonos	Nombre de ácido graso	Inicio	Dieta comercial	Aceite de palma	Aceite de maíz	Aceite de soya	Aceite de pescado
C14:0	Mirístico	1,24	1,44	1,10	1,21	1,26	2,38
C15:0	Pentadecanoico	0,13	0,16	0,12	0,14	0,15	0,24
C15:1	Cis-10-pentadecanoico	0,12	0,30	0,45	0,23	0,22	0,32
C16:0	Palmítico	25,73	23,73	24,88	22,82	23,30	21,30
C16:1w7	Palmitoleico	2,95	3,28	2,37	2,85	2,88	3,93
C16:2w4	Hexadecadienoico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
C16:3w4	Hexadecatrienoico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25
C17:0	Heptadecanoico	0,20	0,24	0,23	0,22	0,23	0,32
C17:1	Cis-10-heptadecanoico	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,09
C18:0	Esteárico	8,40	8,26	8,36	7,08	7,63	7,52
C18:1 w9c	Oleico	36,51	31,02	31,18	31,54	31,16	23,62
C18:1 w7	Vaccenico	2,01	2,20	1,94	1,88	2,03	2,51
C18:2 w6c	Linoleico	15,01	16,20	14,26	23,04	21,28	13,11
C18:3 w3	Alfa-linolénico	0,52	0,90	0,56	0,73	1,46	0,83
C18:3 w4	Linolénico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
C18:3 w6	Gama-linolénico	0,41	0,33	0,24	0,24	0,31	0,23
C18:4 w3	Estearidónico	0,00	0,14	0,00	0,56	0,00	0,48
C20:0	Araquídico	0,30	0,25	0,24	0,25	0,27	0,27
C20:1w9	Eicosenoico	0,84	0,72	0,68	0,59	0,62	0,86
C20:2 w6	Eicosadienoico	0,64	0,78	0,79	0,65	0,63	0,55
C20:4w3	Eicosatetraenoico	0,00	0,15	0,00	0,00	0,10	0,47
C20:4w6	Araquidónico	1,22	2,13	3,11	1,25	1,38	2,11
C20:5w3	Eicosapentaenoico (EPA)	0,09	1,11	0,82	0,65	0,55	4,64
C21:0	Heneicosanoico	0,86	1,07	1,18	0,78	0,82	0,78
C22:0	Behenico	0,13	0,13	0,14	0,10	0,13	0,14
C22:1w11	Cetoleico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
C22:4w6	Adrenico	0,53	1,12	1,65	0,61	0,63	0,97
C22:5w3	Docosapentaenoico	0,19	0,63	0,80	0,46	0,42	1,80
C22:6w3	Docosahexaenoico (DHA)	0,69	2,47	3,71	1,82	1,73	7,00
C23:0	Tricosanoico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31
C24:1w9	Nervónico	0,00	0,15	0,22	0,10	0,10	0,25
Ácidos grasos		% Área en grasa extraída					
Ácidos grasos saturados		36,99	35,28	36,25	32,60	33,79	33,26
Ácidos grasos monoinsaturados		42,43	37,67	36,84	37,32	37,01	31,8
Ácidos grasos poliinsaturados		19,30	25,96	25,94	30,01	28,49	32,88
Picos no identificados		1,28	1,09	0,97	0,07	0,71	2,06