

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS QUÍMICAS

**COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN PECES DE AGUA
DULCE: TILAPIA ROJA (*Oreochromis niloticus*) Y TRUCHA ARCO
IRIS (*Oncorhynchus mykiss*) CULTIVADAS EN LA PROVINCIA DE
CHIRIQUÍ.**

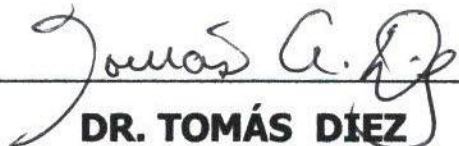
POR

VIELKA C. DE GUEVARA

*Tesis presentada como
Requisito para optar al grado
De Maestra en Ciencias Químicas
Con especialización en Química
Orgánica y Bioquímica.*

PANAMÁ, 2002

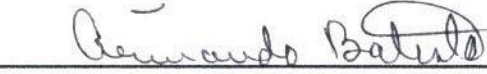
APROBADO POR:



DR. TOMÁS DíEZ
PRESIDENTE



DR. ENRIQUE MURILLO
MIEMBRO



DR. ARMANDO BATISTA
MIEMBRO



REPRESENTANTE DE LA VICERRECTORÍA
DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO

FECHA: 17 de mayo de 2002

DEDICATORIA

A toda mi familia, especialmente a mi querido esposo **Roberto**, a mis amadas hijas **Yirley**, **Yeniré** y **Mabel**, a mi madre **Olivia**, porque son la luz inspiradora, que en los momentos difíciles de sacrificio y dedicación, iluminan mi sendero con comprensión y paciencia, mostrándome siempre lo importante que es alcanzar una meta anhelada.

VIELKA

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Tomás Diez, director de esta tesis, por darme la oportunidad de hacer realidad esta investigación, por la confianza que depositó en mí y por sus orientaciones siempre oportunas.

Al MSc. Víctor Jiménez, quien como co-tutor fue siempre una guía durante la fase experimental y la interpretación estadística de esta investigación.

Al Dr. Enrique Murillo, quien en su labor inicial como tutor contribuyó con los aportes fundamentales para la realización de este proyecto.

Al personal de la estación acuícola de Gualaca, especialmente a los licenciados Ricardo Ríos y Nelly Serrano por facilitar las muestras de peces.

Al Ing. Pedro Guerra del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, IDIAP por su valiosa y desprendida colaboración.

Y a todos aquellos con quienes tengo deuda de gratitud.

MIL GRACIAS

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| DEDICATORIA | iii |
| AGRADECIMIENTO | iv |
| ÍNDICE GENERAL | v |
| ÍNDICE DE CUADROS | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | ix |
| RESUMEN | xi |
| ABSTRACT | xii |
| INTRODUCCIÓN | xiii |
| | |
| CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO | 1 |
| 1.1. Generalidades del cultivo de peces de agua dulce | 2 |
| 1.1.1. Tilapia roja | 2 |
| 1.1.2. Trucha arco iris..... | 4 |
| 1.2. Alimentación de tilapia roja y trucha arco iris | 5 |
| 1.3. Lípidos en peces | 9 |
| 1.3.1. Metabolismo de lípidos en peces | 11 |
| 1.3.2. Ácidos grasos esenciales | 13 |
| 1.4. Factores ambientales que afectan la composición de lípidos en peces ... | 15 |
| 1.4.1. Adaptación térmica | 15 |
| 1.4.2. Habitat natural | 16 |
| 1.4.3. Salinidad del agua | 16 |
| 1.5. Propiedades de la carne de pescado | 17 |
| 1.6. Caracterización del aceite de pescado | 18 |
| 1.7. Propiedades nutricionales del aceite de pescado para el consumo humano | 19 |

| | |
|--|-----------|
| 1.7.1. Acción de los ácidos grasos saturados en las lipoproteínas plasmáticas | 21 |
| 1.7.2. Ácidos grasos poliinsaturados ω 3 | 22 |
| 1.7.3. Ácidos grasos monoinsaturados frente a poliinsaturados | 24 |
| 1.7.4. Propiedades anti-cáncer | 25 |
| 1.7.5. Acción sobre el sistema neurológico. Modificación de síntomas Esquizofrénicos | 26 |
| | |
| CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS | 27 |
| 2.1. Materiales | 28 |
| 2.1.1. Obtención de las muestras | 28 |
| 2.1.2. Equipo | 29 |
| 2.1.3. Reactivos | 30 |
| 2.2. Método de análisis | 30 |
| 2.2.1. Preparación y tratamiento de las muestras | 30 |
| 2.2.2. Extracción de lípidos totales | 31 |
| 2.2.3. Método de Transesterificación | 31 |
| 2.2.4. Separación y cuantificación | 31 |
| | |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 33 |
| 3.1. Resultados del tratamiento con alimento sumergible en tilapia | 36 |
| 3.2. Resultados del tratamiento con alimento flotante en tilapia | 45 |
| 3.3. Resultados del tratamiento con alimento sumergible en trucha | 53 |
| 3.4. Análisis comparativo de los tratamientos | 60 |
| | |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 70 |
| | |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 73 |

| | |
|------------------------|-----------|
| APÉNDICES | 82 |
| ANEXOS | 87 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | | |
|-------------|---|----|
| CUADRO I | Requerimiento de ácidos grasos esenciales en tilapia y otras especies, expresado como porcentaje de la dieta | 7 |
| CUADRO II | Composición de ácidos grasos en tilapia AS | 38 |
| CUADRO III | Porcentajes promedios de composición de ácidos grasos en tilapia AS | 39 |
| CUADRO IV | Composición de ácidos grasos en alimento flotante y sumergible | 40 |
| CUADRO V | Composición de ácidos grasos en tilapia AF | 47 |
| CUADRO VI | Porcentajes promedios de composición de ácidos grasos en tilapia AF | 48 |
| CUADRO VII | Composición de ácidos grasos en trucha AS | 54 |
| CUADRO VIII | Porcentajes promedios de composición de ácidos grasos en trucha AS | 55 |
| CUADRO IX | Porcentaje de composición de ácidos grasos saturados, monoinsaturados, poliinsaturados y otros no identificados en las muestras de aceite de tilapia y trucha | 60 |
| CUADRO X | Contenido porcentual de ácidos grasos poliinsaturados ω 3 en tilapias y truchas | 69 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|--------|---|----|
| Fig 1 | Tilapia roja | 3 |
| Fig 2 | Trucha arco iris | 4 |
| Fig 3 | Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos saturados más abundantes en tilapia AS a) Ácido palmítico b) Ácido esteárico | 41 |
| Fig 4 | Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos monoinsaturados más abundantes en tilapia AS a) Ácido palmitoleico b) Ácido oleico/vasénico | 42 |
| Fig 5 | Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos poliinsaturados más abundantes en tilapia AS a) Ácido linoleico b) Ácido araquidónico | 43 |
| Fig. 6 | Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos poliinsaturados más abundantes en tilapia AS c) Ácido docosapentaenoico d) Ácido docosahexaenoico | 44 |
| Fig 7 | Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos saturados más abundantes en tilapia AF a) Ácido palmítico b) Ácido esteárico | 49 |
| Fig 8 | Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos monoinsaturados más abundantes en tilapia AF. a) Ácido palmitoleico b) Ácido oleico/vasénico | 50 |
| Fig 9 | Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos poliinsaturados más abundantes en tilapia AF a) Ácido linoleico b) Ácido araquidónico | 51 |
| Fig 10 | Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos poliinsaturados más abundantes en tilapia AF c) Ácido docosapentaenoico d) Ácido docosahexaenoico | 52 |
| Fig 11 | Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos saturados más abundantes en trucha AS. a) Ácido palmítico b) Ácido esteárico | 56 |
| Fig 12 | Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos monoinsaturados más abundantes en trucha AS a) Ácido palmitoleico b) Ácido oleico/vasénico | 57 |
| Fig 13 | Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos poliinsaturados más abundantes en trucha AS a) Ácidolinoleico b) Ácido araquidónico | 58 |

| | | |
|---------|--|----|
| Fig 14 | Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos poliinsaturados más abundantes en trucha AS. c) Ácido eicosapentaenoico d) Ácido docosahexaenoico | 59 |
| Fig 15 | Variación del contenido de ácidos grasos en tilapia (AS) y trucha (AS) con la edad: a) saturados, b) monoinsaturados y c) poliinsaturados | 62 |
| Fig 16 | Ácidos grasos saturados más abundantes en tilapia AS, tilapia AF y trucha AS | 63 |
| Fig 17 | Ácidos grasos monoinsaturados más abundantes en tilapia AS, tilapia AF y trucha AS | 64 |
| Fig. 18 | Ácidos grasos poliinsaturados más abundantes en tilapia AS, tilapia AF y trucha AS | 65 |

RESUMEN

COMPOSICIÓN DE ACIDOS GRASOS EN PECES DE AGUA DULCE TILAPIA ROJA Y TRUCHA ARCO IRIS CULTIVADAS EN LA PROVINCIA DE CHIRIQUI 1999-2000

La composición de ácidos grasos en dos especies de peces de agua dulce *Oreochromis niloticus* (tilapia roja), tratada con alimento flotante (AF) y alimento sumergible (AS), y *Oncorhynchus mykiss* (trucha arco iris), tratada con alimento sumergible, cultivadas en la provincia de Chiriquí durante el período 1999-2000, ha sido determinada. Los lípidos totales fueron extraídos de acuerdo con el método de Bligh y Dyer. Los ésteres de los ácidos grasos fueron reesterificados y los ésteres metílicos obtenidos fueron analizados por cromatografía de gases. Se identificaron 18 ácidos grasos, de los cuales el 33.15 % correspondió a los ácidos grasos saturados, predominando el ácido palmítico (C16:0) y el ácido esteárico (C18:0). El 27.90% fue de ácidos grasos monoinsaturados, de los cuales el palmitoleico (C16:1 ω 7) y el oleico/vacénico (C18:1 ω 9 + ω 7) fueron los más abundantes en ambas especies, y el 30.78% fue para los ácidos grasos poliinsaturados, presentándose el linoleico (C18:2 ω 6) y el docosahexaenoico (C22:6 ω 3) como los más abundantes tanto en tilapia como en trucha. Sin embargo, en tilapia se observó mayor contenido de ω 6 que en trucha. linoleico (C18:2 ω 6) y araquidónico (C20:4 ω 6), con diferencia altamente significativa, mientras que en trucha se encontró mayor contenido de ω 3 eicosapentaenoico (C20:5 ω 3) y docosahexaenoico (C22:6 ω 3). Los tratamientos con alimento sumergible y flotante en tilapia mostraron diferencia altamente significativa para todos los casos, los resultados sugieren que el alimento sumergible favorece el contenido de ácidos grasos ω 6.

ABSTRACT

FATTY ACID COMPOSITION IN FRESH WATER FISH. RED TILAPIA AND RAINBOW TROUT, RAISED IN THE PROVINCE OF CHIRIQUÍ 1999-2000

In order to obtain information about fatty acid composition in fresh water fishes, two species were studied, red tilapia (*Oreochromis mloticus*) treated with surface and immersion and feeding and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) treated with immersion feeding, both species from Chiriquí, Republic of Panama. A chloroform/methanol mixture was used for lipid extraction and the methyl esters were analyzed by GC/FID. 18 fatty acids were identified. 33.15% corresponded to saturated fatty acids such as palmitic acid (C16:0) and stearic acid. These fatty acids are abundant in tilapia and trout. 27.90% corresponded to monounsaturated fatty acids, being palmitoleic acid (C16:1 ω 7) and oleic/vaccenic acid (C18:1 ω 9 + ω 7) the most abundant in both species. Polyunsaturated fatty acids corresponded to a 30.78%, being linoleic acid (C18:2 ω 6) and docosahexaenoic acid (C22:6 ω 3) the most abundant fatty acids on both species. Nevertheless, it was observed that in tilapia, there was a higher content of ω 6 fatty acids than in trout (linolenic and arachidonic acids). The significant difference was very high, whereas in trout a higher content of ω 3 fatty acids was found (eicosapentaenoic, C20:5 ω 3 and docosahexaenoic, C22:6 ω 3). Treatments with immersion feeding and surface feeding in tilapia, showed a high significant difference in all cases. These results suggest that immersion feeding favours the ω 6 fatty acid content.

INTRODUCCIÓN

Tilapia roja (*Oreochromis niloticus*) y trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), son los peces de agua dulce que se cultivan en mayor escala en Panamá, debido a su valor comercial

Tanto la tilapia roja como la trucha arco iris son especies cultivadas en estanque para ser utilizadas en la explotación piscícola. La tilapia roja se desarrolla en ambientes cuyas temperaturas oscilan entre 20 y 30 °C, mientras que la trucha arco iris, alcanza condiciones óptimas en ambientes con temperaturas que oscilan entre 12 y 20 °C. Estas condiciones permiten el desarrollo de especies de peces de agua dulce en dos regiones diferentes, la tilapia en aguas cálidas y la trucha en aguas frías, ofreciéndole así a acuicultores la oportunidad de incursionar en esta actividad.

La literatura sobre la composición de ácidos grasos en peces de agua dulce no es muy abundante, y considerando que la actividad piscícola es una alternativa a la actividad agrícola, como fuente importante de ingreso para familias rurales y como suplemento alimenticio de alto valor nutritivo, es importante conocer el contenido de ácidos grasos presentes en las especies antes mencionadas.

En las últimas décadas, los estudios sobre la composición de ácidos grasos en peces se ha incrementado debido a los efectos beneficiosos que se han observados en la salud de las personas que frecuentemente los consumen. Estudios al respecto han progresado tanto que recientes informaciones médico-científicas involucran al EPA (ácido eicosapentaenoico C20:5 ω 3) y al DHA (ácido docosaheptaenoico C22:5 ω 3) en la

prevención de enfermedades cardiovasculares, las cuales afectan a un gran porcentaje de la población mundial (Goodnight et al., 1992)

Tanto peces de origen marino como los de agua dulce son fuentes de ácidos grasos insaturados, específicamente los omega tres ($\omega 3$), los cuales poseen un elevado valor nutritivo debido a sus efectos beneficiosos para la salud por su demostrada capacidad en la prevención de enfermedades cardiovasculares y las relacionadas con el sistema nervioso y reumatismo (Urbina, 2000).

Es probable que los peces de agua dulce tilapia roja y trucha arco iris registren una composición de ácidos grasos insaturados abundantes, según edad, tipo de alimentación y la localización geográfica de estas especies.

Con el propósito de obtener información sobre los ácidos grasos presentes en peces de agua dulce, el presente estudio determina la composición de ácidos grasos de las especies trucha arco iris y la tilapia roja y muestra cómo influyen parámetros como la temperatura a la cual se desarrollan, el tipo de alimentación que se les suministra (gránulos de alimento concentrado, GAC), y el plancton existente en los estanques de cultivo, así como la variación en la composición de los ácidos grasos en muestras de peces de diferentes pesos y tamaños, partiendo de aquellas edades aptas para su consumo

En este trabajo también se detalla la composición de ácidos grasos saturados, monoinsaturados (MUFA) y polisaturados (PUFA), identificándose en estos últimos las fracciones de ácidos grasos $\omega 3$ y $\omega 6$ presentes

La presente investigación pretende cumplir con los siguientes objetivos

OBJETIVO GENERAL

- Determinar la composición de ácidos grasos de las especies de agua dulce tilapia roja y trucha arco iris mediante la técnica de cromatografía de gases

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar el contenido de ácidos grasos presentes en las especies de agua dulce tilapia roja y trucha arco iris
- Especificar los ácidos grasos saturados, monoinsaturados y polisaturados que se encuentran en mayor porcentaje en la especies tilapia roja y trucha arco iris
- Comparar la composición de ácidos grasos del contenido lipídico de la tilapia roja y la trucha arco iris con los encontrados en la literatura para otras especies de peces
- Identificar los ácidos grasos $\omega 3$ y $\omega 6$ presentes en el aceite de la tilapia roja y trucha arco iris.
- Establecer una base de datos sobre la composición de ácidos grasos de las especies de agua dulce tilapia roja y trucha arco iris
- Comparar el contenido de ácidos grasos saturados respecto a los insaturados presentes en la porción lipídica de las especies de peces investigadas

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades del cultivo de peces de agua dulce

El cultivo de peces de agua dulce puede realizarse en áreas controladas que permitan el desarrollo exitoso de estas especies. Condiciones como la fuente natural del agua, características del estanque de cultivo, calidad del agua, temperatura y el tipo de alimentación son consideradas importantes para la producción piscícola y al específica para cada especie de pez.

Esta investigación está orientada hacia el efecto que tiene el tipo de alimentación y la temperatura en la composición de los lípidos, en las especies tilapia roja y trucha arco iris.

1.1.1 Tilapia roja

La tilapia roja es un pez de agua dulce que se cultiva en estanques, en un área que dependerá de la capacidad de producción que se requiera y del tipo de manejo que se espera dar en la granja y cuya profundidad oscila entre 1 a 1.5 metros. La tilapia roja es un pez de agua caliente que se desarrolla a temperaturas entre 25 y 30 °C. La temperatura tiene un pronunciado efecto sobre los procesos químicos y biológicos (Esquivel, 1989).

En Panamá, el cultivo de la tilapia roja se ha intensificado. Esta especie es de color oscuro, con rayas transversales tenues, las que son más notorias en la cola donde toman una coloración rojiza. (Fig. 1). La textura de la carne es firme, de buen sabor y carece de espinas intramusculares. Independientemente del tamaño, la tilapia roja alcanza la madurez sexual a los seis meses y es muy prolífica; una hembra puede tener hasta tres desoves al año y en cada desove, puede depositar aproximadamente 214 huevos por cada

gramo de peso corporal de la hembra. Su tipo de alimentación es omnívoro, o sea que acepta una amplia variedad de alimentos tanto naturales como artificiales (Serrano, 1990).



Fig. 1. Tilapia Roja

Se acostumbra a practicar controles de reproducción para evitar la proliferación excesiva y uno de los más comunes es la reversión sexual, la cual consiste en convertir toda la población a un solo sexo a través del suministro de hormonas masculinas o femeninas en el alimento, cuando las crías están en la fase en que el sexo no se ha diferenciado. Las hormonas se suministran a las crías desde que tienen 9 mm de longitud durante un mes. Estas hormonas se degradan y no se acumulan en los tejidos del pez, por lo que éste puede ser utilizado para consumo humano posteriormente (Serrano, 1990).

Las tilapias rojas pueden ser consumidas a partir de los 7 meses de edad y su máximo desarrollo se alcanza a los 13 meses.

1.1.2. Trucha arco iris

La trucha arco iris es una especie de la familia Salmonidae adaptada a la piscicultura intensiva debido a su docilidad en cautiverio, aceptación de alimentos balanceados, buena resistencia a enfermedades, desarrollo rápido y tolerancia a distintas temperaturas (Chacón, 2000).

Según Ladewing y Morat (1995), la trucha arco iris es fácilmente identificada por la banda iridiscente que corre a lo largo de su cuerpo, posee manchas negras mezcladas con puntos verde oliva oscuro, con un cinturón blanco plateado; su aleta dorsal y la cola están generosamente cubiertas con manchas negras. La luminosidad del color de la trucha varía debido al medio donde vive y a la alimentación. (Fig. 2)

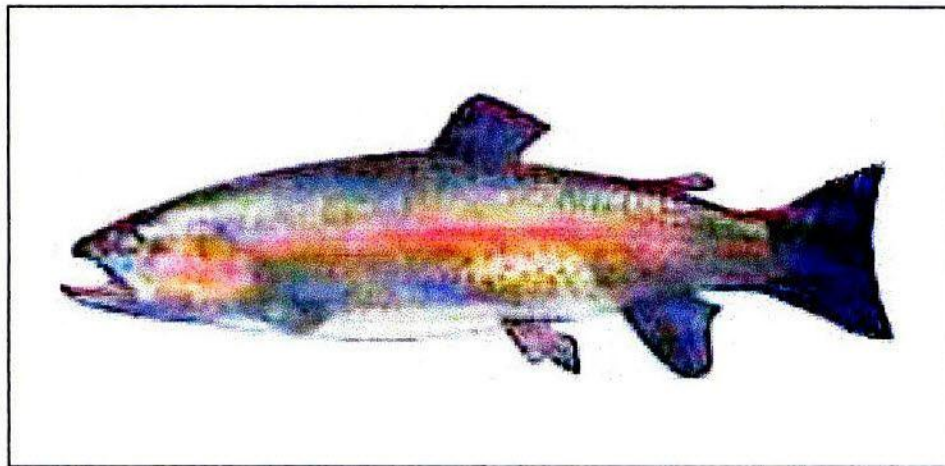


Fig. 2. Trucha arco iris

La trucha arco iris se cultiva también en estanques al igual que la tilapia. Se desarrollan mejor cuando el intervalo de temperatura del agua es entre 12 y 20 °C, pero pueden sobrevivir a una temperatura ligeramente mayor. Es necesario tener precaución

con temperaturas mayores, pues a medida que el agua se calienta, pierde el oxígeno que los peces necesitan para vivir (Borell y Sheffer, 1972).

El régimen alimentario de truchas es básicamente el mismo que el de tilapia; las mismas pueden alimentarse de los nutrientes primarios que puedan existir en el lugar de su hábitat. Sin embargo, al igual que las tilapias, el cultivo en estanque involucra la alimentación con suplementos dietéticos que les proporcionan los requerimientos necesarios de una dieta balanceada.

1.2. Alimentación de tilapia roja y trucha arco iris

En un estanque, el fitoplancton realiza la fotosíntesis a partir de la luz solar y de los nutrimentos que aporta el abono orgánico o químico. En este ambiente comienza una cadena, ya que como resultado de la fotosíntesis ocurre una transformación energética, cuyos productos son el oxígeno y los azúcares. Estos azúcares serán la fuente energética de los insectos y del zooplancton, e inclusive de algunas especies de peces. El zooplancton y los insectos también serán fuente alimenticia de los peces; además, existen las especies bentónicas que se encuentran en el fondo del estanque y se nutren de fitoplancton, zooplancton, insectos, peces y otros animales en descomposición, los cuales a su vez sirven de alimento para los peces (Esquivel, 1989).

Existen otras vías de alimentación para peces cultivados en estanques. Para las especies tilapias y truchas se emplean métodos específicos con dietas balanceadas suministradas en forma de gránulos que permiten un rápido crecimiento con fines comerciales.

Las dietas se formulan con cantidades específicas de proteínas y aminoácidos, carbohidratos, ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales, cuyas proporciones dependerán de las necesidades energéticas del pez (Ulloa, 1995). La deficiencia de alguno de estos nutrientes es determinada mediante la observación del desarrollo anormal de ciertos órganos. Así, por ejemplo, un signo de deficiencia de ácidos grasos esenciales para tilapias es la presencia del hígado pálido, suave y con almacenamiento de gránulos de grasa.

Las diferencias en los requerimientos nutricionales están relacionadas con la especie, la variedad genética, el sexo, el estado de madurez sexual y otros, lo cual afecta la tasa de crecimiento, la conversión alimenticia y la composición corporal del pez. El requerimiento total de un nutriente específico durante la etapa de crecimiento (cantidad necesaria para el mantenimiento y la formación de estructuras) puede ser también afectado por las interrelaciones entre ingredientes y nutrientes, y sus niveles en la dieta (Hilton, 1989, Heinsbroek, 1990).

Los lípidos constituyen un componente importante en las formulaciones de la dieta, pues los peces los utilizan como fuente de energía y de ácidos grasos esenciales. También tienen un papel importante como componentes de la estructura celular, como transportadores de vitaminas liposolubles en grasas (A, D E y K), para el mantenimiento de la integridad de las membranas y, como precursor de componentes activos (hormonas, pigmentos, etc.). La fluidez de las membranas es parcialmente regulada por los ácidos grasos esenciales contenidos en los fosfolípidos que controlan tales procesos. Los ácidos grasos poliinsaturados tienen varios papeles centrales en la regulación de las funciones respiratorias y reproductiva de los peces (NRC, 1983; Satoh, 1991 y Jobling, 1994).

La digestibilidad de los lípidos es bastante alta, aunque puede variar según la fuente; por ejemplo, 89,4% para los lípidos de la harina de pescado, y 94,5% para los de la harina de pupa del gusano de seda, un valor medio para el del ensilado de pescado (Hossain et al., 1992). Investigaciones realizadas han permitido establecer las necesidades de ácidos grasos esenciales en tilapia roja y otras especies tal como se muestra en el cuadro I (Stickney y McGeachin 1983; Tacon, 1990; Luquet, 1991; El-Sayet y Teshima, 1991).

Cuadro I. REQUERIMIENTOS DE ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES EN TILAPIA Y OTRAS ESPECIES, EXPRESADO COMO PORCENTAJE DE LA DIETA

| Especie | Acido Graso ^a | Cantidad |
|---|--------------------------------|-----------|
| <i>T. zilli</i> | 18: 2 ω6 6 22: 4 ω 6 | 1.0 |
| <i>O. niloticus</i> | 18: 2 ω6 | 1.0 |
| | 22: 4 ω6 | 1.0 |
| | 18: 2 ω6 | 0.5 |
| <i>O. aureus</i> | ω 6 series, "ω 3" ^b | 0.8 – 1.7 |
| <i>O. mykiss</i> | 18: 3 ω 3 | 1.0 |
| <i>C. carpio</i> | 18: 2 ω 6 | 1.0 |
| ^a El requerimiento puede variar dependiendo del nivel de lípidos. | | |
| ^b Se ha establecido el requerimiento, sin embargo el valor exacto no se ha determinado | | |

La información sobre el papel determinante de la dieta en las características del material graso es controversial. Los peces de agua dulce y marinos difieren entre sí y de

otros animales sólo en sus dietas y no en los mecanismos naturales del metabolismo de sus ácidos grasos; además, la tendencia general de los peces es depositar grasa con una composición similar a la del alimento que ingieren independientemente de los factores genéticos. (Pazos et al, 1984).

Los ácidos grasos presentes en los peces pueden tener sus orígenes en los que se incorporan mediante la dieta, los transformados metabólicamente y aquéllos que se forman por efecto de biogénesis o síntesis endógena. Esta última es poco responsable del tipo de ácidos grasos presentes (Bottino et al., 1980) .

Los peces son incapaces de sintetizar *de novo* los ácidos grasos esenciales de las series $\omega 6$ (ácido linoleico, $18:2\omega 6$) y $\omega 3$ (ácido linolénico, $18:3\omega 3$), por lo que ingredientes conteniendo estos ácidos grasos esenciales deben ser incluidos en la dieta para garantizar un crecimiento y sobrevivencia normales (Watanabe, 1982). Muchas especies de peces tienen la habilidad de convertir y elongar estos ácidos grasos esenciales a ácidos grasos poliinsaturados (ácido araquidónico, ácido eicosapentaenoico y otros) que también son requeridos por el pez (Jobling, 1994).

Se ha demostrado que los requerimientos de ácidos grasos esenciales varían considerablemente entre especies, principalmente entre peces marinos y de agua dulce, peces de aguas frías y de aguas cálidas, y entre peces carnívoros y herbívoros (Watanabe, 1982 y Satoh, 1991). Generalmente, la deposición del lípido corporal está directamente relacionada con el nivel de lípidos en la dieta y la composición de ácidos grasos de la grasa corporal refleja la composición de los mismos en la dieta.

Investigaciones realizadas en los Estados Unidos han demostrado que particularmente las truchas requieren dietas que contengan ácidos grasos ω 3 de cadena larga para su normal crecimiento. Inicialmente, los ácidos grasos que eran considerados como esenciales en organismos superiores fueron el ácido linoleico (18:2) y el ácido araquidónico (20:4), ambos de la familia ω 6. Sin embargo, parece que la capacidad de elongar y saturar los ácidos grasos varía en gran medida entre los peces, lo cual afecta específicamente sus requerimientos dietéticos (Stansby, 1990).

Investigaciones sobre los efectos de la dieta en la composición de ácidos grasos que presentan las especies de pescado han sido realizadas por Hayashi y Takagi (1977) y Pazos et al. (1984). Otros investigadores han estudiado las variaciones sustanciales de los ácidos grasos en los peces de acuerdo con la distribución corporal (Ardí y Mackie, 1969; Tsukuda, 1978).

1.3. Lípidos en peces

Los lípidos constituyen el componente más variable en el músculo del pez, por lo que son los principales responsables de las grandes diferencias existentes entre las características de la carne de algunas especies. Las diferencias en cuanto al contenido de lípidos son tales que, mientras las máximas variaciones en otros componentes como agua o proteínas pueden ser de tres a uno, en el caso de los lípidos pueden encontrarse de trescientos a uno (Batista, 1994).

Los lípidos presentes en las especies de peces óseos pueden ser divididos en dos grandes grupos: los fosfolípidos y los triglicéridos. Los fosfolípidos constituyen la estructura integral de la unidad de membranas en la célula, por lo que a menudo se les

denominan lípidos estructurales. Los triglicéridos son lípidos empleados para el almacenamiento de energía en depósitos de grasas, generalmente dentro de células especiales rodeadas por una membrana fosfolipídica y una red de colágeno relativamente débil. Los triglicéridos son a menudo denominados depósitos de grasa. Algunos peces contienen ceras esterificadas como parte de sus depósitos de grasa.

Las especies de pescado pueden ser clasificadas en magras o grasas dependiendo de como almacenan los lípidos de reserva energética. Los pescados magros usan el hígado como su depósito de energía y las especies grasas almacenan lípidos en células grasas en todas partes del cuerpo.

El músculo blanco de un pez magro típico como el bacalao, contiene menos del 1 por ciento de lípidos. De este porcentaje, los fosfolípidos constituyen el 90 por ciento (Ackman, 1980). La fracción fosfolipídica en el pescado magro consiste en un 69 por ciento de fosfatidilcolina, 19 por ciento de fosfatiletanolamina y 5 por ciento de fosfatidilserina. Adicionalmente, existen otros fosfolípidos, pero en cantidades inferiores.

Todos los fosfolípidos se encuentran almacenados en las estructuras de la membrana, incluyendo la membrana celular, el retículo endoplasmático y otros sistemas tubulares intracelulares, como también en membranas de los organelos como las mitocondrias. Además de fosfolípidos, las membranas también contienen colesterol, que contribuye a la fluidez de la membrana. En el tejido muscular de pescados magros se puede encontrar colesterol hasta en un 6 por ciento del total de los lípidos. Este nivel es similar al encontrado en los músculos de mamíferos.

Las células grasas que constituyen los depósitos de lípidos en las especies grasas están localizadas generalmente en el tejido subcutáneo, en los músculos del vientre y en los músculos que mueven las aletas y la cola. En algunas especies que almacenan cantidades extraordinariamente elevadas de lípidos, la grasa también puede ser depositada en la cavidad ventral. Dependiendo de la cantidad de ácidos grasos poliinsaturados, la mayor parte de las grasas en el pescado son más o menos líquidas a baja temperatura.

El porcentaje total de ácidos grasos poliinsaturados con cuatro, cinco o seis dobles enlaces es levemente menor en los lípidos de peces de agua dulce (aproximadamente 70 por ciento) que en los lípidos de peces de agua de mar (aproximadamente 88 por ciento) (Stansby y Hall, 1967). Sin embargo, la composición de lípidos no es completamente fija sino que puede variar un poco con la alimentación del animal y la estación del año.

1.3.1. Metabolismo de lípidos en peces

Los peces son incapaces de sintetizar de *novo* los ácidos grasos de la serie $\omega 6$ y $\omega 3$ por lo que deben ser incluidos en sus dietas para garantizar un crecimiento y sobrevivencia normales (Watanabe, 1982).

Enzimas claves en la síntesis de lípidos se han identificado en numerosas especies. La ATP-citrato liasa es una enzima citosólica que cataliza la formación de acetil coenzima A (Acetil-CoA), la cual es la molécula precursora fundamental de todos los lípidos formados endógenamente. La actividad de esta enzima ha sido estudiada en algunas especies, entre ellas la trucha arco iris (Henderson et al., 1981; en Stansby, 1990).

El palmitato 16:0, producto normal de la síntesis de ácidos grasos, es el precursor de los ácidos grasos saturados e insaturados de cadena mayor a través de las enzimas elongasas que se encuentran en la mitocondria y el retículo endoplásmico; el mecanismo es diferente en ambos organelos. Las insaturaciones se producen por la catálisis de las enzimas desaturasas terminales. Los mamíferos presentan cuatro desaturasas dependiendo del sitio en donde hacen la doble ligadura.

La diferencia más significativa entre los peces y mamíferos está en su capacidad para desaturar y elongar ácidos grasos. Los primeros estudios con truchas arco iris demostraron que los peces también podían elongar y desaturar ácidos grasos de la familia ω 3. Esta capacidad sugiere la presencia de rutas metabólicas que juegan un papel importante en el metabolismo de los ácidos grasos ω 3 y, por lo tanto, en el valor nutritivo de los peces (Stansby, 1990).

Los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga predominan en la cadena alimenticia de ambientes marinos y aguas superficiales. Patton y Benson (1975) compararon los procesos digestivos de grasas en peces y otros mamíferos y encontraron que la hidrólisis de triacilglicerol en dietas de mamíferos, normalmente mediada por una lipasa pancreática, hidroliza sólo los grupos acil de las posiciones sn-1 y sn-3 del glicerol, quedando el 2-monoacilglicerol intacto. En contraste, sugirieron que en peces existe una lipasa que tiene afinidad por la posición sn-2 de los acilglicerol, especialmente si están presentes ácidos grasos poliinsaturados de la familia ω 3 ya que muchas especies de peces tienen requerimientos dietéticos por estos ácidos grasos.

Una gran proporción de ácidos grasos de cadena larga disponibles para los peces en la cadena alimentaria marina se encuentran en forma de ceras o ésteres grasos. Generalmente, los mamíferos son incapaces de digerir las ceras, mientras que se ha observado que los peces poseen una actividad de cerahidrolasa, la cual fácilmente hidroliza estos tipos de ésteres grasos.

La cantidad de ceras proporcionadas en los lípidos de la dieta varía ampliamente de una especie a otra. Por ejemplo, en la anchoveta, el 70% de su dieta en peso seco corresponde a estos ésteres grasos, mientras que el pescado coral, normalmente ingiere sólo cantidades limitadas de ceras (Patton y Benson, 1975).

Sargent et al. (1979) de igual modo encontraron que las truchas arco iris, alimentadas con dietas no controladas (dietas silvestres), eran capaces de asimilar ésteres cera tan eficientemente como el arenque.

El glicerol 3-fosfato es una molécula precursora en la biosíntesis de los acilgliceroles y fosfolípidos. Las enzimas glicerol-3-fosfato aciltransferasa y fosfatidato fosfatasa están involucradas en la adición de ácidos grasos al glicerol-3-fosfato. Según Holub et al. (1975), en Stansby (1990), la actividad de ambas enzimas fue confirmada en estudios preliminares realizados en truchas arco iris.

1.3.2. Ácidos grasos esenciales

Los peces requieren de mayor proporción de proteína y lípidos que de carbohidratos para su crecimiento y reproducción (Ulloa, 1995). Es por esta razón que

se han establecido dietas comerciales especiales para ser utilizadas en el campo de la acuicultura. Investigaciones realizadas por Takeuchi et al. (1983) en tilapias sugieren que estas especies de aguas cálidas pueden tener un mayor requerimiento de ácidos grasos $\omega 6$ que los ácidos grasos $\omega 3$. Así, por ejemplo, se observó en tilapia roja una mayor ganancia en peso con dietas que contenían 0,5% y 1,0% de metil linoleato (18:2 $\omega 6$) comparándolo con los mismo niveles de ésteres metílicos 18:1 $\omega 9$ y 18:3 $\omega 3$.

Stickney y Wurts (1986) encontraron que los 18:3 $\omega 3$ en particular están implicados en una disminución del crecimiento y no los ácidos grasos poliinsaturados $\omega 3$ en general. La disminución del crecimiento observada en todas las especies de tilapias fue el resultado de una dieta que contenía arriba del 1% de ésteres metílicos 18:3 $\omega 3$, mientras que dietas con incorporación de aceites de sábalo y bagre promovieron un mayor crecimiento.

Las truchas convierten el ácido α -linolénico en ácido eicosapentaenoico (20:5 $\omega 3$) y ácido docosahexaenoico (22:6 $\omega 3$), los dos ácidos grasos poliinsaturados normalmente encontrados en altas concentraciones en tejidos de truchas. Estudios realizados por Yu et al. (1979) señalan que truchas criadas por dos generaciones con ácido α -linolénico como única fuente de ácidos grasos esenciales permitieron el desarrollo normal de riñones, corazón y tejidos de hígado en estas especies. Sin embargo, cuando los ácidos grasos $\omega 3$ son disminuidos en la dieta, las truchas presentan una sobreproducción de ácido eicosatrienoico (20:3 $\omega 9$), el cual es un ácido graso de cadena larga que puede ser sintetizado endógenamente, para compensar la carencia de los ácidos grasos poliinsaturados de la dieta.

1.4. Factores ambientales que afectan la composición de lípidos en peces

1.4.1. Adaptación térmica

Los cambios en la temperatura del agua por efecto de cambios climáticos naturales inducen modificaciones en la composición de lípidos de las membranas celulares de los peces para mantener constante la fluidez de proteínas asociadas con la matriz (Hazel, 1984; Greene y Selivonchick, 1987). Las principales modificaciones que se observan en los peces son: (1) cambios en la composición de los grupos acilos de la cadena, (2) rearrreglos de ácidos grasos esterificados en las moléculas de fosfolípidos, y (3) cambios en la clase de fosfolípidos. Dichas modificaciones dependen a su vez de cambios en la actividad enzimática.

Hagar y Hazel (1985) observaron estos tres cambios en los fosfolípidos de hígado de trucha cuando la temperatura de aclimatación fue disminuida de 20°C a 5°C. El incremento observado en la razón insaturación/saturación de fosfolípidos fue en ácidos grasos 20:3 ω 3, 20:4 ω 3, 22:6 ω 3, y 20:4 ω 6, y la pérdida de 16:0. Además, encontraron que la proporción de fosfatidiletanolamina (PE) se incrementó a expensas de esfingomielina y cardiolipina. Por su parte, Hui et al. (1981), sugirieron que el incremento en el nivel de PE contrarresta los efectos de compactación de las membranas celulares por temperaturas frías, al formar moléculas más pequeñas en la bicapa de lípidos.

Christiansen (1984) y Wodtke (1978), estudiaron la composición de ácidos grasos en función de los procesos de aclimatación al frío en variedades de carpa, y también encontraron incrementos en PE y ácidos grasos monoinsaturados, a los 10°C. Otras

investigaciones (Anderson et al., 1984; y Viola et al., 1988) revelaron que la tilapia difiere de la trucha y la carpa en sus patrones de almacenamiento y movilización de lípidos. Se observó que la tilapia no es capaz de movilizar lípidos de los depósitos viscerales hacia los músculos, lo que le impide aclimatarse a bajas temperaturas y en consecuencia presenta altas tasas de mortalidad. Contrariamente, la aclimatación a temperaturas cálidas requiere un incremento en la saturación de fosfolípidos para contrarrestar la excesiva fluidez de la membrana en estos peces.

1.4.2. Habitat natural

Algunos estudios comparan la composición de lípidos de peces cultivados en estanques con aquéllos que crecieron en forma silvestre en corrientes de aguas naturales. Susuki et al. (1986), y Csengeri et al. (1978), encontraron niveles mayores de ácido graso 20:4 ω 6 tanto en músculo dorsal como en tejido adiposo de carpas silvestres.

1.4.3. Salinidad del agua

El agua dulce y el agua salada también afectan los patrones específicos de lípidos, particularmente con respecto a las fosfatidilcolina (PC). La adaptación del pez guppy (*Poecilia reticulata*) en agua de mar provocó un incremento en PC en sus agallas, tractos digestivos y tejidos musculares y la fracción PC se enriqueció a su vez en 22:6 ω 3 a expensas de 20:4 ω 6 comparados con los guppies de agua dulce (Daikoku et al., 1982). En anguilas, igualmente, el 20:4 ω 6, el cual es el ácido graso poliinsaturado (PUFA) mas abundante en agallas de animales de agua dulce, fue reemplazado por el 22:6 ω 3 cuando las anguilas fueron transferidas a agua salada (Thomson et al., 1977). Las transferencias

de truchas a aguas saladas también presentaron el efecto de incrementar los niveles de 22:6 ω 3. a partir de PC aisladas de membranas intestinales (LeRay et al., 1984).

1.5. Propiedades de la carne de pescado

La carne de pescado, a diferencia de la de mamíferos, poseen fibras cortas, lo cual facilita su rápida digestión y, sus lípidos dependiendo de la especie, contiene un adecuado porcentaje de ácidos grasos del tipo ω 3. Dos de estos ácidos grasos ω 3, el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA), se encuentran formando parte de triacilgliceroles y son considerados vitales en la multiplicación celular y metabolismo de la misma.

Los ácidos grasos EPA y DHA son utilizados en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares, asma, psoriasis, y otras (Deckere, 1999; Simopoulos, 1999; Goodnight et al. 1992 y Goodnight, 1991). La carne de pescado, también contiene una serie de vitaminas y oligoelementos, como por ejemplo el selenio, el cual posee efectos antirradicales libres y antioxidantes (Carrizo, 1997). La carne de pescado también posee (dependiendo de la especie) excelentes porcentajes de los aminoácidos esenciales lisina y metionina, compuestos que intervienen como factor de crecimiento en las formulaciones de alimentos balanceados (Carrizo, 1997).

Una característica del pescado es que se puede aprovechar en su totalidad. Las proteínas de diferentes especies se utilizan para elaborar productos con o sin sabor de pescado (hamburguesas, embutidos, tortas, empanadas, etc.), mientras que los residuos se aprovechan en la obtención de ensilados biológicos, los cuales a su vez son empleados en

la acuicultura para la elaboración de alimentos balanceados para la cría de cerdos, pollos y otros animales.

1.6. Caracterización del aceite de pescado

Las grasas y aceites que se obtienen a partir del pescado poseen características particulares que los hacen muy diferentes a los de cualquiera otra fuente natural. Según Ackman (1974), existen cerca de 50 o 60 componentes de ácidos grasos en peces; pero sólo 14 de ellos son realmente importantes para analizar, en términos de su porcentaje en peso.

El índice de saponificación y el índice de yodo han sido utilizados tradicionalmente como criterios para caracterizar los tipos de aceites de pescado (Gheyansuddin et al., 1978), creyéndose inicialmente que estos valores variaban muy poco de una muestra a otra. Sin embargo, hoy se sabe que dichos valores varían de una especie a otra, así como dentro de una misma especie. Pese a ello, el patrón de ácidos grasos no es completamente independiente de la especie, pues existen vías metabólicas que tienden a producir grasas de un patrón al menos un tanto típico de las especies (Stansby, 1982).

Los ácidos grasos de los peces se caracterizan por poseer largas cadenas lineales de átomos de carbono desde 14 hasta unos 24 átomos, presentándose saturados, monoinsaturados (monoenoicos) y gran cantidad de ácidos grasos poliinsaturados (polienoicos). Según Hug y Rubbi, (1978) y Stansby (1982), los ácidos grasos con 5 ó 6 insaturaciones se encuentran en porcentajes comprendidos entre el 15% y 30%, en tanto que los aceites vegetales poseen un porcentaje típico inferior al 1%.

La mayoría de los ácidos grasos insaturados presentes en peces son de la familia del ácido linolénico ($\omega 3$) a diferencia de los aceites vegetales, cuyos principales ácidos grasos insaturados son de la familia del ácido linoleico ($\omega 6$). La presencia de ácidos grasos con un número impar de átomos de carbono oscila entre el 1% y el 3%; sin embargo, Gruger y colaboradores (1960) encontraron contenidos de ácidos grasos impares superiores al 25% en varias especies de pescado. Muchos otros autores informan la presencia de algunos ácidos grasos poco comunes presentes en cantidades detectables (Morice y Sholand, 1956; Pazos, Wakao y Vicetti, 1984; Rao y Gedam, 1985).

El contenido de lípidos en peces es muy inferior al encontrado en animales terrestres (Gauglitz et al., 1974). De acuerdo con trabajos realizados para establecer valores del contenido de grasas y aceites en peces, se consideran tres factores fundamentales que determinan su contenido de lípidos: la especie, el estado fisiológico o madurez del individuo y la parte del cuerpo utilizada en la determinación (Jiménez, 1989). Otro factor, considerado por algunos autores como determinante del porcentaje de lípidos, es la época del año. Hayashi y Takagi (1977) proporcionan una serie de tablas muy detalladas sobre la variación mensual de los ácidos grasos en los lípidos simples y complejos tanto del músculo como de las vísceras de sardina (*Sardinops melanosticta*).

1.7. Propiedades nutricionales del aceite de pescado para el consumo humano

En las últimas décadas han sido considerables las publicaciones acerca del valor del aceite de pescado en las dietas como un recurso para disminuir ciertas enfermedades, especialmente las del corazón. Estas publicaciones describen la relación entre el

contenido de ácidos grasos ω 3 encontrados en el aceite de pescado y los efectos en estas y otras enfermedades.

Los tejidos de los seres humanos, al igual que los del resto de los animales, tienen una capacidad limitada para desaturar los ácidos grasos. Por esto requieren ingerir en los alimentos ciertos ácidos grasos poliinsaturados derivados de fuentes vegetales y de aceites de pescado. Tales ácidos grasos esenciales dan origen a los eicosanoides, prostaglandinas, tromboxanos, leucotrienos y lipoxinas (Mayes. P. en Murray y Mayes, 1997). Estos compuestos están entre los más potentes reguladores naturales de la función celular y son producidos casi por cada célula del organismo (Marks. et al., 1996).

Los fosfolípidos de la membrana celular contienen ácidos grasos insaturados importantes en la conservación de la fluidez de la misma membrana. Una porción alta de ácidos grasos poliinsaturados a ácidos grasos saturados (proporción P/S) en la alimentación es un factor importante en la reducción de los niveles de colesterol plasmático por medios dietéticos y por ende beneficioso en la prevención de enfermedades coronarias (Mata et al., 1993).

Los ácidos grasos ω 3 son altamente insaturados y principales constituyentes de los aceites de pescado. Estos ácidos grasos se originan en el plancton y se extiende sobre la cadena alimenticia de los peces, pudiendo ser así consumidos por el hombre (Goodnight et al., 1992).

Los ácidos grasos ω 3 biológicamente activos incluyen el ácido eicosapentaenoico y el docosahexaenoico los cuales son considerados como beneficiosos para la salud humana. Estudios realizados por Dyerberg y colaboradores, (1978) sugieren que los

esquimales tienen bajas incidencias de infarto al miocardio, ya que gran parte de la dieta de estos habitantes está basada en el consumo de pescado.

En 1986, Neuringer et al., encontraron que el ácido docosahexaenoico es el ácido graso primario en muchos tejidos. Indican además, que altos niveles de C22:6 ω 3 se han encontrado en la retina y en la corteza cerebral, especialmente en los fosfolípidos de fotorreceptores de segmentos externos de estas membranas y de membranas sinaptosomal.

1.7.1. Acción de los ácidos grasos saturados en las lipoproteínas plasmáticas

El efecto de los ácidos grasos saturados en los niveles de colesterol total presente en las lipoproteínas plasmáticas está bien establecido. Hace casi 30 años, los estudios dietéticos pioneros de Keys et al. 1965 y Keys et al. 1986, demostraron que al compararlos con los carbohidratos, los ácidos grasos saturados aumentaban la colesterolemia, los ácidos grasos monoinsaturados tenían un efecto neutro y los ácidos grasos poliinsaturados lo reducían. Sin embargo, la sustitución de ácidos grasos saturados por ácidos grasos monoinsaturados producía un descenso en las concentraciones del colesterol total. Si bien se reconoció el efecto hipocolesterolemiantes de los ácidos grasos monoinsaturados, se consideró inferior al de los ácidos grasos poliinsaturados.

La dieta contiene ácidos grasos saturados de distinta longitud en la cadena. Según Caballero et al. (2000), el efecto hipercolesterolemiantes de los diferentes ácidos grasos saturados no es igual. Aparentemente, tanto el ácido esteárico (C18:0) como los de cadena corta (C10 y menores) apenas modifican la colesterolemia. Por tanto, los ácidos

grasos saturados más hipercolesterolemiantes (o aterogénicos) son el láurico (C12:0), mirístico (C14:0) y palmítico (C16:0).

No sólo los ácidos grasos saturados han demostrado elevar los niveles de colesterol. En la última década, según Aro et al. (1997) y Khosla, P. et al. (1996), varios estudios clínicos epidemiológicos coinciden en demostrar que los ácidos grasos trans poseen efectos adversos sobre las lipoproteínas plasmáticas, causando incremento de LDL y descenso de HDL. Estos ácidos grasos trans constituyen el 3% ó 4% de la grasa animal, producidos por acción bacteriana.

La mayor fuente de isómeros trans en la dieta humana deriva del procesamiento industrial de aceites vegetales, proceso conocido como hidrogenación, el cual permite solidificar grasas que a temperatura ambiente son líquidas, y para aumentar la estabilidad del producto. La hidrogenación genera gran cantidad de ácidos grasos trans, que puede alcanzar hasta un 40% de las grasas totales (Caballero et al., 2000).

1.7.2 Ácidos grasos poliinsaturados ω 3

Los estudios en poblaciones que consumen grandes cantidades de ácidos grasos ω -3 provenientes de pescado y otros animales marinos sugieren que estos hábitos dietéticos se relacionan con una baja incidencia de enfermedades cardiovasculares. El mecanismo de este presunto efecto protector puede deberse a una modificación del perfil lipídico, o a la inhibición de la agregación plaquetaria, mediante la disminución de la formación de tromboxano A_2 y la reducción de la presión arterial y la viscosidad sanguínea (Mata et al., 1993).

Los informes sobre los efectos de los ácidos grasos ω 3 sobre el metabolismo lipoproteico son controversiales y no están tan bien definidos como los de otros ácidos grasos insaturados. Aunque está bien demostrado que disminuyen la trigliceridemia, su efecto sobre los niveles de cLDL y cHDL depende del individuo y del estado de normo o hiperlipidemia. Así, en pacientes con hiperlipidemia, los ácidos grasos ω 3 disminuyen el cLDL si simultáneamente se disminuye el contenido dietético de ácidos grasos saturados. El efecto sobre el cHDL puede variar, desde no producir cambios o una ligera disminución hasta leves aumentos.

Esto último se observa en pacientes con hipertrigliceridemia y probablemente se debe a la relación inversa entre los niveles de lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) y HDL. Por tanto, el efecto más llamativo de los ácidos grasos ω 3 sobre la composición lipoproteica es el descenso en los niveles plasmáticos de triglicéridos y VLDL, tanto en sujetos normales como hiperlipidémicos. Esta reducción se debe a la inhibición de la síntesis hepática de triglicéridos y VLDL (Mata et al., 1993).

Cuando se analizan los estudios que relacionan un consumo elevado de ácidos grasos ω 3 con una baja mortalidad cardiovascular, como entre los esquimales de Groenlandia, deben hacerse algunas matizaciones. Comparada con la dieta de la población de Dinamarca, los esquimales consumen casi cinco veces más ácidos grasos ω 3, pero también casi el doble de ácidos grasos monoinsaturados. Además, su consumo en ácidos grasos saturados es claramente inferior al de los daneses. Estas diferencias en la composición de los diversos ácidos grasos de la dieta debería tenerse en cuenta cuando se relaciona el descenso del riesgo de enfermedades cardiovasculares con el consumo de

ácidos grasos ω_3 derivados del pescado, ya que dicha asociación podría estar sobrevalorada (Deckere, 1999).

1.7.3. Ácidos grasos monoinsaturados frente a poliinsaturados

Durante muchos años, el interés sobre los ácidos grasos de la dieta se ha centrado en los saturados y los poliinsaturados. Esto motivó que la composición grasa de las dietas se expresase como el índice P/S, utilizándose este cociente como un determinante clave en la regulación de los niveles de colesterol. Los ácidos grasos monoinsaturados fueron olvidados en la mayoría de los estudios, por lo que la dieta habitualmente recomendada para reducir la colesterolemia y prevenir el desarrollo de enfermedades cardiovasculares sustituía los saturados por poliinsaturados, sin dar normas sobre los monoinsaturados.

De acuerdo con Simopoulos (1999), estudios de siete países mostraron que un consumo elevado de ácidos grasos monoinsaturados derivados del aceite de oliva se asociaba tanto a bajos niveles de colesterol como a tasas reducidas de enfermedades cardiovasculares. En este estudio no se encontró ninguna población que de forma habitual consumiera cantidades elevadas de poliinsaturados. Además, varios estudios en los últimos años han mostrado que tanto los poliinsaturados como los monoinsaturados tienen un efecto hipocolesterolemizante similar cuando ambos reemplazan en la dieta a los ácidos grasos saturados.

Numerosos estudios clínicos y epidemiológicos han demostrado una relación inversa entre las concentraciones de colesterol asociado a lipoproteínas de alta densidad (cHDL) y el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Goodnigh, et al., 1992). En

consecuencia, la dieta ideal para reducir la colesterolemia es aquella que tienda a aumentar o, al menos, no disminuir los niveles de cHDL. En este sentido, estudios recientes han demostrado que la sustitución de ácidos grasos saturados por monoinsaturados no reduce el colesterol del HDL, y es todavía motivo de controversia su eventual efecto de aumentar el cHDL, como se ha observado en algunos estudios al sustituir ácidos grasos poliinsaturados por monoinsaturados en la dieta .

Es posible que los ácidos grasos insaturados disminuyan el colesterol asociado a lipoproteína de baja densidad (cLDL) como resultado de un incremento en la actividad de los receptores LDL, lo cual no sería un efecto intrínseco de estas grasas, sino un efecto pasivo, secundario a la sustitución de los ácidos grasos saturados. Es decir, las grasas insaturadas permitirían la expresión natural de la actividad de los receptores LDL, mientras que los ácidos grasos saturados reducirían dicha actividad activamente (Mata et al., 1993).

1.7.4. Propiedades anti-cáncer

Según Deckere (1999), datos epidemiológicos han demostrado el efecto anticancerígeno de los PUFAs ω 3 del pescado en mamas y colon. Estudios clínicos en humanos y en animales indican que los factores de la dieta están relacionados en un 35% con todas las enfermedades de cáncer. Uno de los principales factores de la dieta puede ser la cantidad de grasa consumida, particularmente en los casos de cánceres de mamas, colon, próstata y páncreas. Alta ingesta de pescado se relaciona con la disminución de los riesgos de cáncer de mama y, posiblemente también, cáncer de colon y es por esta razón que mayores investigaciones se realizan en este campo.

1.7.5. Acción sobre el sistema neurológico. Modificación de síntomas

esquizofrénicos

La sugerencia de que los ácidos grasos de las membranas son precursores de las prostaglandinas, las que, a su vez, regulan la liberación de transmisores de señales intracelulares fue propuesta inicialmente por Horrobin hace veinte años. Sin embargo, no fue sino hasta la década pasada que se demostró que metabolitos hidroxilados de ácidos grasos podían regular la producción de transmisores intracelulares. Se confirmó en pacientes con esquizofrenia la tendencia a presentar bajos niveles de ácidos grasos poliinsaturados a medida que la enfermedad avanza.

Recientemente se demostró que la fosfolipasa A_2 , la enzima que libera el ácido araquidónico de los fosfolípidos de las membranas está muy activa durante la enfermedad de acuerdo con resultados observados en pacientes con bajos niveles de ácido araquidónico. A través de estudios *post-mortem*, Mellor (1996) encontró disminuciones de los niveles de ácidos grasos esenciales ω_3 y ω_6 en los fosfolípidos de las membranas de eritrocitos y de las células de tejido cerebral en pacientes esquizofrénicos tratados con drogas.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

2.1.1. Obtención de las muestras

La investigación acerca de la composición de ácidos grasos se realizó utilizando dos especies de peces de agua dulce: tilapias rojas, proporcionadas por la Estación Acuícola de Gualaca y truchas arco iris, adquiridas en la empresa Truchas de Bambito, S. A., ámbas en la provincia de Chiriquí, utilizándose para los análisis la parte comestible (filete) de los peces. En el estudio se consideró las edades de los peces, la temperatura y el tipo de alimentación.

El control de la alimentación es llevada a cabo por el personal a cargo del cultivo de tilapias y truchas. Las tilapias eran tratadas con dos tipos de alimentación: unas, alimentadas con GAC sumergible, o sea aquel que de acuerdo con su composición (anexo 1), tiene la propiedad de ir al fondo de los estanques para luego ser consumidos por los peces; y la otra, con alimento flotante también tipo GAC (anexo 2), el cual se mantenía suspendido en el agua de los estanques mientras era consumido por los peces.

Las truchas arco iris sólo eran alimentadas con GAC tipo sumergible ya que al suministrarles flotante, se observaba que sólo los peces mas ágiles consumían mayoritariamente el alimento.

Las edades de los peces utilizadas para el estudio se basó en aquéllas que eran consideradas como aptas para su comercialización y a la vez las que más frecuentemente son utilizadas para el consumo de la población. En las tilapias, se consideraron animales

con edades entre los 7 y 13 meses, en tanto que para las truchas arco iris, las edades oscilaron entre los 5.5 meses hasta los 13.5 meses.

2.1.2 Equipo

Se utilizó un Cromatógrafo de Gases Shimatzu, modelo GC-14B, con detector FID, con las siguientes condiciones: rango 10, utilizando como gas de compensación el helio, el flujo a 30mL/min, el flujo de hidrógeno a 50 mL/min, flujo de aire 500 mL/min; la temperatura del inyector a 250°C, temperatura del detector a 260 °C, temperatura inicial de la columna 200°C, tiempo inicial de retención de temperatura 8 minutos, variación de temperatura de 3 °C./min., temperatura final 230 °C y tiempo final de retención de temperatura 12 min.

Se utilizó una columna Supelcowax 10 de 0,5 µm de espesor, 30 m de longitud, diámetro interno 0,53 mm, velocidad lineal de 25 cm/seg y el flujo de 3,35 mL/min. Las muestras fueron disueltas en n-hexano; 0,1 µl de cada solución fue inyectado de manera directa.

La base de datos y el tratamiento estadístico de los resultados experimentales se realizó con el programa Microsoft Excel 2000, para Windows. El tratamiento estadístico para determinar las diferencias de la composición de ácidos grasos entre edades de una misma especie, entre especies distintas y entre el tipo de alimentación, así como el análisis de varianza se realizó empleando el programa SAS, modelo tipo jerárquico. La construcción de las gráficas se realizó con el programa Harvard Graphics 98.

2.1.3. Reactivos

Cloroformo

Metanol

n-Hexano especificado para cromatografía de gases

Acido sulfúrico concentrado

Acido clorhídrico concentrado

Acido pentadecanoico puro

Sulfato de sodio anhidro

Cloruro de sodio R.A.

Nitrógeno puro

ter-butilhidroxitolueno (BHT)

Patrones PUFA

2.2 Método de análisis

2.2.1. Preparación y tratamiento de las muestras

Una vez obtenidas las muestras de peces de los diferentes estanques (Gualaca y Bambito), fueron sumergidas en hielo y transportadas al laboratorio de Investigación. Allí se procedió rápidamente a separar la vísceras, para evitar deterioro de la carne del pescado por posible acción enzimática. De la porción comestible de los peces, se obtenían los filetes de cada uno procediendo a licuarlos para homogenizar los tejidos. Se consideró exclusivamente toda la carne magra, ya que desde el punto de vista nutricional, es lo que consume mayormente la población que incluye dentro de su dieta los mariscos, y específicamente el pescado. De este licuado se obtenían muestras por triplicado para la extracción de los lípidos totales.

2.2.2. Extracción de lípidos totales

La extracción de lípidos totales se llevó a cabo mediante el método de Bligh y Dyer (1959), método tradicional empleado para la extracción y purificación de lípidos totales. Para la extracción se empleó una mezcla de cloroformo/metanol, realizando una filtración al vacío y recogiendo el filtrado en un embudo de separación. El residuo se rehomogenizó con cloroformo, adicionando este segundo filtrado al embudo de separación. A la mezcla de ambos filtrados se les adicionó una solución salina de NaCl al 0,88%, permitiendo la separación de la fase clorofórmica de la acuosa. Ambas fases fueron separadas recogiendo la fase clorofórmica en un vaso químico de 100 mL y evaporándola a $\approx 50^{\circ}\text{C}$, bajo una atmósfera de nitrógeno hasta eliminar todo el solvente. Al extracto lipídico obtenido se le adicionó el antioxidante *ter*-butilhidroxitolueno (BHT) para su preservación y fue almacenado a -20°C para posteriores análisis.

2.2.3. Método de Transesterificación

Los residuos de la extracción de los lípidos fueron transesterificados con metanol ácido (ácido clorhídrico metánolico al 5%) según Christie, W. S. (1982). Para ello se disolvió el residuo de cada extracción de lípido proveniente de las muestras de tejido con un mililitro de cloroformo que contenía ácido pentadecanoico como estándar interno. Se llevaron las muestras a 50°C durante la noche.

2.2.4. Separación y cuantificación

Los ácidos grasos transmetilados fueron tratados con NaCl al 5% y n-hexano, agitando vigorosamente. Se separó la capa acuosa de la orgánica y se secó la capa orgánica con sulfato de sodio anhidro. La capa orgánica que contenía n-hexano, restos de

cloroformo y los ácidos grasos metilados se llevó a una atmósfera de nitrógeno y se calentó a 60°C hasta la evaporación completa de los solventes.

Los residuos presentes en los viales que contienen los ésteres metílicos de los ácidos grasos (FAMES), se resuspendieron en 1 mL de n-hexano para luego ser analizados en el cromatógrafo de gases con FID con las especificaciones dadas anteriormente, inyectando 0,1 µL de cada FAMES procesado.

Los ésteres de los ácidos grasos individuales registrados en los cromatogramas para tilapias alimentadas con GAC sumergible y GAC flotante, y para truchas alimentadas con GAC sumergible fueron identificados por comparación con los tiempos de retención de una mezcla de patrones PUFA-3 de 18 componentes de la casa SUPELCO.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La grasa es el componente químico más variable en los peces y su magnitud es usada para clasificarlos. Los valores de la composición de lípidos encontrados en la carne de trucha arco iris fueron de $2.1\% \pm 0.5$ y en la tilapia $3.4\% \pm 0.2$. De acuerdo con lo establecido por el ICMSF de España (1985) en el que se señala que los pescados semigrasos tienen una composición promedio de 2.5% de lípidos, las tilapias y las truchas pueden considerarse carnes bajas en grasa, lo que coincide también con parámetros preestablecidos por Dinleski et al. (1994), en Chacón (2000).

El contenido de lípidos en peces es relativamente bajo comparado con otros animales terrestres (Gauglitz et al. 1974). Dinleski et al. (1994) encontraron un 3.8% de lípidos totales en trucha, Gautam et al. (1997), 3.4% en salmón rosado, Prieto (1998), 3.8% en trucha y Chacón (2000), 2.6 % en truchas arco iris con peso mayor o igual a 250g. Estos valores son ligeramente superiores al obtenido en el presente estudio para la trucha arco iris, mientras que para la tilapia el contenido de lípidos observado fue superior al de la trucha, considerando que este resultado puede estar asociado a las diferencias en el nivel de nutrientes digeribles usados en el alimento.

Según Blanco, (1995), el pescado de carne blanca, como la trucha arco iris sólo tiene una pequeña cantidad de músculo rojo por debajo de la línea lateral por lo que este tipo de pescado contiene poca grasa (Muller y Tobin, 1986).

La composición de ácidos grasos presentes en los lípidos de los organismos marinos responden a un patrón general y las variaciones entre cada uno de ellos depende de muchos factores biológicos y ecológicos que caracterizan a cada especie.

El presente estudio se orientó hacia el establecimiento de la composición de los ácidos grasos contenidos en los lípidos de las porciones comestibles (filetes) de las especies de agua dulce trucha arco iris y tilapia roja. Para obtener un valor promedio de la distribución de los lípidos en el pescado, los filetes de ambos lados del animal se homogenizaron conjuntamente para luego obtener una muestra representativa. Además, se consideró la edad, localización geográfica y el alimento, el cual variaba para el caso de las tilapias, pues a un grupo se les suministraba alimento (concentrado) sumergible y a otro grupo, alimento (concentrado) flotante. Por otro lado, las truchas sólo fueron alimentadas con alimento sumergible.

Para el estudio de los ácidos grasos en tilapia y en trucha se consideraron peces con edades comprendidas entre los 7 y 13 meses, que correspondían a las edades de más consumo por parte de la población.

3.1. Resultados del tratamiento con alimento sumergible en tilapia

Se identificaron 18 ácidos grasos comparados con una muestra certificada de patrones de ésteres metílicos de ácidos grasos del aceite de pescado Menhadem (una especie de sábalo). Los Cuadros II, III y las figuras 3, 4, 5 y 6 muestran los porcentajes de composición de los ácidos grasos para la tilapia roja tratada con alimento sumergible (tilapia AS). Se observó que el ácido graso saturado más abundante fue el ácido palmítico, constituyendo el 19.70% de los ácidos grasos totales. Este resultado se explica fácilmente porque el ácido palmítico es el producto final de la sintasa de los ácidos grasos, presente en tejidos animales. El ácido esteárico también fue relativamente abundante, observándose en un 9.66% de los ácidos grasos totales.

Los ácidos grasos monoinsaturados más abundantes fueron, en primer lugar, los ácidos oleico/vacénico, los cuales en estas condiciones experimentales son indistinguibles por presentar el mismo tiempo de retención y conjuntamente, de encontrarse ambos, constituyeron el 18.86%, y en segundo lugar, el ácido palmitoleico con un 4.82%. El ácido graso poliinsaturado más abundante fue el ácido linoleico observado en un 16.44%, seguido por el ácido docosahexaenoico (6.04%), el ácido araquidónico (5.18%), el docosapentaenoico (2.05%) y el ácido linolénico (2.00%). Es importante resaltar el hecho de que el ácido graso eicosapentaenoico sólo se encontró en pequeñas cantidades en esta especie (0.46 %).

Al juzgar por el análisis estadístico, específicamente por la pendiente de la recta (parámetro b), los siguientes ácidos grasos tienden a aumentar considerablemente en la grasa del animal a medida que envejecen: C 16:0, C 18:0 y C 20:4 ω 6. Por otro lado, los

ácidos grasos C 14:0, C 16:1 ω 7, C 18:2 ω 6, C 18:3 ω 3 y C 22:5 ω 3 tienden a disminuir apreciablemente con la edad del pez. Los demás ácidos grasos aumentaron o disminuyeron su porcentaje en la grasa del animal apenas perceptiblemente con la edad.

Gálvez, N. y colaboradores (1995) señalan que la tilapia presenta un requerimiento especial por ácidos grasos esenciales de la serie ω 6 para garantizar un crecimiento y sobrevivencia normal; sin embargo, no se ha explicado qué ocurre con el metabolismo de estas elevadas cantidades de ácido linoleico presente en el alimento del pez. El alimento sumergible para tilapia, que es una mezcla de grasas vegetales y aceite de pescado menhadem, proteína, carbohidratos, vitaminas y minerales, mostró un elevado contenido de ácido linoleico (36.62 %). Contrastando este resultado con el hecho de que el aceite extraído de la tilapia presentó un contenido de ácido araquidónico mayor que el de ácido eicosapentaenoico, lo cual no es usual en peces, parece sugerir que la tilapia sintetiza cantidades relativamente importantes de ácido araquidónico a expensas del ácido linoleico presente en el alimento. El Cuadro IV muestra la composición de ácidos grasos en los alimentos flotantes y sumergibles.

Cuadro II: COMPOSICIÓN DE ACIDOS GRASOS EN TILAPIA (ALIMENTO SUMERGIBLE)

| ACIDOS GRASOS | EDAD 1 (7 meses) | | EDAD 2 (8 meses) | | EDAD 3 (10 meses) | | EDAD 4 (11.5 meses) | | EDAD 5 (12 meses) | | EDAD 6 (13 meses) | |
|-----------------|------------------|--------|------------------|--------|-------------------|--------|---------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|
| | 1 pez | | 2 peces | | 2 peces | | 2 peces | | 1 pez | | 2 peces | |
| | mg /g | % A.G. | mg /g | % A.G. | mg /g | % A.G. | mg /g | % A.G. | mg /g | % A.G. | mg /g | % A.G. |
| C14:0 | 0.88 | 2.50 | 4.85 | 3.63 | 7.31 | 3.21 | 17.17 | 3.12 | 12.74 | 4.02 | 1.21 | 2.04 |
| C 16:0 | 6.36 | 18.12 | 21.60 | 16.18 | 33.75 | 14.84 | 99.64 | 18.10 | 93.40 | 29.47 | 11.62 | 19.64 |
| C 18:0 | 3.39 | 9.67 | 12.34 | 9.24 | 21.98 | 9.66 | 55.75 | 10.13 | 22.71 | 7.17 | 6.24 | 10.54 |
| C 16:1w7 | 1.28 | 3.65 | 8.11 | 6.08 | 12.32 | 5.42 | 27.93 | 5.07 | 20.79 | 6.56 | 1.60 | 2.71 |
| C 18:1w9 + w7 | 5.17 | 14.74 | 26.56 | 19.89 | 40.60 | 17.85 | 107.05 | 19.45 | 78.26 | 24.70 | 9.86 | 16.66 |
| C 20:1w9 | 0.20 | 0.57 | 1.61 | 1.21 | 2.74 | 1.20 | 4.33 | 0.79 | 3.21 | 1.01 | 0.31 | 0.52 |
| C 16:2w4 | 0.26 | 0.74 | 1.20 | 0.90 | 2.26 | 0.99 | 3.65 | 0.66 | 1.18 | 0.37 | 0.27 | 0.46 |
| C 16:3w4 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.07 | 0.46 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| C 18:2w6 | 6.07 | 17.30 | 20.89 | 15.65 | 32.06 | 14.09 | 92.70 | 16.84 | 50.89 | 16.06 | 9.28 | 15.67 |
| C 18:3w4 | 0.21 | 0.60 | 1.07 | 0.80 | 2.15 | 0.94 | 3.72 | 0.68 | 1.44 | 0.45 | 0.14 | 0.24 |
| C 18:3w3 | 0.51 | 1.46 | 2.82 | 2.11 | 4.42 | 1.94 | 9.28 | 1.69 | 3.31 | 1.04 | 0.39 | 0.66 |
| C 18:4w3 | 0.07 | 0.19 | 0.30 | 0.22 | 0.17 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| C 20:4w6 | 1.77 | 5.04 | 4.98 | 3.73 | 10.64 | 4.68 | 31.30 | 5.68 | 5.11 | 1.61 | 5.06 | 8.54 |
| C 20:4w3 | 0.00 | 0.00 | 0.18 | 0.14 | 0.10 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| C 20:5w3 | 0.12 | 0.35 | 1.02 | 0.76 | 1.22 | 0.53 | 1.59 | 0.29 | 0.00 | 0.00 | 0.37 | 0.63 |
| C 22:5w3 | 1.01 | 2.88 | 3.35 | 2.51 | 5.01 | 2.20 | 12.61 | 2.29 | 2.54 | 0.80 | 1.16 | 1.96 |
| C 22:6w3 | 2.94 | 8.39 | 7.87 | 5.89 | 11.91 | 5.24 | 38.93 | 7.07 | 5.91 | 1.87 | 4.37 | 7.39 |
| Otros | 4.84 | 13.79 | 14.69 | 11.00 | 25.85 | 11.36 | 44.80 | 8.14 | 15.41 | 4.86 | 7.28 | 12.30 |
| SATURADOS | 10.6 | 30.3 | 38.8 | 29.1 | 63.0 | 27.7 | 172.6 | 31.3 | 128.9 | 40.7 | 19.1 | 32.2 |
| MONOINSATURADOS | 6.7 | 19.0 | 36.3 | 27.2 | 55.7 | 24.5 | 139.3 | 25.3 | 102.3 | 32.3 | 11.8 | 19.9 |
| POLIINSATURADOS | 13.0 | 37.0 | 43.8 | 32.8 | 70.4 | 30.9 | 193.8 | 35.2 | 70.4 | 22.2 | 21.0 | 35.6 |
| Otros | 4.8 | 13.8 | 14.7 | 11.0 | 25.9 | 11.4 | 44.8 | 8.1 | 15.4 | 4.9 | 7.3 | 12.3 |
| TOTAL | 35.1 | 100.0 | 133.5 | 100.0 | 214.9 | 94.5 | 550.5 | 100.0 | 316.9 | 100.0 | 59.2 | 100.0 |

Promedio de tres lecturas por pez

mg/g = miligramos de ácido graso por gramo de lípido total extraído.

Cuadro III. PORCENTAJES PROMEDIOS DE COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN TILAPIA-AS (ALIMENTO SUMERGIBLE)

| ACIDO GRASO | PORCENTAJE PROMEDIO n = 30 | PARÁMETRO b** | TENDENCIA SEGÚN LA EDAD |
|-------------|-------------------------------|---------------|-------------------------|
| C 14:0 | 3.10 ± 0.17* | -0.124 | disminuye |
| C 16:0 | 19.70 ± 1.00 | +0.856 | aumenta |
| C 18:0 | 9.66 ± 0.22 | +0.130 | aumenta |
| C 16:1ω7 | 4.82 ± 0.29 | -0.272 | disminuye |
| C 18:1ω9+ω7 | 18.86 ± 0.48 | +0.039 | aumenta |
| C 20:1ω9 | 0.77 ± 0.09 | -0.072 | disminuye |
| C 16:2ω4 | 0.65 ± 0.07 | -0.075 | disminuye |
| C 16:3ω4 | 0.08 ± 0.04 | -0.017 | disminuye |
| C 18:2ω6 | 16.44 ± 0.37 | -0.188 | disminuye |
| C 18:3ω4 | 0.55 ± 0.07 | -0.085 | disminuye |
| C 18:3ω3 | 2.00 ± 0.50 | -0.209 | disminuye |
| C 18:4ω3 | 0.05 ± 0.02 | -0.026 | disminuye |
| C 20:4ω6 | 5.18 ± 0.37 | +0.553 | aumenta |
| C 20:4ω3 | 0.04 ± 0.02 | -0.013 | disminuye |
| C 20:5ω3 | 0.46 ± 0.06 | -0.048 | disminuye |
| C 22:5ω3 | 2.05 ± 0.15 | -0.142 | disminuye |
| C 22: 6ω3 | 6.04 ± 0.38 | +0.023 | aumenta |
| | | | |

* Error Típico

** Parámetro b = pendiente de la recta del análisis de regresión lineal

Cuadro IV. COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN ALIMENTO FLOTANTE Y SUMERGIBLE

| ÁCIDO GRASO | ALIMENTO FLOTANTE (TP30F22) | | ALIMENTO SUMERGIBLE (TP30P) | | ALIMENTO FLOTANTE (TP25F22) | |
|-----------------|-----------------------------|--------|-----------------------------|--------|-----------------------------|--------|
| | mg/g* | % | mg/g | % | mg/g | % |
| C14:0 | 2.50 | 4.86 | 4.61 | 7.18 | 1.68 | 3.79 |
| C 16:0 | 11.50 | 22.41 | 16.87 | 26.28 | 12.14 | 27.43 |
| C 18:0 | 2.07 | 4.03 | 2.62 | 4.09 | 2.77 | 6.25 |
| C 16:1w7 | 2.49 | 4.84 | 3.98 | 6.20 | 1.76 | 3.99 |
| C 18:1w9 + w7 | 10.06 | 19.59 | 10.92 | 17.01 | 10.45 | 23.60 |
| C 16:2w4 | | | 0.58 | 0.90 | | |
| C 16:3w4 | | | 0.55 | 0.86 | | |
| C 18:2w6 | 18.80 | 36.62 | 20.14 | 31.39 | 14.37 | 32.45 |
| C 18:3w3 | 1.57 | 3.06 | 1.51 | 2.35 | 1.10 | 2.48 |
| C 20:5w3 | 2.36 | 4.59 | 2.41 | 3.75 | | |
| | | | | | | |
| SATURADOS | 16.07 | 31.30 | 24.10 | 37.56 | 16.59 | 37.48 |
| MONOINSATURADOS | 12.54 | 24.43 | 14.90 | 23.21 | 12.21 | 27.59 |
| POLIINSATURADOS | 22.73 | 44.27 | 25.18 | 39.23 | 15.46 | 34.93 |
| TOTAL | 51.34 | 100.00 | 64.18 | 100.00 | 44.27 | 100.00 |

* mg/g = miligramos de ácido graso por gramo de aceite extraído

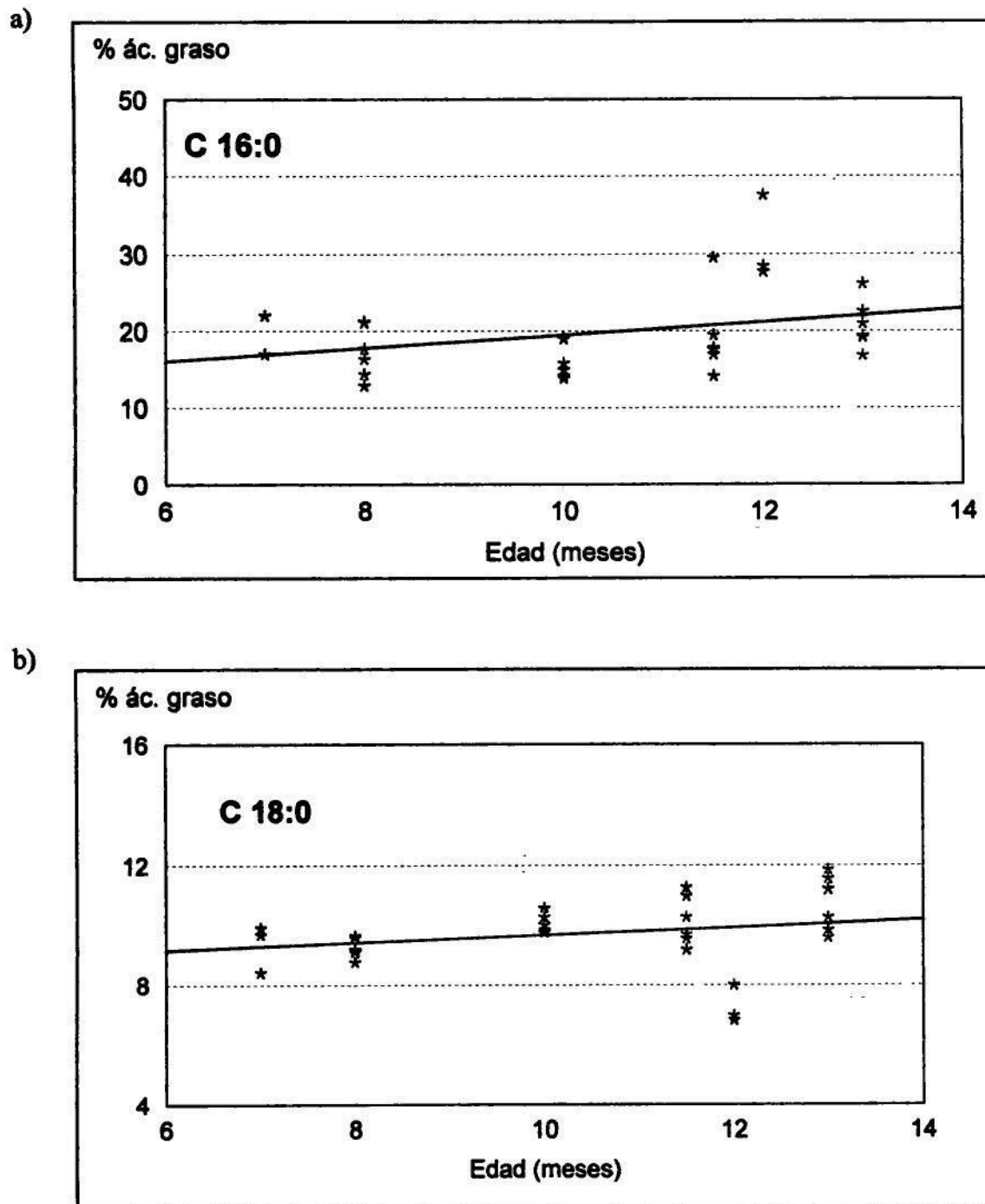


Fig. 3: Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos saturados más abundantes en tilapia AS. a) Ácido palmítico; b) Ácido esteárico.

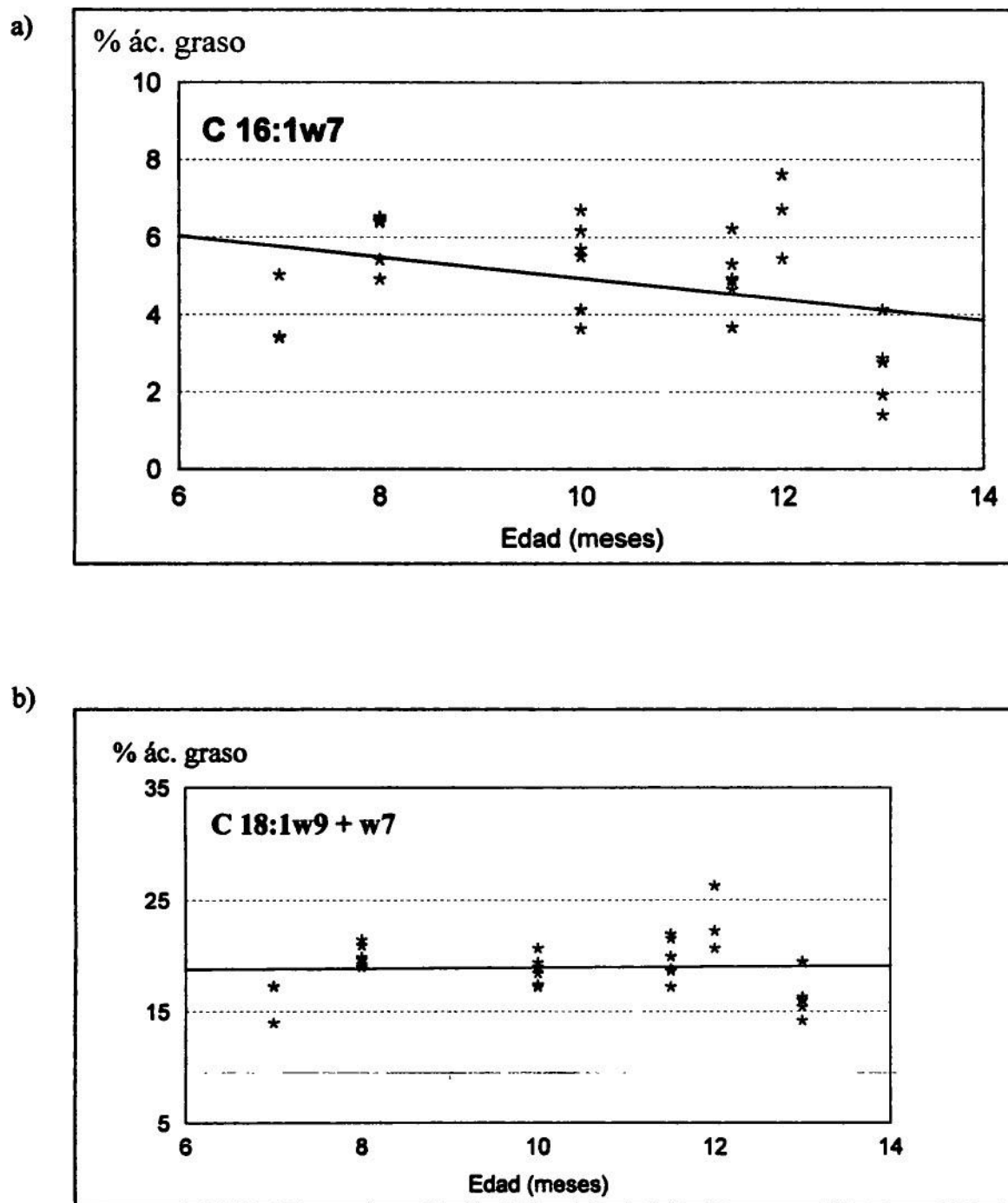
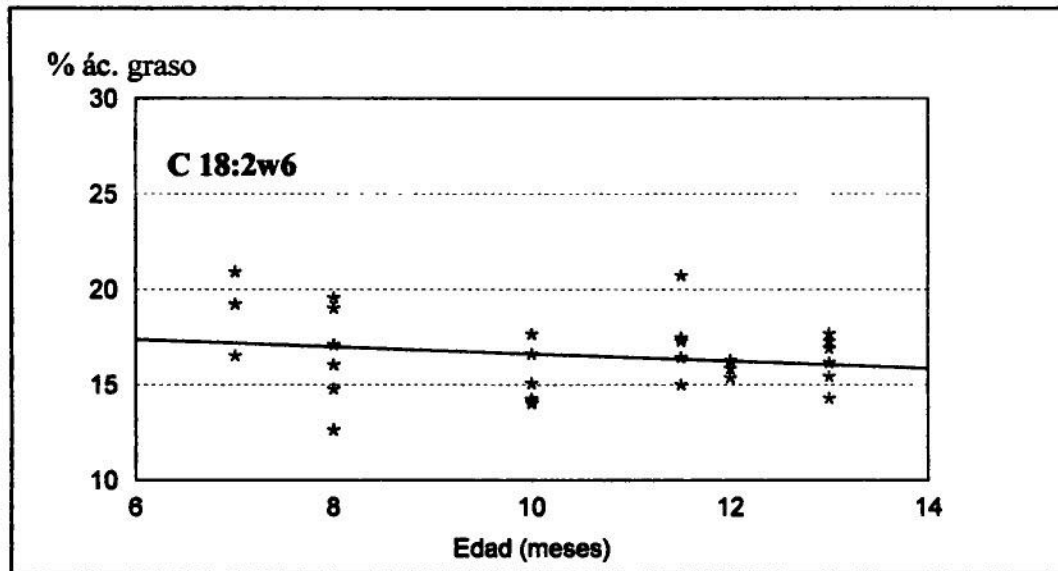


Fig. 4: Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos monoinsaturados más abundantes en tilapia AS. a) Ácido palmitoleico; b) Ácido oleico/vacénico.

a)



b)

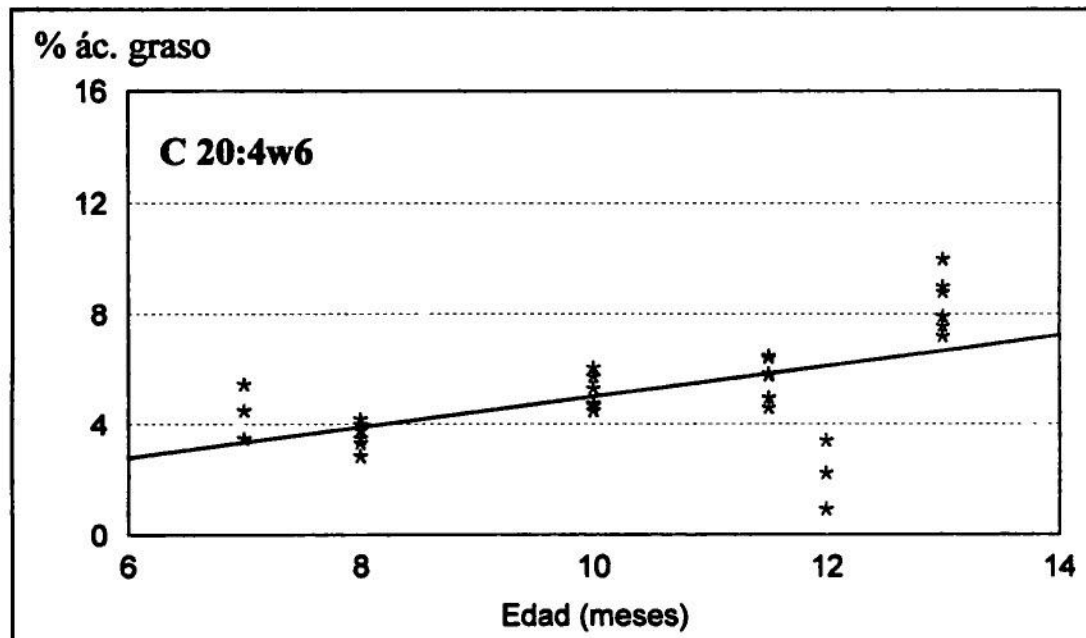


Fig. 5: Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos poliinsaturados más abundantes en tilapia AS. a) Ácido linoleico; b) Ácido araquidónico.

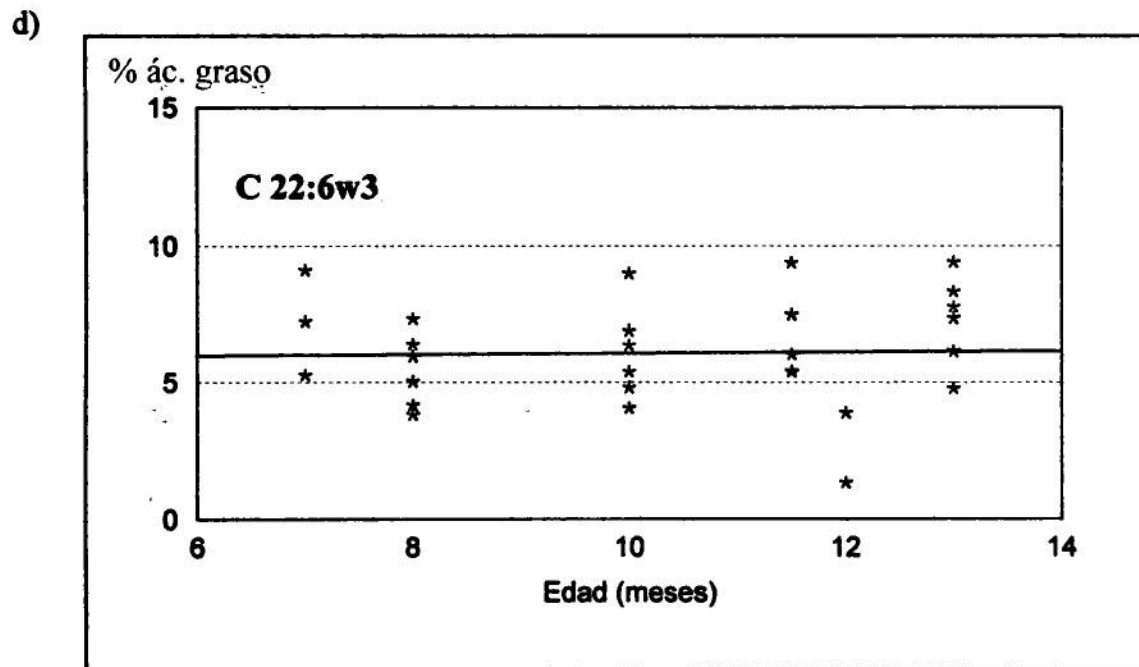
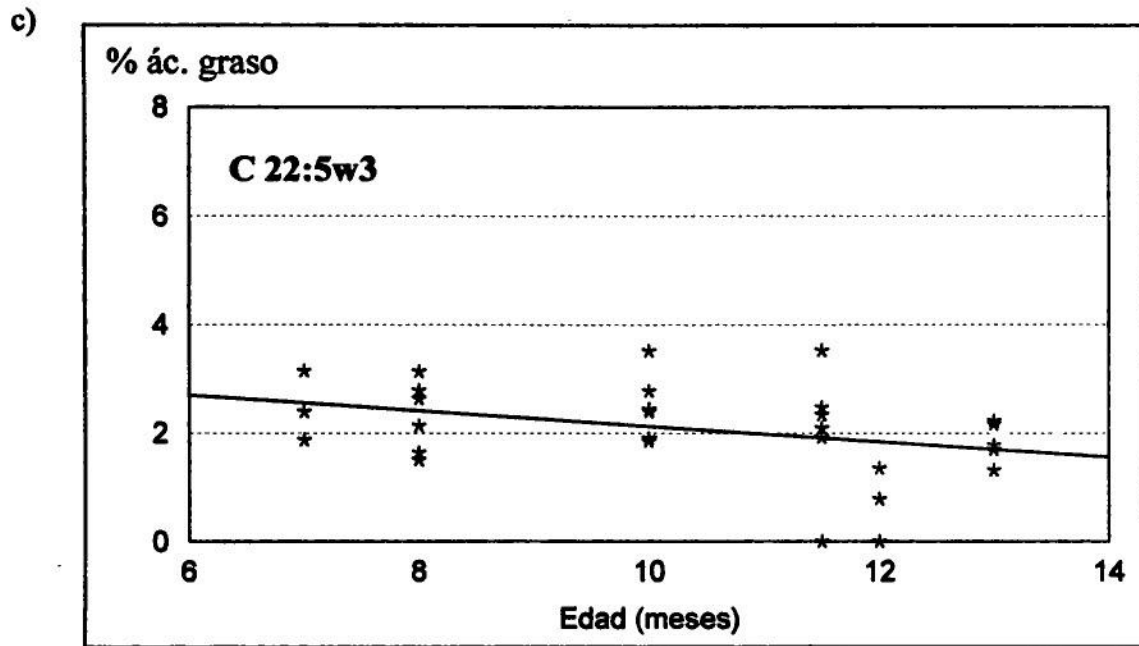


Fig. 6: Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos poliinsaturados más abundantes en tilapia AS. c) Ácido docosapentaenoico; d) Ácido docosahexaenoico.

3.2. Resultados del tratamiento con alimento flotante en tilapia

En el estudio se consideraron peces de cuatro edades que corresponden a 8, 10, 11.5 y 13 meses. Igualmente se identificaron 18 ácidos grasos de los cuales el saturado más abundante fue el palmítico, constituyendo el 17.84%, seguido del ácido esteárico con un 9.62%.

Los Cuadros V y VI, y figuras 7, 8, 9 y 10 muestran los porcentajes de composición de los ácidos grasos presentes en tilapia roja, tratadas con alimento flotante (tilapia AF). Dentro del grupo de los ácidos grasos monoinsaturados, el supuesto par oleico/vacénico fue el más abundante, encontrándose un 21.51% y el palmitoleico observado en un 7.39%. Los ácidos grasos polisaturados más abundantes fueron el ácido linoleico observado en un 14.37%, seguido por el ácido docosahexaenoico (4.92%), el ácido araquidónico (3.77%); el docosapentaenoico (2.07 %) y el ácido linolénico (1.84%). Al igual que para las tilapias AS, las tilapias AF mostraron un bajo contenido de ácido eicosapentaenoico (0.54%).

El análisis de la pendiente de la recta (parámetro b), indica que los siguientes ácidos grasos tienden a aumentar considerablemente en la grasa del animal a medida que envejecen: C 16:0, C 18:1 ω 9 + ω 7, C 18:2 ω 6, mientras que, los ácidos grasos C 14:0, C 18:3 ω 3 y C 22:6 ω 3 tienden a disminuir apreciablemente con la edad del pez. Los demás ácidos grasos aumentan o disminuyen su porcentaje en la grasa del animal apenas perceptiblemente con la edad.

En el análisis de los ácidos grasos del alimento flotante que se le suministra a las tilapias, se observó que el contenido de ácido araquidónico es bajo; sin embargo, el ácido linoleico que se determinó en una considerable cantidad tanto en el alimento flotante como en el alimento sumergible, explica el contenido relativamente apreciable de ácido araquidónico en estos peces.

Cuadro V: COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN TILAPIA (ALIMENTO FLOTANTE)

| ACIDOS GRASOS | EDAD 1 (8 meses) | | EDAD 2 (10 meses) | | EDAD 3 (11.5 meses) | | EDAD 4 (13 meses) | |
|------------------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|
| | Promedios (2 peces) | | Promedios (2 peces) | | Promedios (2 peces) | | Promedios (2 peces) | |
| | mg/g | % A.G. | mg/g | % A.G. | mg/g | % A.G. | mg/g | % A.G. |
| C14:0 | 6.61 | 4.78 | 8.15 | 3.96 | 14.09 | 4.70 | 2.33 | 4.21 |
| C 16:0 | 21.70 | 15.67 | 30.87 | 14.98 | 53.20 | 17.74 | 11.71 | 21.13 |
| C 18:0 | 12.98 | 9.37 | 19.38 | 9.41 | 32.00 | 10.67 | 4.94 | 8.92 |
| C 16:1w7 | 10.10 | 7.29 | 13.47 | 6.54 | 24.99 | 8.33 | 3.99 | 7.20 |
| C 18:1w9 + w7 | 26.76 | 19.32 | 41.21 | 20.01 | 65.94 | 21.99 | 13.29 | 23.99 |
| C 20:1w9 | 2.12 | 1.53 | 2.97 | 1.44 | 4.41 | 1.47 | 0.57 | 1.03 |
| C 16:2w4 | 1.91 | 1.38 | 1.97 | 0.95 | 2.40 | 0.80 | 0.43 | 0.77 |
| C 16:3w4 | 0.31 | 0.23 | 0.50 | 0.24 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.11 |
| C 18:2w6 | 18.64 | 13.46 | 28.82 | 13.99 | 41.33 | 13.78 | 8.68 | 15.67 |
| C 18:3w4 | 1.42 | 1.02 | 2.17 | 1.06 | 3.56 | 1.19 | 0.19 | 0.34 |
| C 18:3w3 | 3.71 | 2.68 | 4.17 | 2.03 | 4.21 | 1.40 | 0.81 | 1.47 |
| C 18:4w3 | 0.28 | 0.20 | 0.33 | 0.16 | 0.24 | 0.08 | 0.03 | 0.06 |
| C 20:4w6 | 5.32 | 3.84 | 8.05 | 3.91 | 12.86 | 4.29 | 1.68 | 3.03 |
| C 20:4w3 | 0.00 | 0.00 | 0.28 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| C 20:5w3 | 0.89 | 0.65 | 1.47 | 0.71 | 1.14 | 0.38 | 0.39 | 0.70 |
| C 22:5w3 | 3.07 | 2.22 | 5.78 | 2.80 | 5.03 | 1.68 | 1.12 | 2.03 |
| C 22:6w3 | 7.44 | 5.37 | 13.18 | 6.40 | 12.41 | 4.14 | 2.29 | 4.14 |
| Otros | 15.22 | 10.99 | 23.25 | 11.28 | 22.14 | 7.38 | 2.91 | 5.25 |
| | | | | | | | | |
| SATURADOS | 41.3 | 29.8 | 58.4 | 28.4 | 99.3 | 33.1 | 19.0 | 34.2 |
| MONOINSATURADOS | 39.0 | 28.1 | 57.7 | 28.0 | 95.3 | 31.8 | 17.9 | 32.2 |
| POLIINSATURADOS | 43.0 | 31.0 | 66.7 | 32.4 | 83.2 | 27.7 | 15.7 | 28.3 |
| Otros | 15.2 | 11.0 | 23.3 | 11.3 | 22.1 | 7.4 | 2.9 | 5.3 |
| TOTAL | 138.5 | 100.0 | 206.0 | 100.0 | 299.9 | 100.0 | 55.4 | 100.0 |

Promedio de tres lecturas por pez.

mg/g = miligramos de ácido graso por gramo de lípido total extraído

Cuadro VI. PORCENTAJES PROMEDIOS DE COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN TILAPIA-AF (ALIMENTO FLOTANTE)

| ACIDO GRASO | PORCENTAJE PROMEDIO n = 22 | PARÁMETRO b** | TENDENCIA SEGÚN LA EDAD |
|-------------|-------------------------------|---------------|-------------------------|
| C 14:0 | 4.48 ± 0.16* | -0.128 | disminuye |
| C 16:0 | 17.84 ± 0.70 | +0.972 | aumenta |
| C 18:0 | 9.62 ± 0.20 | +0.042 | aumenta |
| C 16:1ω7 | 7.39 ± 0.19 | +0.021 | aumenta |
| C 18:1ω9+ω7 | 21.51 ± 0.45 | +0.820 | aumenta |
| C 20:1ω9 | 1.30 ± 0.09 | -0.082 | disminuye |
| C 16:2ω4 | 0.93 ± 0.08 | -0.090 | disminuye |
| C 16:3ω4 | 0.13 ± 0.07 | -0.038 | disminuye |
| C 18:2ω6 | 14.37 ± 0.29 | +0.337 | aumenta |
| C 18:3ω4 | 0.86 ± 0.10 | -0.096 | disminuye |
| C 18:3ω3 | 1.84 ± 0.11 | -0.235 | disminuye |
| C 18:4ω3 | 0.09 ± 0.04 | -0.015 | disminuye |
| C 20:4ω6 | 3.77 ± 0.13 | -0.081 | disminuye |
| C 20:4ω3 | 0.05 ± 0.03 | -0.010 | disminuye |
| C 20:5ω3 | 0.54 ± 0.08 | +0.016 | aumenta |
| C 22:5ω3 | 2.07 ± 0.16 | -0.036 | disminuye |
| C 22: 6ω3 | 4.92 ± 0.27 | -0.292 | disminuye |
| | | | |

* Error típico

** Parámetro b = Pendiente de la recta del análisis de regresión lineal

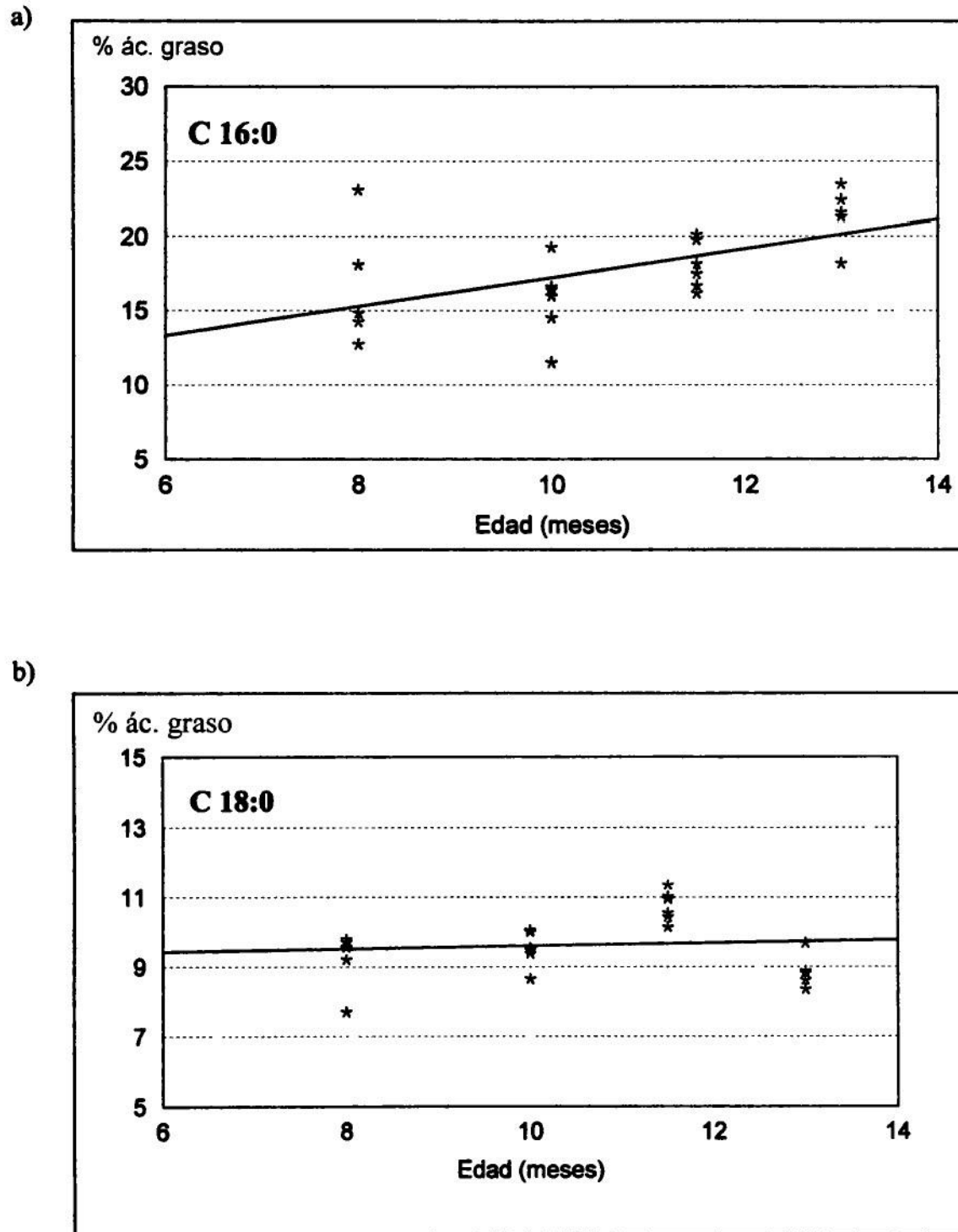


Fig. 7: Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos saturados más abundantes en tilapia AF. a) Ácido palmítico; b) Ácido esteárico.

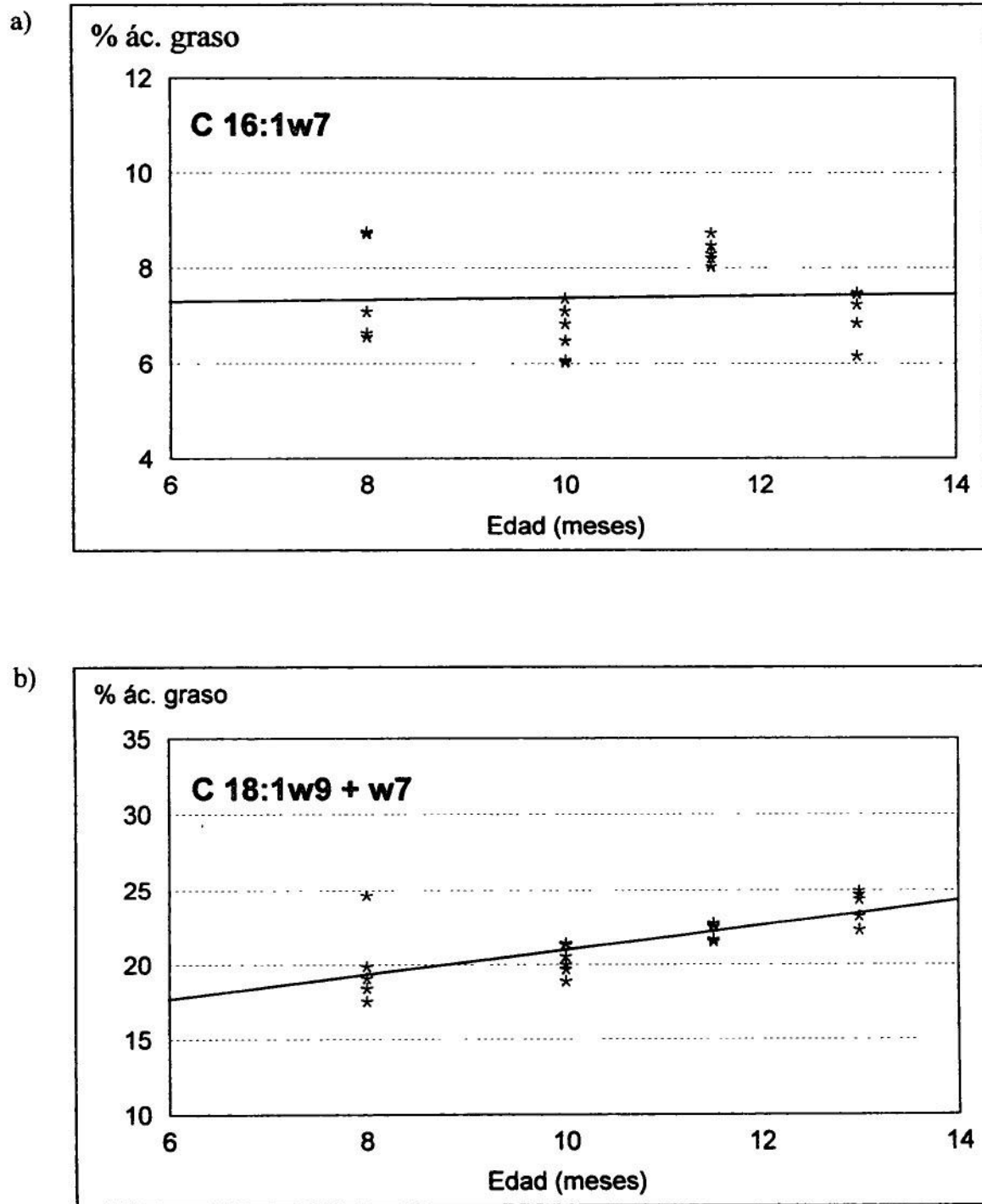


Fig. 8: Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos monoinsaturados más abundantes en tilapia AF. a) Ácido palmitoleico; b) Ácido oleico/vacénico.

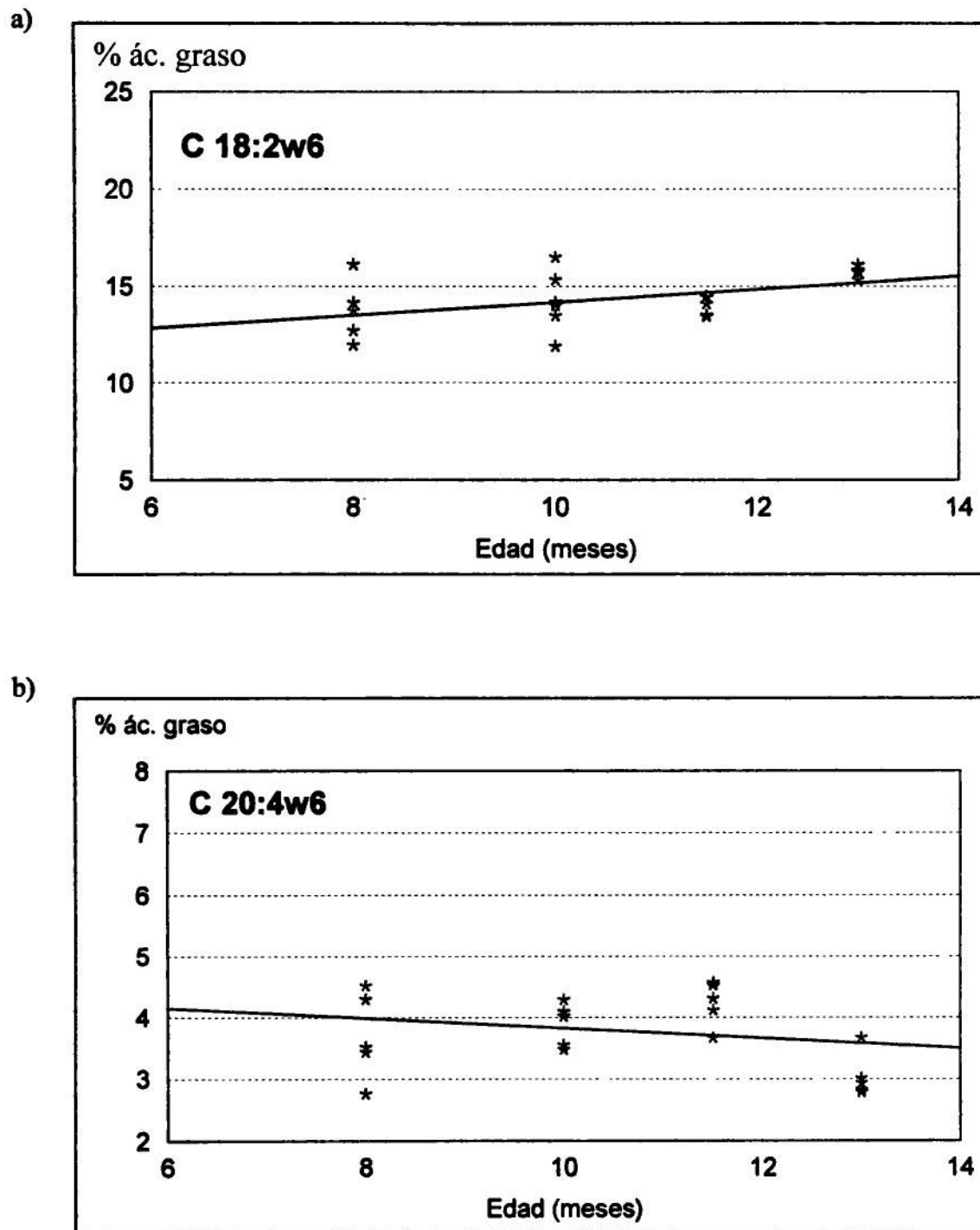
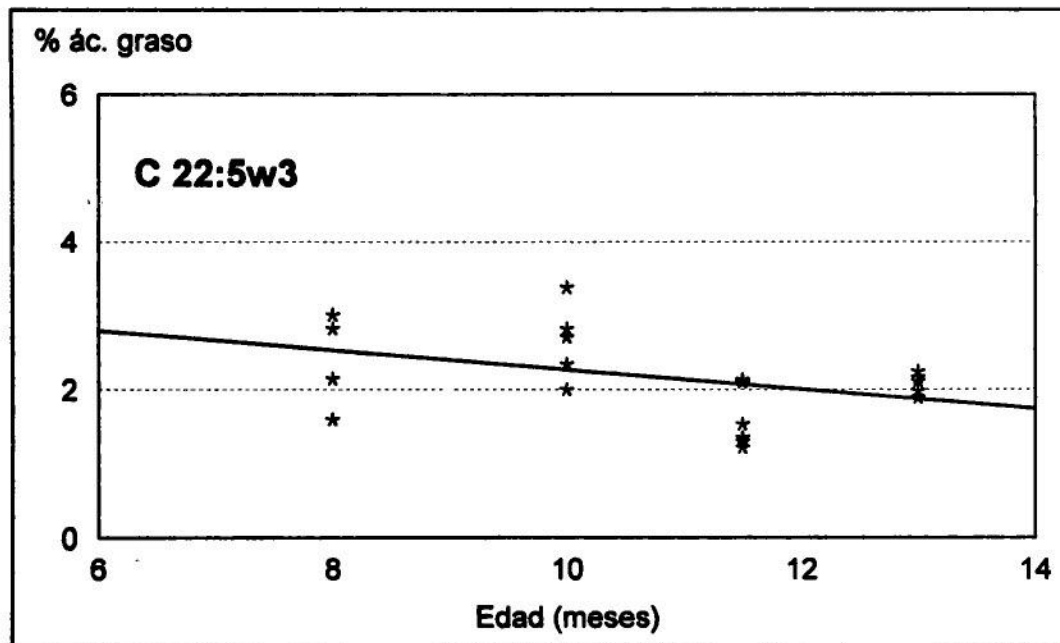


Fig. 9: Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos poliinsaturados más abundantes en tilapia AF. a) Ácido linoleico; b) Ácido araquidónico.

c)



d)

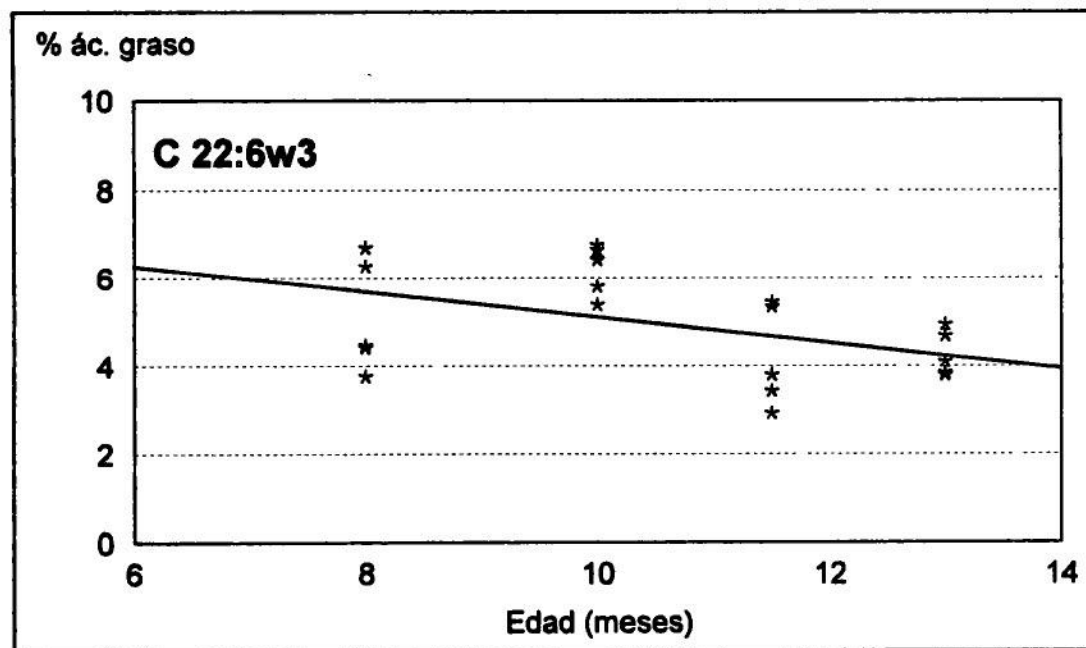


Fig. 10: Regresión lineal de ácidos grasos poliinsaturados más abundantes en tilapia AF.
c) Ácido docosapentaenoico; d) Ácido docosahexaenoico.

3.3. Resultados del tratamiento con alimento sumergible en trucha

Los resultados de la composición de ácidos grasos, de acuerdo con el tratamiento para las truchas se muestran en los Cuadros VII y VIII, y figuras 11, 12, 13 y 14. Para esta especie se estudiaron animales de 5.5, 9, 10, 11.5 y 13.5 meses de edad. Estas edades corresponden a los períodos de captura y comercialización. Se identificaron 18 ácidos grasos.

El ácido graso saturado más abundante fue el palmítico constituyendo el 22.82%, valor ligeramente mayor que el observado en tilapias. El ácido estéarico, representó el 6.39%. Los ácidos grasos monoinsaturados más abundantes fueron el putativo par ácido oleico/ácido vacénico (20.96%) y el ácido palmitoleico (8.95%). Los ácidos grasos poliinsaturados más abundantes fueron el ácido docosahexaenoico (9.98%), el ácido linoleico (8.54%) y el eicosapentaenoico (3.66 %). El ácido araquidónico se detectó en menor cantidad (1.56 %) en comparación con lo observado en tilapias.

El análisis estadístico de la pendiente de la recta (parámetro b) indica que los siguientes ácidos grasos tienden a aumentar considerablemente en la grasa del animal a medida que envejecen: C 14:0, C 18:1 ω 9 + ω 7 y C 18:2 ω 6. Por otro lado, los ácidos grasos C 16:0, C 18:3 ω 3 y C 22:6 ω 3 tienden a disminuir apreciablemente con la edad del pez. Los demás ácidos grasos aumentaron o disminuyeron su porcentaje en la grasa del animal apenas perceptiblemente con la edad.

Cuadro VII: COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN TRUCHA (ALIMENTO SUMERGIBLE)

| ACIDOS GRASOS | EDAD 1 (5.5 meses) | | EDAD 2 (9 meses) | | EDAD 3 (10 meses) | | EDAD 4 (11.5 meses) | | EDAD 5 (13.5 meses) | |
|-----------------|--------------------|--------|-------------------|-------|-------------------|-------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| | Promedios (1 pez) | | Promedios (1 pez) | | Promedios (1 pez) | | Promedios (1 pez) | | Promedios (2 peces) | |
| | mg/g | % A.G. | mg/g | %A.G. | mg/g | %A.G. | mg/g | % A.G. | mg/100g | % A.G. |
| C14:0 | 19.68 | 4.37 | 19.97 | 6.21 | 24.21 | 5.11 | 24.12 | 5.15 | 11.05 | 8.43 |
| C 16:0 | 91.70 | 20.39 | 84.54 | 26.30 | 115.45 | 24.35 | 109.84 | 23.46 | 28.36 | 21.65 |
| C 18:0 | 26.90 | 5.98 | 21.92 | 6.82 | 27.93 | 5.89 | 30.28 | 6.47 | 8.47 | 6.47 |
| C 16:1w7 | 36.76 | 8.17 | 28.91 | 8.99 | 44.47 | 9.38 | 38.11 | 8.14 | 14.00 | 10.69 |
| C 18:1w9 + w7 | 104.97 | 23.34 | 67.85 | 21.10 | 109.64 | 23.13 | 100.55 | 21.48 | 22.16 | 16.92 |
| C 20:1w9 | 4.67 | 1.04 | 2.62 | 0.81 | 4.12 | 0.87 | 4.38 | 0.94 | 0.59 | 0.45 |
| C 16:2w4 | 4.24 | 0.94 | 2.05 | 0.64 | 4.82 | 1.02 | 4.87 | 1.04 | 1.84 | 1.41 |
| C 16:3w4 | 1.87 | 0.41 | 0.42 | 0.13 | 2.43 | 0.51 | 2.04 | 0.44 | 0.81 | 0.62 |
| C 18:2w6 | 36.96 | 8.22 | 26.17 | 8.14 | 38.98 | 8.22 | 36.73 | 7.85 | 11.97 | 9.14 |
| C 18:3w4 | 2.33 | 0.52 | 1.20 | 0.37 | 2.68 | 0.56 | 1.90 | 0.41 | 0.29 | 0.22 |
| C 18:3w3 | 3.95 | 0.88 | 2.95 | 0.92 | 4.15 | 0.88 | 3.87 | 0.83 | 1.25 | 0.95 |
| C 18:4w3 | 1.70 | 0.38 | 0.88 | 0.27 | 1.99 | 0.42 | 1.70 | 0.36 | 0.88 | 0.67 |
| C 20:4w6 | 7.58 | 1.68 | 4.05 | 1.26 | 6.94 | 1.46 | 6.89 | 1.47 | 2.35 | 1.80 |
| C 20:4w3 | 1.43 | 0.32 | 1.00 | 0.31 | 0.35 | 0.07 | 1.22 | 0.26 | 0.07 | 0.05 |
| C 20:5w3 | 16.11 | 3.58 | 9.53 | 2.96 | 14.72 | 3.11 | 15.32 | 3.27 | 6.03 | 4.60 |
| C 22:5w3 | 5.97 | 1.33 | 2.03 | 0.63 | 3.99 | 0.84 | 5.35 | 1.14 | 1.57 | 1.20 |
| C 22:6w3 | 54.80 | 12.18 | 27.21 | 8.46 | 43.79 | 9.24 | 52.61 | 11.24 | 12.52 | 9.56 |
| Otros | 28.15 | 6.26 | 18.16 | 5.65 | 23.47 | 4.95 | 28.35 | 6.06 | 6.94 | 5.30 |
| SATURADOS | 138.3 | 30.7 | 126.4 | 39.3 | 167.6 | 35.3 | 164.2 | 35.1 | 47.9 | 36.6 |
| MONOINSATURADOS | 146.4 | 32.5 | 99.4 | 30.9 | 158.2 | 33.4 | 143.0 | 30.6 | 36.7 | 28.1 |
| POLIINSATURADOS | 136.9 | 30.4 | 77.5 | 24.1 | 124.8 | 26.3 | 132.5 | 28.3 | 39.6 | 30.2 |
| Otros | 28.2 | 6.3 | 18.2 | 5.7 | 23.5 | 5.0 | 28.4 | 6.1 | 6.8 | 5.3 |
| TOTAL | 449.8 | 100.0 | 321.5 | 100.0 | 474.1 | 100.0 | 468.1 | 100.0 | 131.0 | 100.1 |

Promedio de tres lecturas por pez

mg/g = miligramos de ácido graso por gramo de lípido total extraído.

Cuadro VIII. PORCENTAJES PROMEDIOS DE COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN TRUCHA (AS) (ALIMENTO SUMERGIBLE)

| ACIDO GRASO | PORCENTAJE PROMEDIO n = 18 | PARÁMETRO b** | TENDENCIA SEGÚN LA EDAD |
|-------------|-------------------------------|---------------|-------------------------|
| C 14:0 | 6.27 ± 0.42* | +0.443 | aumenta |
| C 16:0 | 22.82 ± 0.88 | -0.113 | disminuye |
| C 18:0 | 6.39 ± 0.17 | +0.067 | aumenta |
| C 16:1ω7 | 8.95 ± 0.62 | +0.114 | aumenta |
| C 18:1ω9+ω7 | 20.96 ± 0.88 | -0.594 | disminuye |
| C 20:1ω9 | 0.74 ± 0.08 | -0.074 | disminuye |
| C 16:2ω4 | 1.09 ± 0.13 | +0.063 | aumenta |
| C 16:3ω4 | 0.44 ± 0.07 | +0.027 | aumenta |
| C 18:2ω6 | 8.54 ± 0.24 | +0.150 | aumenta |
| C 18:3ω4 | 0.42 ± 0.07 | -0.019 | disminuye |
| C 18:3ω3 | 0.89 ± 0.03 | +0.002 | aumenta |
| C 18:4ω3 | 0.46 ± 0.05 | +0.043 | aumenta |
| C 20:4ω6 | 1.56 ± 0.08 | +0.023 | aumenta |
| C 20:4ω3 | 0.18 ± 0.04 | -0.029 | disminuye |
| C 20:5ω3 | 3.66 ± 0.22 | +0.143 | aumenta |
| C 22:5ω3 | 1.05 ± 0.09 | +0.010 | aumenta |
| C 22: 6ω3 | 9.98 ± 0.56 | -0.215 | disminuye |
| | | | |

* Error Típico

** Parámetro b = Pendiente de la recta del análisis de regresión lineal

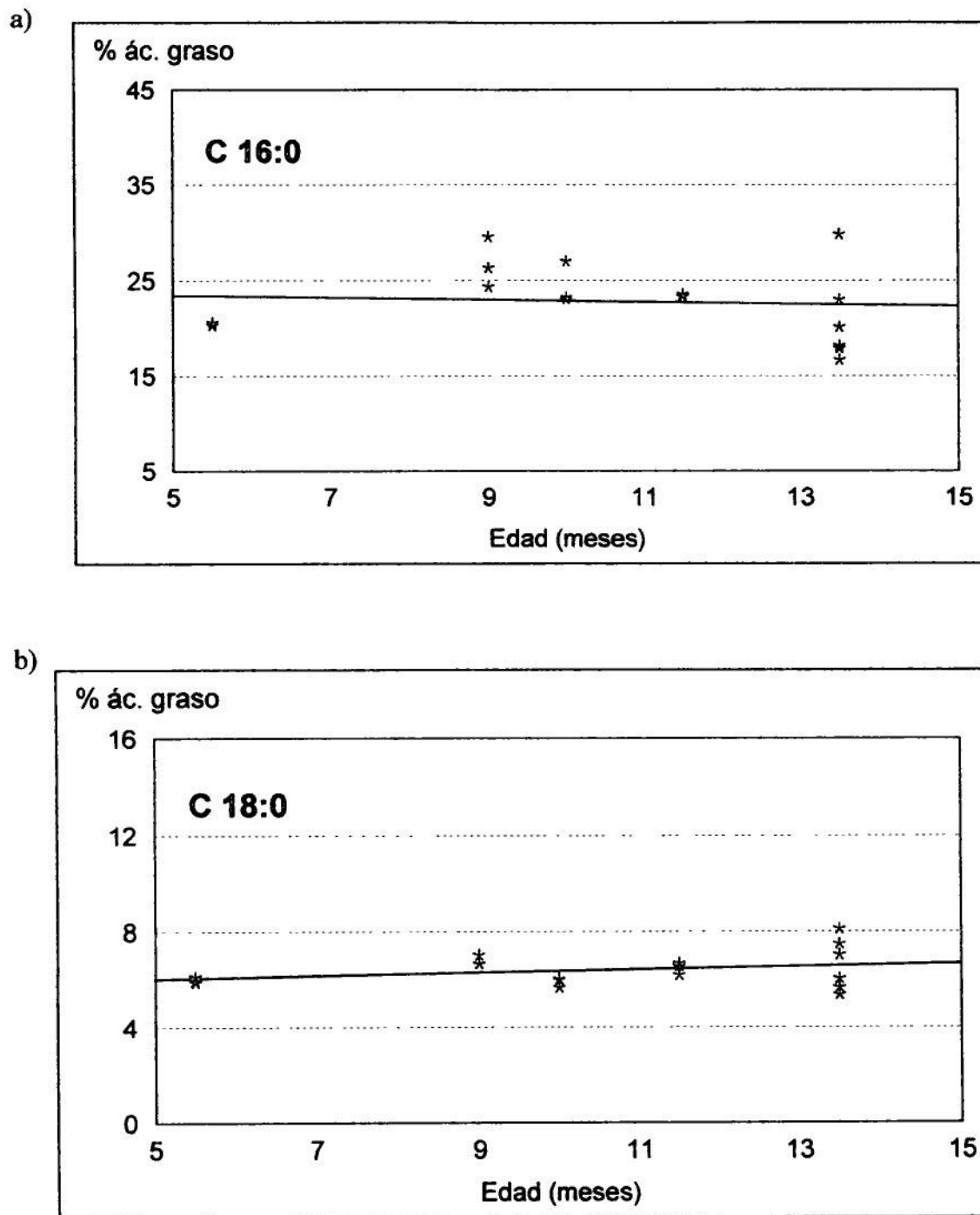


Fig. 11: Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos saturados más abundantes en trucha AS. a) Ácido palmítico; b) Ácido esteárico.

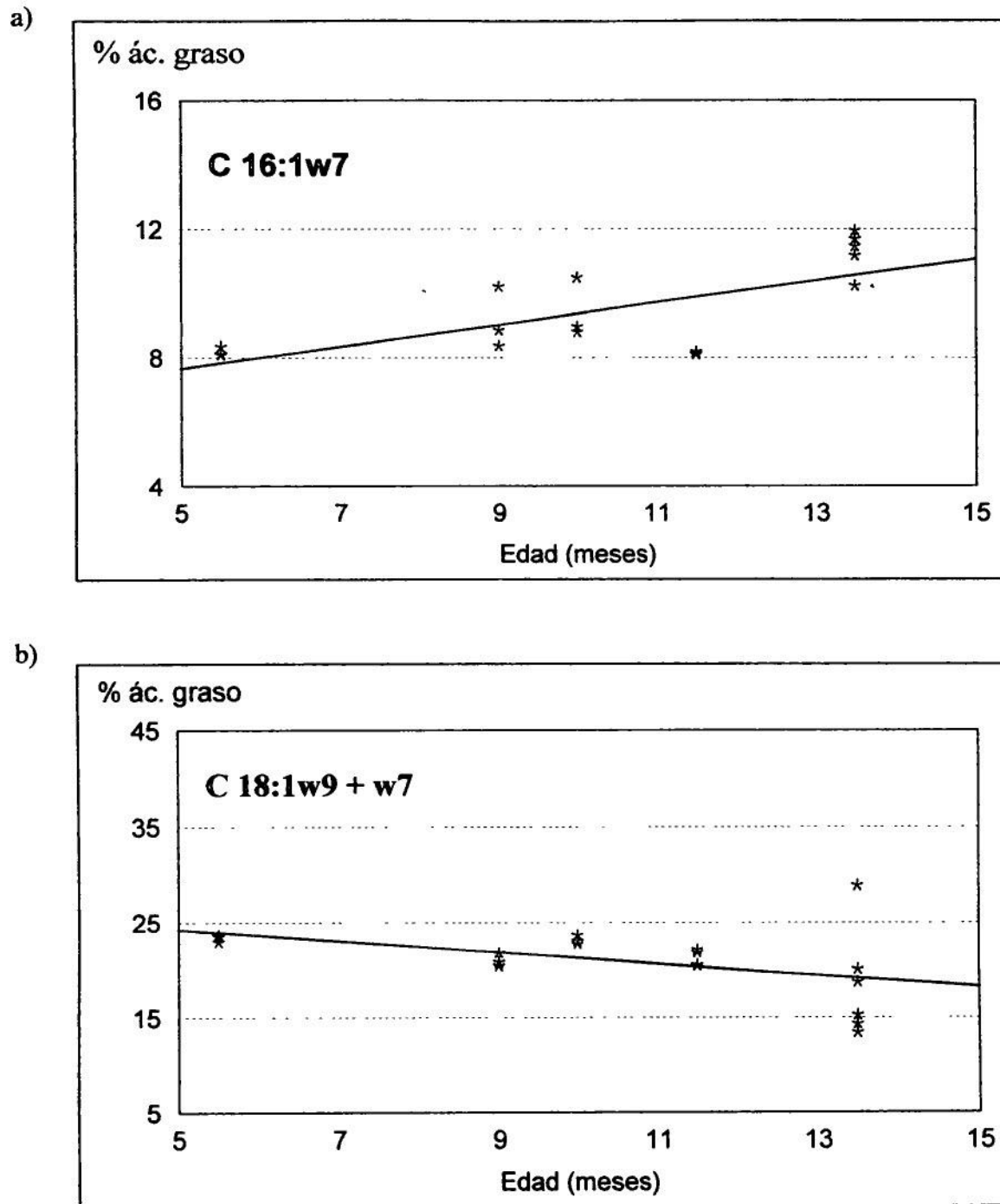


Fig. 12: Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos monoinsaturados más abundantes en trucha AS. a) Ácido palmitoleico; b) Ácido oleico/vacénico.

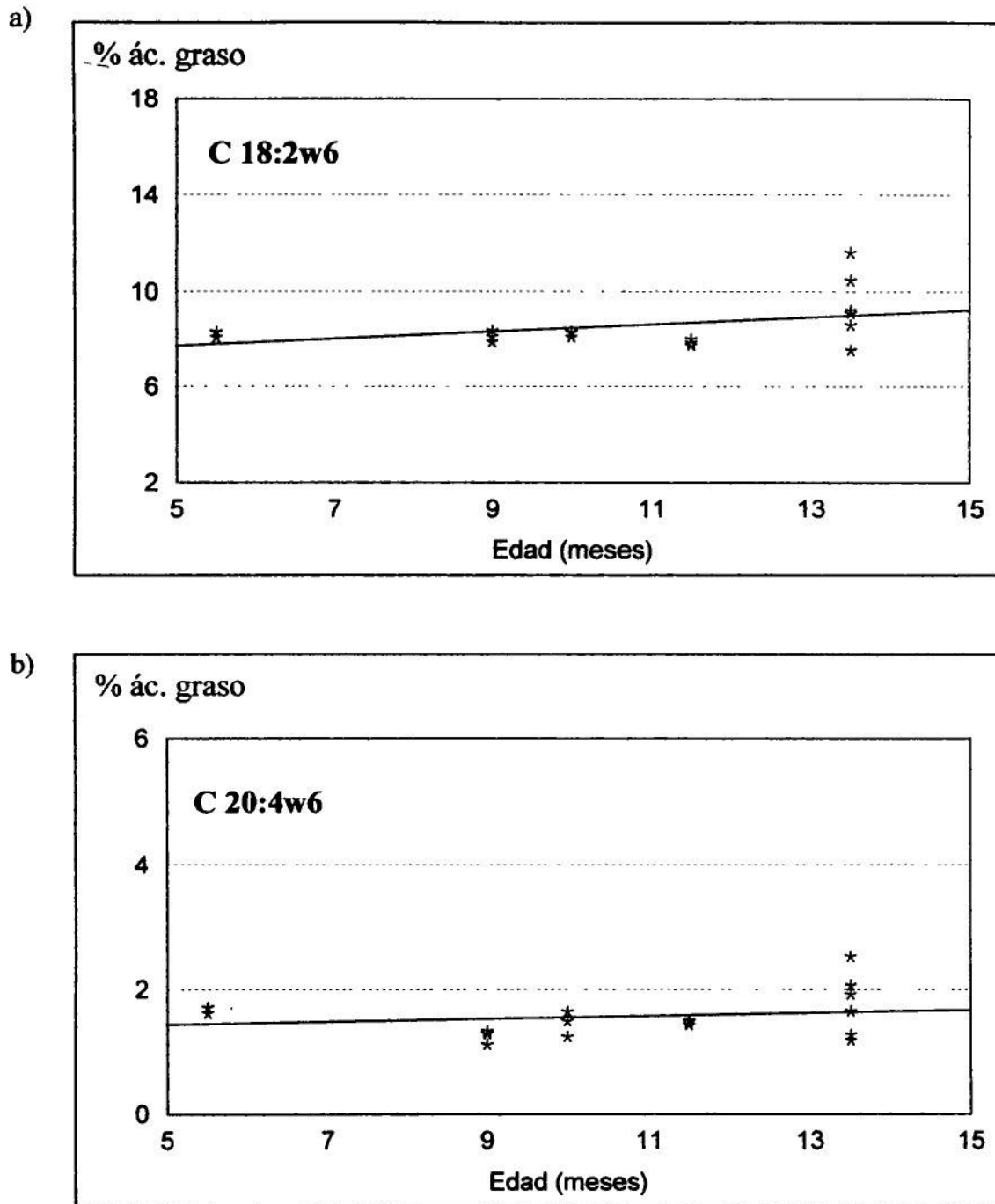


Fig. 13: Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos poliinsaturados más abundantes en trucha AS. a) Ácido linoleico; b) Ácido araquidónico.

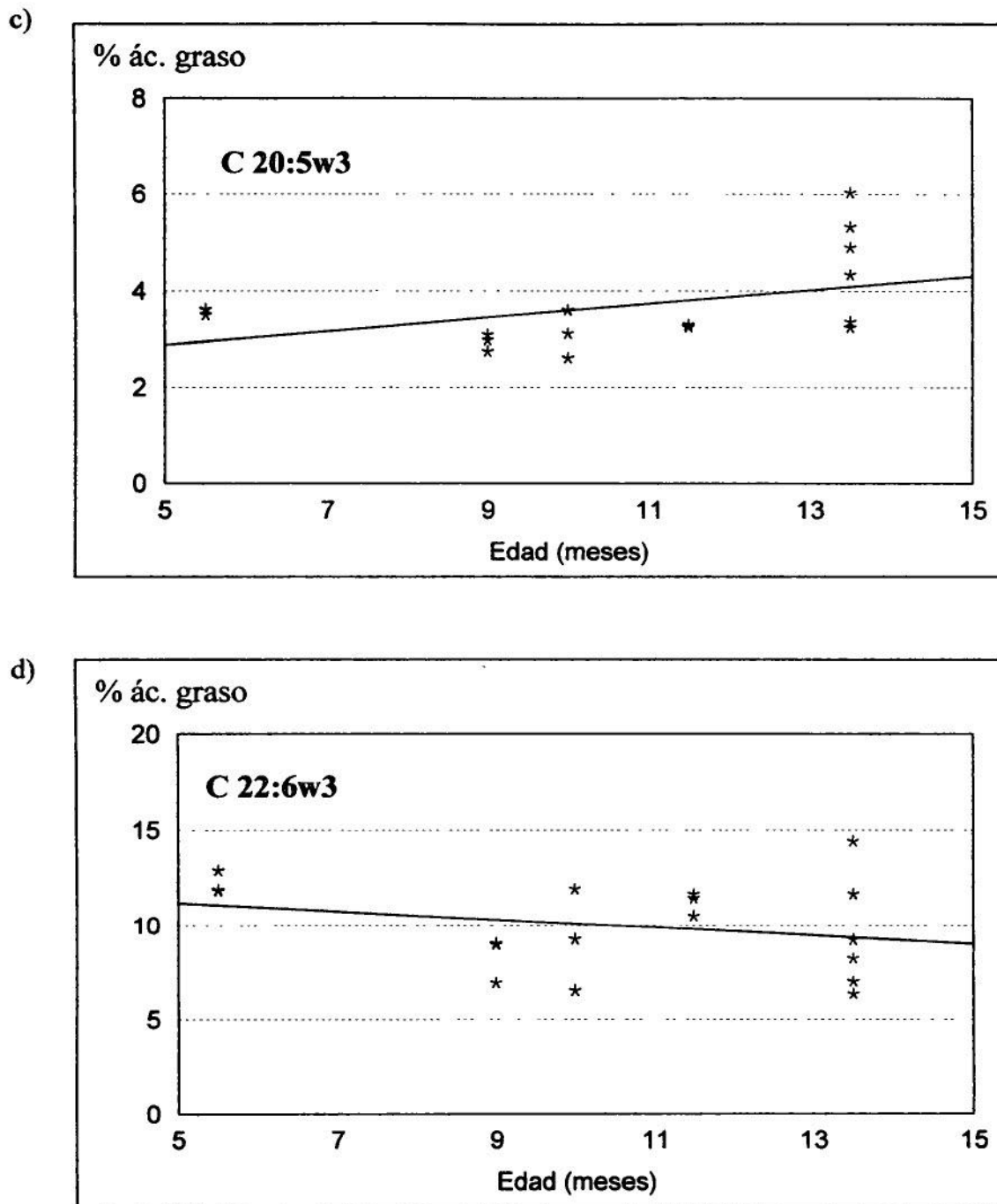


Fig. 14: Regresión lineal para la determinación del porcentaje promedio de composición de los ácidos grasos poliinsaturados más abundantes en trucha AS. c) Ácido eicosapentaenoico; d) Ácido docosahexaenoico.

3.4. Análisis comparativo de los tratamientos

Los resultados del porcentaje de composición de los ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados de las especies tilapias AS, tilapias AF, truchas arco iris y aquellos ácidos grasos no identificados presentado como otros, se muestran en el Cuadro IX. Los ácidos grasos más abundantes en estas especies fueron en promedio, los saturados (33.15%), seguidos por los ácidos grasos poliinsaturados (30.78%) y, en menor proporción los ácidos grasos monoinsaturados (27,90%).

Cuadro IX. PORCENTAJE DE COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS SATURADOS, MONOINSATURADOS, POLIINSATURADOS Y OTROS NO IDENTIFICADOS EN LAS MUESTRAS DE ACEITE DE TILAPIA Y TRUCHA.

| Especie | Porcentaje de ácidos grasos | | | |
|--------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| | Saturados | Monoinsaturados | Poliinsaturados | Otros |
| Tilapia (AS) | 32.47 ± 0.96 | 24.45 ± 0.74 | 33.53 ± 0.91 | 9.57 ± 0.66 |
| Tilapia (AF) | 31.94 ± 0.74 | 30.21 ± 0.52 | 29.56 ± 0.57 | 8.30 ± 0.81 |
| Trucha (AS) | 35.48 ± 0.91 | 30.65 ± 0.62 | 28.26 ± 1.09 | 5.61 ± 0.30 |
| Promedio | 33.15 ± 0.55 | 27.90 ± 0.52 | 30.78 ± 0.55 | 8.15 ± 0.43 |

Estos resultados sugieren que, las tilapias y las truchas tienen un contenido mayor en ácidos grasos insaturados que ácidos grasos saturados, observándose una proporción aproximada de 2:1, lo cual también sugiere que el consumo de estas especies es nutricionalmente más saludable que el consumo de carne porcina o vacuna.

En la Figura 15, las gráficas a, b y c muestran la variación del contenido de los ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados de acuerdo con la edad en tilapia y trucha. Los ácidos grasos saturados y monoinsaturados se detectaron en forma más abundante en truchas que en tilapias, (Figs. 15a y 15b), mientras que los ácidos grasos poliinsaturados fueron más abundantes en las tilapias (Fig. 15c).

Los ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados más abundantes se muestran en las figuras 16, 17 y 18. Los ácidos grasos saturados más abundantes fueron el ácido palmítico y el ácido esteárico. Las tilapias (AS) y (AF) mostraron mayor contenido del ácido esteárico, mientras que la trucha presentó el mayor contenido del ácido palmítico.

Los ácidos grasos monoinsaturados más abundantes fueron: el ácido palmitoleico y el putativo par de ácidos grasos oleico/vacénico, los cuales fueron encontrados en forma abundante tanto en tilapias como en truchas.

Los apéndices 1, 2 y 3 muestran los cromatogramas típicos para una muestra de tilapia AS, tilapia AF y trucha AS, respectivamente.

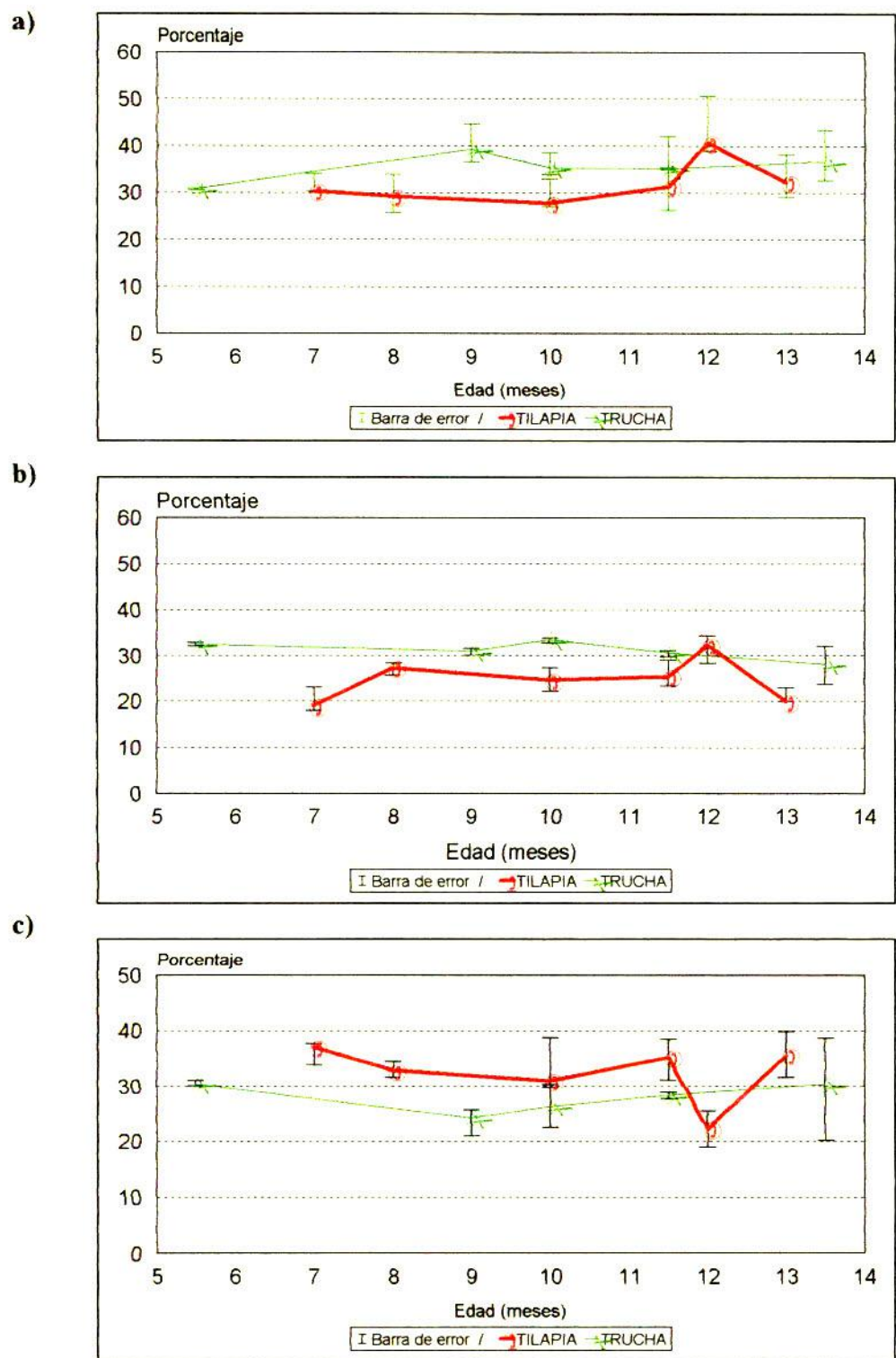


Fig. 15 : Variación del contenido de ácidos grasos en tilapia (AS) y trucha (AS) con la edad: a) saturados , b) monoinsaturados y c) poliinsaturados.

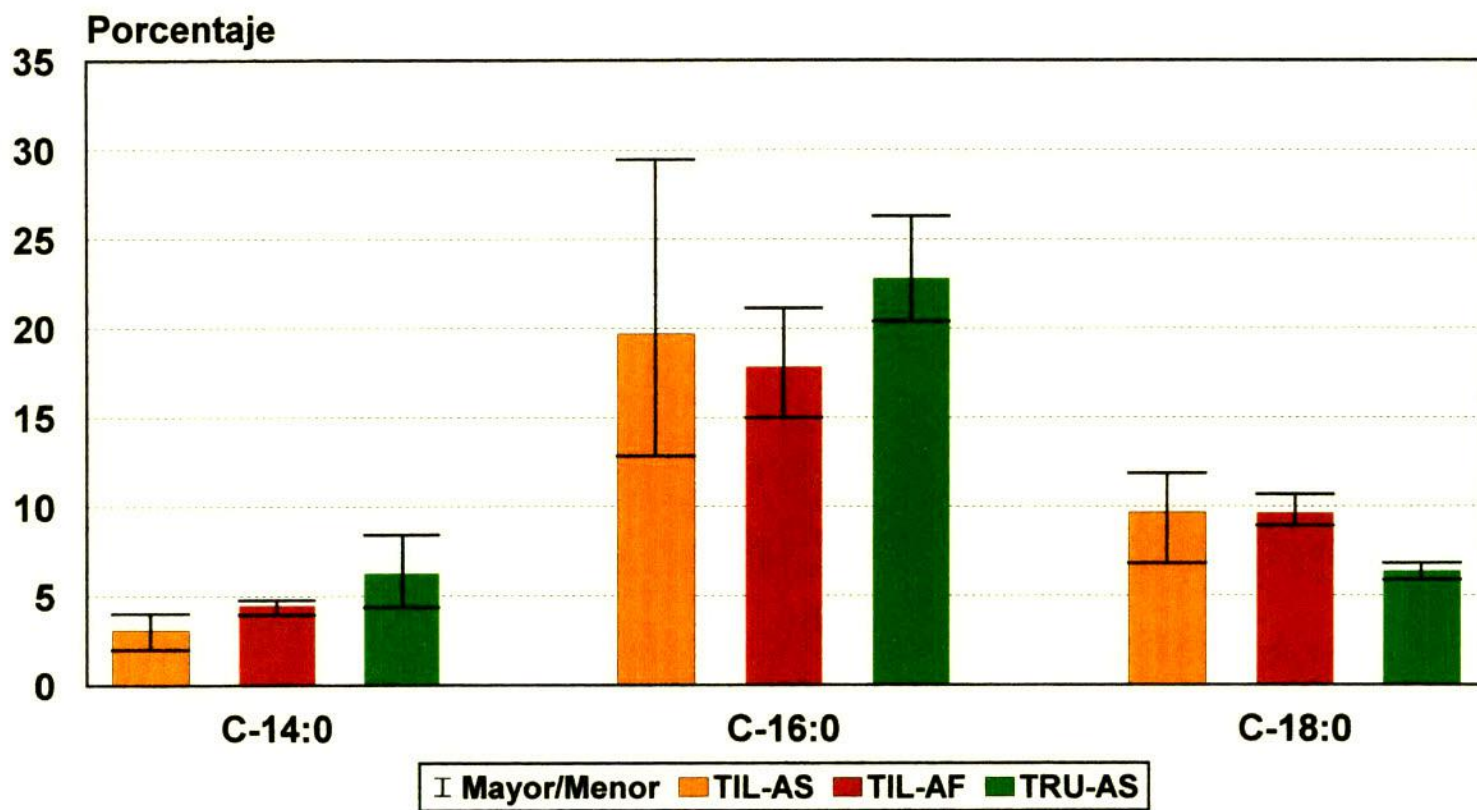


Fig. 16: Ácidos grasos saturados más abundantes en tilapia AS, tilapia AF y trucha AS

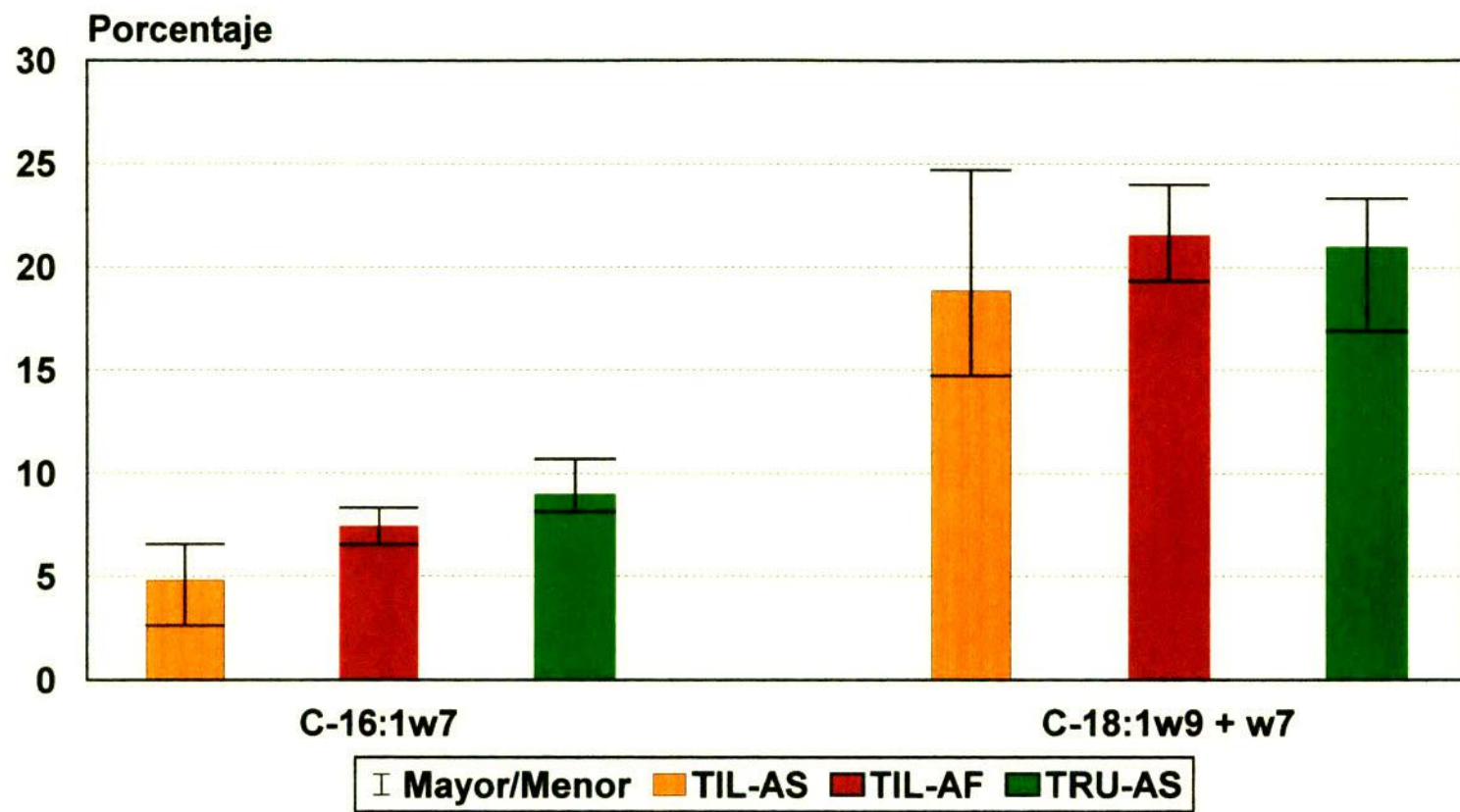


Fig. 17: Ácidos grasos monoinsaturados más abundantes en tilapia AS, tilapia AF y trucha AS

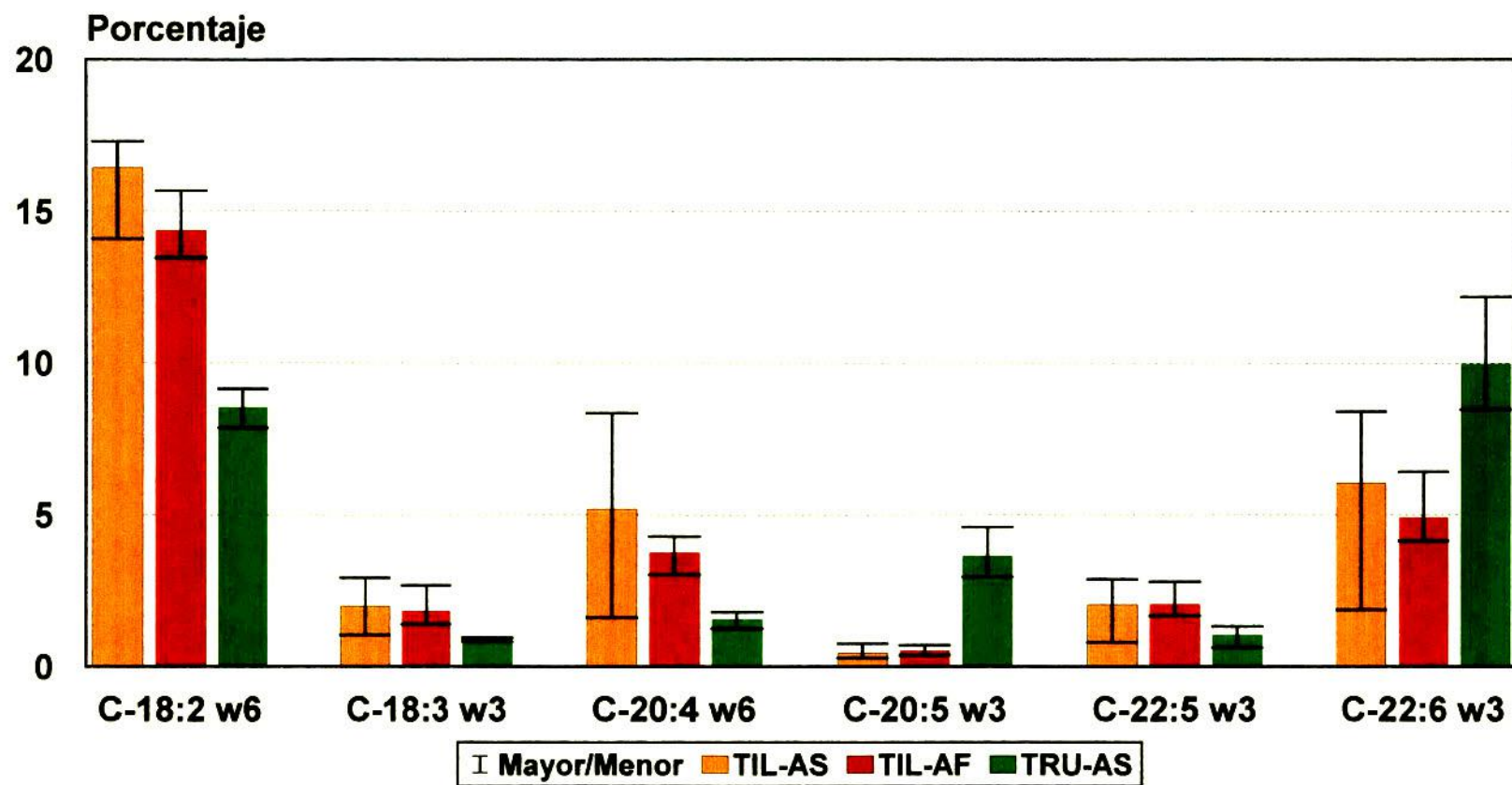


Fig. 18: Ácidos grasos poliinsaturados más abundantes en tilapia AS, tilapia AF y trucha AS

El ácido graso poliinsaturado más abundante fue el linoleico, observándose que en tilapias éste se presenta en cantidades más elevadas, 13.37% para tilapia AS y 11.72% para tilapia AF, mientras que en truchas AS se detectó en un 6.87%. Este resultado sugiere que la tilapia fija más los ácidos grasos $\omega 6$ provenientes del alimento en los lípidos tisulares, y está de acuerdo con investigaciones de Kanazawa et al. (1980) y Takeuchi et al. (1983), quienes señalaron que las tilapias poseen un mayor requerimiento dietético de ácidos grasos $\omega 6$ que de $\omega 3$ para su mejor desarrollo y crecimiento.

El ácido araquidónico se detectó en mayor porcentaje en tilapias AS (5.18%) y tilapias AF (3.77%) y en menor porcentaje en truchas (1.56%). El ácido graso eicosapentaenoico se detectó en muy pequeñas cantidades en tilapias AS (0.46%) y tilapias AF (0.54%), mientras que en truchas fue más abundante (3.66 %).

El ácido graso docosapentaenoico se detectó en mayor cantidad en tilapias que en truchas. Así en tilapias AS y AF se encontró en un 2.05% y 2.07% respectivamente, mientras que en truchas se detectó en 1.05%.

El ácido araquidónico se observó en mayor contenido que el ácido eicosapentaenoico para los tratamientos tilapia AS y tilapia AF, no así para la trucha.

El ácido graso docosahexaenoico fue el ácido graso poliinsaturado más abundante en ambas especies; así, para tilapias AS se detectó en un 6.04% y en tilapia AF en 4.92%, mientras que en truchas en un 9.98%.

El contenido total de ácidos grasos poliinsaturados $\omega 3$ fue mayor en truchas que en tilapias. De manera individual, se detectaron niveles relativamente bajos de ácido α -linolénico y docosapentaenoico en ambas especies y de ácido eicosapentaenoico en

tilapias. El contenido de ácido eicosapentaenoico es apreciablemente mayor en truchas. Por otro lado, se encontraron niveles significativamente elevados de ácido docosahexaenoico en ambas especies. Estos resultados se muestran en el cuadro X

Los resultados de la composición de ácidos grasos obtenidos en estas dos especies se compararon con los datos encontrados en la literatura de otras dos especies marinas, sardina (*Sardinops sagax sagax*) según Pazos et. al.(1984), y atún según Castro et. al. (2000); y en las especies de agua dulce: amarillo (*Pimelodus clarias maculatus*) y moncholos (*Pimelodus albicans*), según Abib, et.al. (2000). En estos estudios se identificaron a los ácidos palmítico y estéarico como los ácidos grasos saturados más abundantes, lo cual coincide con los resultados de esta investigación.

Los mismos autores antes mencionados encontraron que los ácidos grasos monoinsaturados más abundantes en estas especies son el palmitoleico, oleico y vacénico, lo cual también está de acuerdo con los resultados de este estudio. De igual forma, estos investigadores encontraron que el linoleico, linolénico, eicosapentaenoico y docosahexaenoico fueron los ácidos grasos poliinsaturados predominantes en las mismas especies, lo cual también coincide con los resultados de esta investigación.

El análisis comparativo de los ácidos grasos $\omega 3$ en tilapias AS, AF y truchas se muestra en el cuadro X, observándose que el ácido docosahexaenoico fue el más abundante en los tres tratamientos.

El análisis de regresión lineal del porcentaje de los ácidos grasos sugiere que la tendencia general de los ácidos grasos saturados palmítico y esteárico en tilapias y trucha es aumentar con la edad. Los ácidos grasos monoinsaturados oleico/vacénico y

palmitoleico no muestran un patrón general de comportamiento semejante en la tendencia de aumento de estos ácidos grasos en las tres especies estudiadas, sino que el comportamiento es bastante variado. Así, en tilapia AS el ácido palmitoleico y el par de ácidos oleico/vacénico disminuyen con la edad, mientras que en tilapia AF y truchas se observó que los anteriores ácidos grasos aumentaban con la edad. El comportamiento de los ácidos grasos poliinsaturados en tilapias y truchas también es variado. El ácido graso eicosapentaenoico disminuye en tilapia AS, mientras que el ácido docosahexaenoico aumenta con la edad en esta especie. En tilapia AF y en trucha, el ácido eicosapentaenoico aumenta con la edad, mientras que el ácido docosahexaenoico disminuye con la edad. Generalmente, la deposición del lípido corporal está directamente relacionada con el nivel de lípidos en la dieta y la composición de ácidos grasos de la grasa corporal refleja la composición de los mismos en la dieta. También hay que considerar que en el caso de las truchas, éstas están sometidas a procesos de desoves, no así la tilapias por ser sometidas a reversión sexual, lo cual también puede influir en las truchas y su tendencia en el comportamiento del porcentaje de composición de sus ácidos grasos. En el presente estudio no se consideró la época de desove para las truchas.

Sin considerar la tendencia de los ácidos grasos a aumentar o disminuir con la edad, se observó un mayor contenido de ácidos grasos insaturados que saturados, lo que hace de la carne de estos peces de agua dulce importantes en la nutrición del hombre.

**Cuadro X. CONTENIDO PORCENTUAL DE ÁCIDOS GRASOS
POLIINSATURADOS ω 3 EN TILAPIAS Y TRUCHAS**

| Acido Graso | Especie | | |
|----------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Tilapia AS | Tilapia AF | Trucha |
| α -linolénico | 2.00 \pm 0.50 | 1.84 \pm 0.11 | 0.89 \pm 0.03 |
| Eicosapentaenoico | 0.46 \pm 0.06 | 0.54 \pm 0.08 | 3.66 \pm 0.22 |
| Docosapentaenoico | 2.05 \pm 0.15 | 2.07 \pm 0.16 | 1.05 \pm 0.09 |
| Docosahexaenoico | 6.04 \pm 0.38 | 4.92 \pm 0.27 | 9.98 \pm 0.56 |
| Otros | 0.09 \pm 0.04 | 0.14 \pm 0.07 | 0.64 \pm 0.09 |
| Total | 10.64 \pm 1.13 | 9.51 \pm 0.69 | 16.22 \pm 0.99 |

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos en esta investigación se concluye que:

- La porción lipídica de los peces estudiados muestran un menor contenido de ácidos grasos saturados que de ácidos grasos insaturados, lo cual hace de esta carne recomendable desde el punto de vista dietético.
- Los ácidos grasos saturados más abundantes en las dos especies estudiadas fueron el ácido palmítico y el ácido esteárico, de los cuales el ácido esteárico es considerado no poseer propiedades hipercolesterolemiantes apreciables.
- Los ácidos grasos monoinsaturados más abundantes fueron el ácido palmitoleico y el par de ácidos oleico / vacénico en las especies investigadas, observaciones que coinciden con lo encontrado en la literatura para especies marinas y algunas especies de agua dulce.
- Los ácidos grasos ω 3 encontrados en estas dos especies representan un porcentaje apreciable de la fracción total de ácidos grasos poliinsaturados.
- Existe una variación evidente en el tipo y contenido de ácidos grasos entre tilapias y truchas; se puede considerar a la trucha como el pez más rico en ácidos grasos ω 3 (16.22 %) en comparación con las tilapias (10.64%).

- Los ácidos grasos $\omega 3$ mas abundantes fueron el linolénico, docosapentaenoico y docosahexaenoico en tilapias, mientras que en truchas fueron el eicosapentaenoico y el docosahexaenoico.
- Existe una diferencia significativa en el contenido de ácidos grasos en tilapias AS y tilapia AF. Los ácidos grasos que se encontraron como más abundantes fueron mayores en tilapia AS que los encontrados en tilapia AF.
- Las carnes de tilapia roja y trucha arco iris, y probablemente otros peces de agua dulce, poseen un alto valor nutritivo debido a su alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados, por lo que recomendamos a instituciones como el MIDA que continúen promoviendo el cultivo de peces de agua dulce entre los acuicultores existentes y los interesados en este campo del agro.
- Se recomienda continuar ésta investigación con el propósito de determinar la edad en la cual estos peces alcanzan la mayor proporción de AGPI esenciales y así favorecer a la población desde el punto de vista dietético y de prevención de enfermedades cardiovasculares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIB, M., FERRETTI, PIAGENTINI, A., FERRARIS, N.;FREYRE, M. y FONTANARROSA, M.E. 2000. Perfil de ácidos grasos en peces comestible del Río Paraná: *Amarillo (pimeludos clarias maculatus)* y moncholos (*pimeludos albicans*). Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Litoral. México. [www.konnecting.com /Slan2000](http://www.konnecting.com/Slan2000).
- ACKMAN, R.G. 1974. Marine lipids and fatty acids in human nutrition Ent: Fishery products R.Kreuzer. 1^{ra} ed. Inglaterra. 462págs.
- ACKMAN, R.G. 1980. Fish lipids Part 1. In: J.J. Connell (ed.) *Advances in fish science and technology*, Fishing News (books) Ltd. Farnham, Surrey 86-103.
- ANDERSON J., JACKSON, A. J., MATTY, A. J. y CAPPER B. S. 1984. Effects of dietary carbohydrate and fibre on the tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn.). *Aquaculture* 37: 303-314.
- ARL, H., LEHMANN y I., OETJEN K. 1998 *Chemosphere*, 36(13): 2819-32.
- ARO, A.; JAUHAINEN, M.; PARTANEN, R.; SALMINEN, L.; MUTANEN, M. 1997. Stearic acid, trans fatty acids, and dairy fat: effects on serum and lipoprotein lipids, apolipoproteins, lipoprotein (a), and lipid transfer proteins in healthy subjects. *Am. J. Clin. Nutr.*; 65(5): 1419-26.
- BATISTA CEBALLOS, A.I. 1994. "Elaboración de aceite de pescado para uso industrial a partir de la fauna acompañante del camarón." Tesis de Maestría. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio., Escuela de Química, Universidad de Costa Rica.
- BATISTA CEBALLOS, A., VETTER, W., WEICHBRODT, M. y LUCKAS, B. 1998. *Organohal. compounds*, 35: 67-70
- BLANCO, C. 1995. La trucha. Cría industrial. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- BLIGH, E.G. y DYER, W.G. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37: 911-917.
- BORELL, A. y SCHEFFER, P. 1972. Truchas en estanques de granjas y ranchos. Centro regional de ayuda técnica. Agencia para el desarrollo internacional. México 25 págs.
- BOTTINO, M. R. ; GENNITY, J.; LILLY, M. L.; SIMMONS E. y FINNE, G. 1980. Seasonal and nutritional effects on the fatty acids of three species of shrimps, *Penaeus setiferus*, *P. aztecus* and *P. duorarum*. *Aquaculture*. 19(2): 139-148.

- CABALLERO, B., CÁCERES, M.V., CIPOLLA, C., DEBEZA, A., ESPECHE, M., HOFFMANN, M., JAUREGUI, P., MARTEAU, S., PEREGO, L., PETERSON, G., TOMAS, M.C., y TAVELLA M. **2000**. Acidos grasos saturados e isómeros trans en la nutrición humana. Rev. Asoc. Argentina de nutrición enteral y parenteral. <http://webs.pccp.com.ar/propia/revis-3.htm>.
- CARRIZO, J. C. **1999**. Propiedades de la carne de pescado. Asesoría PYME. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero. INIDEP. Argentina. www.inatec.edu.ni/revi 17.
- CASTRO-GONZÁLEZ, MI., MONTAÑO, BS., PÉREZ-GIL, R.F. **2000**. Acidos grasos del atún en aceite y agua de diferentes zonas pesqueras del pacífico mexicano. Dirección de Nutrición. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición "Salvador Zubirán". México. www.konnecting.com/Slan2000.
- CHACON, P. OMAR. **2000**. Caracterización de la calidad: microbiológica, de la canal y de la carne en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) producida en la región noreste del estado de Chihuahua. Tesis de Maestría. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. México. 114 págs.
- CHRISTEANSEN, J. A. **1984**. Changes in phospholipid classes and fatty acids and fatty acid desaturation and incorporation into phospholipids during temperature acclimation of green sunfish *Lepomis cyanellus* R. *Physiol. Zool.* 57: 481- 492.
- CSENGERI, I., FARKAS, T., MAJOROS, F., OLÁH, J. y ZSALAY, M. **1978**. Effect of feeds on the fatty acid composition of carp (*Cyprinus carpio* L.) *Aquacultura Hungarica* (Szarvas) I: 24- 34.
- DAIKOKU, T. YANO, I. y MASUI, M. **1982**. Lipid and fatty acid compositions and their changes in the different organs and tissues of guppy, *Poecilia reticulata* on sea water adaptation. *Comp. Biochem. Physiol.* 73A: 167- 174.
- DECKERE, E.A.M. de. **1999**. Possible beneficial effect of fish and fish n-3 polyunsaturated fatty acids in breast and colorectal cancer. *European Journal of Cancer Prevention.* 8 :213-221.
- DINLESKI, B., OCKERMAN, H., y DOMOSKI, P., **1994**. Fish muscle. *Meat Focus International.* 11: 459-462.
- DYERBERG, J., BANG, H. O., SOTOFFERSEN, E., MONCADA, S. y VANE, J.R. **1978**. *Lancet.* 2: 117-119.
- EL-SAYED A. y TESHIMA S. **1991**. Tilapia nutrition in aquaculture. *Reviews in Aquatic Sciences,* 5: 247-265.

- ESQUIVEL, J. R. 1989. ¿Qué es la Acuicultura? Dirección Nacional de acuicultura. MIDA. Panamá. 5(1): 2-5.
- FORREST, J., ABERLE, E., HEDRICK, H., JUDGE, M., y MERKEL, R., 1979. Fundamentos de Ciencia de la Carne. Editorial Acribia, S. A. España. 154 págs.
- GAUGLITZ, E. J.; STOUT, V. F. y WEKELL, J. C. 1974. Applications of fish oils in the food industry en Fishery products R.Kreuzer 1^{ra} ed. Inglaterra. 462 págs.
- GAUTAM, A., CHOUDHURY, G. y GOGOI, B. 1997. Twin screw extrusion of pink salmon muscle: effect of mixing elements and feed composition. J. of Muscle Foods. 8(3): 266-269.
- GOODNIGHT, S., CAIRNS, J., FISHER, M. y FITZGERAL, G. 1992. Assessment of the Therapeutic Use of n-3 Fatty Acids in Vascular Disease and Thrombosis. Chest. 102: 374S-384S.
- GOODNIGHT, SCOTT. 1991. Fish oil and Vascular Disease. Trends Cardiovasc. Med. 1: 112-116.
- GREENE, D. H. S. y SELIVONCHICK, D. P. 1989. Lipids metabolism in fish. Prog. Lipid Res. 26: 53- 85.
- GHEYASUDDIN, S., ASADUR, RAHMAN, M., y AMINULLAH BHUIYAN, A.K.M. 1978. Chemical characteristics of hilsha fish oil and keeping quality. Bangladesh. J.Biol.Sci. 6/7(1):10-17.
- GRUGER, E. H. JR., NELSON, R. W. y STANSBY, M. E. 1960. Composition of oils of various species of edible and nonedible fish. I. Fatty acids chain lengths. En: Abstracts of Am. Oil Chemist Soc. Meeting, New York. EEUU.
- HAGAR, A. F. y HAZEL, J. R. 1985. The influence of thermal acclimation on the microsomal fatty acid composition and desaturase activity of rainbow trout liver. Mol. Physiol. 7: 107- 118.
- HAYASHI, K. y TAKAGI, T. 1977. Seasonal variation in lipids and fatty acids of sardine, *Sardinops melonosticta*. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 28(2): 83-94.
- HAZEL, J. R. 1984. Effect of temperature on the structure and metabolism of cell membranes in fish. Am. J. Physiol. 246: R460- R470.
- HENDERSON, R. J. y SARGENT, J. R. 1981. Lipid biosynthesis in rainbow trout fed diets of different fat content. Comp. Biochem. Physiol. 69C: 31-37.

- HOLUB, B. J., CONNOR, J. T. H. y SLINGER, S. J. 1975A. Incorporation of glycerol-3-phosphate into the hepatic lipids of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. J.Fish. Res. Board Can. 33: 61-64.
- HOSSAIN, M., NAHAR, N., KAMAL, M., ISLAM, M. 1992. Nutrient digestibility coefficients of some plant and animal proteins for tilapia (*Oreochromis mossambicus*). J. Aqua. Trop., 7: 257-266.
- HUG, H.S. Y RUBBI S. F. 1978. Study of the fatty acid composition of hilso oil. Proc. IPFC. 18(3): 262-266.
- HUI, S. W., STEWART, T. P., YEAGALE, P. L. y ALBERT, A. D. 1981. Bilayer to nonbilayer transition in mixtures of phosphatidylethanolamine and phosphatidylcholine: Implications for membrane properties. *Arch. Biochem. Biophys.* 207: 227-240.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS (ICMSF). 1985. Ecología microbiana de los alimentos 2. Productos alimenticios. Editorial Acribia, S.A. España. 275 págs.
- ISHIDA, Y., YOKOI, H., ISOMURA, S., OHTANI, H., TSUGE, S., SEKINO, T., NAKANISHI, M. y KIMOTO, T. 1998, J Chromatogr B Biomed Sci Appl 25; 716 (1-2):39:45.
- JACOBS, M. N., SANTILLO, D., JOHNSTON, P.A., WYATT, C.L. y FRENCH, M.C. 1998, Chemosphere Oct. Nov; 37: 9-12 y 1709-21.
- JIMÉNEZ, R. A. 1989. Evaluación cuantitativa de los aceites y grasas en diferentes especies de pescados del Golfo de Nicoya, Costa Rica. Tesis. Universidad de costa Rica, Heredia. 98 págs.
- KANAZAWA, A., TESHIMA, S., SAKAMOTO, M., y AWAL, M.A. 1980. Requeriments of *Tilapia zillii* for essential fatty acids. Bull. Jap.. Soc. Sci. Fish. 46: 1353-1356.
- KAWACHI, M., MISAKO, K., IKEMOTO, H. y MIYACHI, S. 1996 : J. Applied Phycology 8: 397-401.
- KAWAL, S., FUKUSHIMA, M., MIYASAKI, N. y TATSUKAWA, R. 1988. Marine Pollution Bulletin, 19 (3): 129-133.
- KEYS, A., ANDERSUN, J. T., y GRANDE, F., 1965. Serum cholesterul response tu chan-ges in the diet. IV. Particular Saturated fatty acids in the diet. Metabolism; 14: 776-787.

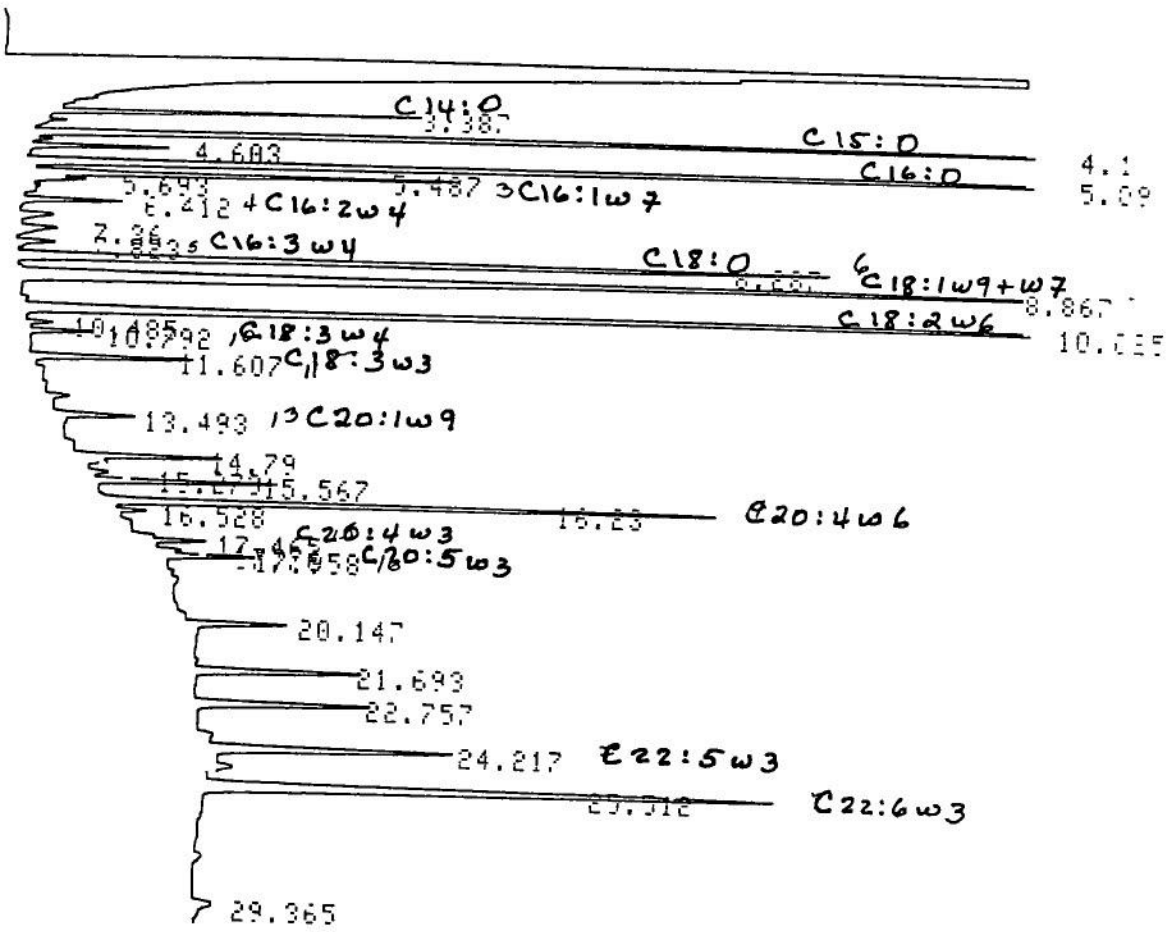
- KEYS, A., MENOTTI A., KARVONEN M. J. 1986. The diet and 15-year death rate in the Seven Countries Study. *Am J. Epidemiol*; 124: 903-915.
- KHOSLA, P.; HAYES, KC. 1996. Dietary trans-monounsaturated fatty acids negatively impact plasma lipids in humans: critical review of the evidence. *J Am Coll Nutr*. Aug; 15(4): 325-39.
- KINSELLA, J.P. 1987. 1-23, in: *Dietary Fats and Cardiovascular Disease*, Lees R, Karel M. (ed.) Sea Foods and Fish Oils in Human Health and disease. dekker. New York.
- LADEWING, K. y MORAT, M. 1995. Rainbow trout. Southern Regional Aquaculture Center. January. SRAC Publication N°. 224.
- LERAY, C., CHAPPELLE, S., DUPORTAIL, G. y FLORENTZ, A. 1984. Change in fluidity and environmental salinity. *Biochim. Biophys. Acta* 778: 233-238.
- LUQUET, P., 1991. Tilapia. *Oreochromis spp.* In: *Handbook of Nutrient Requirement of Finfish*. R. Wilson (ed.) CRC Press, Inc., USA. p. 169-180.
- MANSOUR, M., VOLKMAN, J., JACKSON, A. y BLACKBURN S. 1999. The fatty acid and sterol composition of five marine dinoflagellates. *J. Phycol.* 35:710-720.
- MASANOBU, K., MISAKO, K., HISATO, I. y MIYACHI, S. 1996 *J. Appl. Phycol.* 397-401.
- MATA, P., DE OYA, M. 1993. Dieta y enfermedad cardiovascular. *Rev. Clin. Esp*; 192:41-48.
- MELLOR, J., LAUGHARNE, J. y PEET, M. 1996. Omega-3 fatty acid supplementation in schizophrenic patients, *Human Psychopharmacology II*: 39-46.
- METCALFE, L.D. y WANG, C.N. 1981. Rapid preparation of fatty acid methyl esters using organic basecatalyzed transesterification. *J. of Chrom. Sci.* 19 (10): 530-535.
- MULLER, H., y TOBIN, G. 1986. *Nutrición y Ciencia de los alimentos*. Editorial Acribia, S.A. España. 240 págs.
- MURRAY, R., MAYES, P., GRANNER D., RODWELL, V. 1997. *Bioquímica de Harper*. 14^a edición. Editorial El Manual Moderno, S.A. de C.V-. México. 1021 págs.
- NEURINGER, M., CONNOR, W., LIN, D., BARSTAD, L. y LUCK. S. 1986. Biochemical and functional effects of prenatal postnatal ω -3 fatty acid deficiency on retina and brain in rhesus monkeys. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 83: 4021-4025.

- PATTON, J. S. y BENSON, A. A. 1975. A comparative study of wax ester digestion in fish. *Comp. Biochem. Physiol.* 52B: 111-116.
- PAZOS, M., WAKAO, A. y VICETTI, R. 1984. Estudio sobre la composición de los lípidos y ácidos grasos de la sardina. *Bol. Inv. Inst. Tec. Pes.* 2(1): 1-24.
- PRIETO, C., 1998. Características de calidad de la carne de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) de tres granjas piscícolas del Estado de Chihuahua. Programa especial de investigación. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. México. 12 págs.
- RAO, M. V. y GEDAM, P. H. 1985 Observations on component fatty acids on India sardine oil and it's upgraded samples. *Fette Seifen Anstrichm* 87(1): 332-34.
- SARGENT, J. R., MCINTOSH, R., BAUERMEISTER, A. y BLAXTER, J. H. S. 1979. Assimilation of the wax esters of marine zooplankton by herring (*Clupea harengus*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Marine Biology* 51:203 -207.
- SERRANO, N. 1990. El cultivo de la tilapia en Panamá. *Revista de la Asociación panameña de producción animal. APPA. Dirección Nacional de Acuicultura. Panamá.* 6(1): 7-9.
- SIMOPOULOS, A. P. 1999. Evolutionary aspects of omega-3 fatty acids in the food supply. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids* 60(5&6): 421-429.
- SLOVER, H.T. y LANZA, E. 1979. Quantitative análisis of food fatty acids by cappillary gas chromatography. *J. Am. Oil Chem. Oc.* 56: 1220-1227.
- STANSBY, M.E. 1982. Properties of fish oils and their applications to handling of fish and nutritional and industrial use. En: *Chemistry and Biochemistry of marine food products.* R. E. Martin ed. 1^{ra} ed. *Nac. Fisheries Institute.* Avi Publishing Company. EEUU. 474 págs.
- STANSBY, M.E. Y HALL, A.S. 1967. Chemical composition of commercially important fish of the USA. *Fish Ind. Res.*, 3, 29-34.
- STICKNEY, R. y MCGEACHIN R. 1983. Responses of *Tilapia aurea* to semipurified diets of differing fatty acids composition. P. 346-355. In: *Proc. of the Int. Symp. on Tilapia in Aquaculture.* L. Fishelson and Z. Yaron (eds.), Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel.
- STICKNEY, R. R. y WURTS, W. A. 1986 Grown response of blue tilapias to selected levels of dietary menhaden and catfish oils. *Prog. Fish. Cult.* 48:107-109.

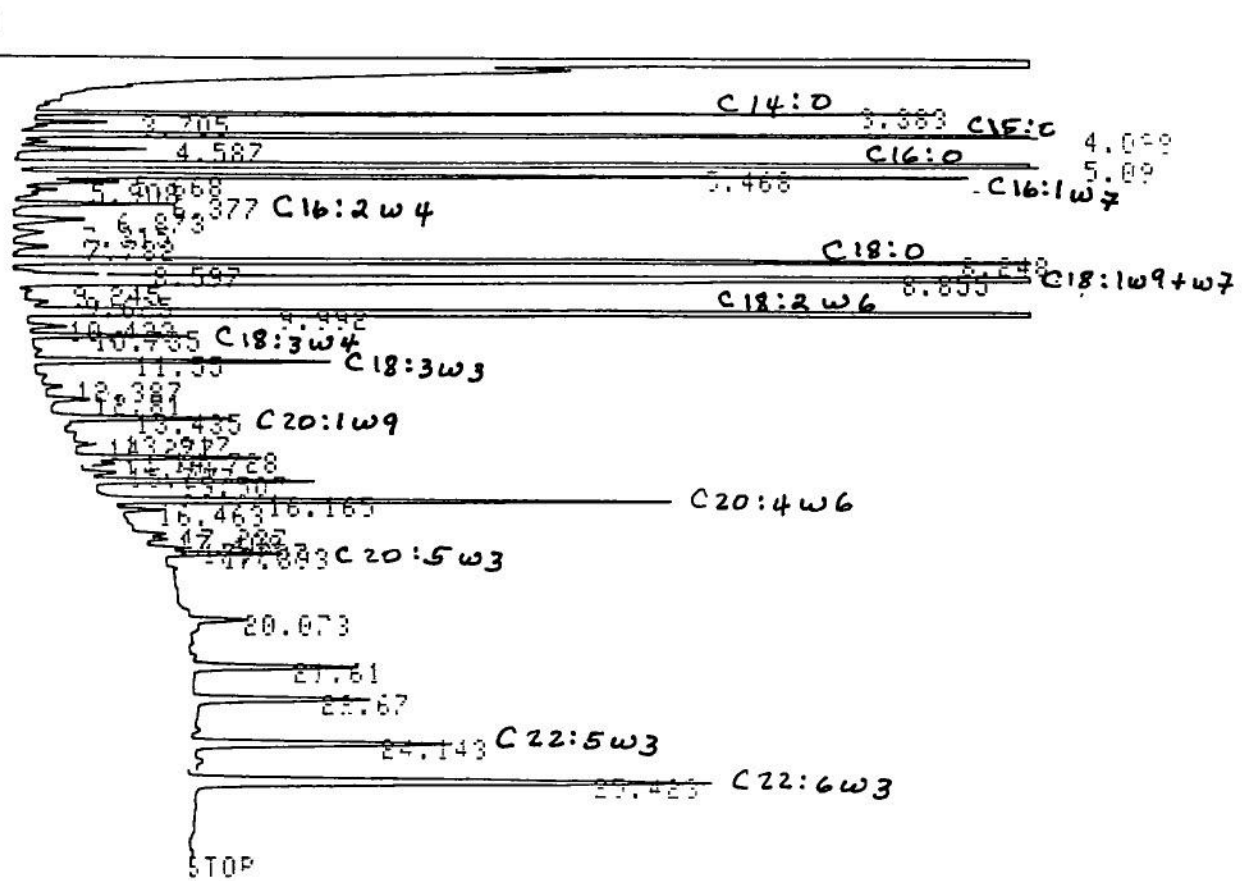
- SUZUKI, H., OKAZAKI, K., HAYAKAWA, S., WADA, S. y TAMURA, S. 1986. Influence of comercial dietary fatty acids on polyunsaturated fatty acids of cultured freshwater fish and comparison with those of wild fish of the same species. *J. Agric. Food Chem.* 34 : 58-60.
- TACON, A. 1990. Standard Methods for the nutrition and feeding of farmed fish and shrimp. Vol. 1. The essential nutrients. Argent Laboratories Press, Washington, USA. Págs. 1-117.
- TAKEUCHI, T., SATOH, S. y WATANABE, T. 1983. Requirement of *Tilapia nilotica* for essential fatty acids. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 49: 1127-1134.
- THOMSON, A. J., SARGENT, J. R. y OWEN, J. M. 1977 Influence of acclimatization temperature and salinity on fatty acid composition in the gills of the eel (*Anguilla anguilla*). *Comp. Biochem. Physiol.* 56B: 223-228.
- TSUKUDA, N. 1978. Cambios en los lípidos de la sardina congelada durante el almacenamiento. *Bull. Tokai Reg. Fish Res. Lab.* 94 (8) : 213-219.
- ULLOA, J. B. 1995. Nutrición de tilapias. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Actas del 1er. Simposio Centroamericano sobre Cultivo de tilapias. Págs. 33-53.
- URBINA, S. 2000. Aceites de pescado protegen la salud y hacen a los niños más inteligentes. *Ciencia y Salud.* www.tercera.cl/diario/2000/05/05/t-05.26.3a.CYS.ACEITES.
- VIOLA, S., MOKADY, S., BEHAR, D. y COGAN, U. 1988. Effects of polyunsaturated fatty acids in feeds of tilapia and carp. 1. Body composition and fatty acid profiles at different environmental temperatures. *Aquaculture* 75: 127-137.
- VETTER, W., WEICHBRODT, M., HUMMERT, K., GLOTZ, D. y LUCKAS, B. 1998, *Chemosphere* 37: 2425-2435.
- WATANABE, T. 1982. Lipid nutrition in fish. *Comp. Biochem. Physiol.*, 73B: 3-15
- WILLIAMS, W. C. 1982. Lipid Analysis. Lípidos en productos con alto contenido de agua. 2da. Edc. Pergamod, Press.
- WODTKE, E. 1978. Lipid adaptation in liver mitochondrial membranes of carp acclimated to diferente environmental temperatures-phospholipid composition, fatty acid pattern and colesterol content. *Biochim. Biophys. Acta* 529: 280-291.
- YU, T. C. y SINNHUBER, R. O. 1979. Effect of dietary ω -3 and ω -6 fatty acids on growth and feed conversion efficiency of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture* 16: 31-38.

APÉNDICES

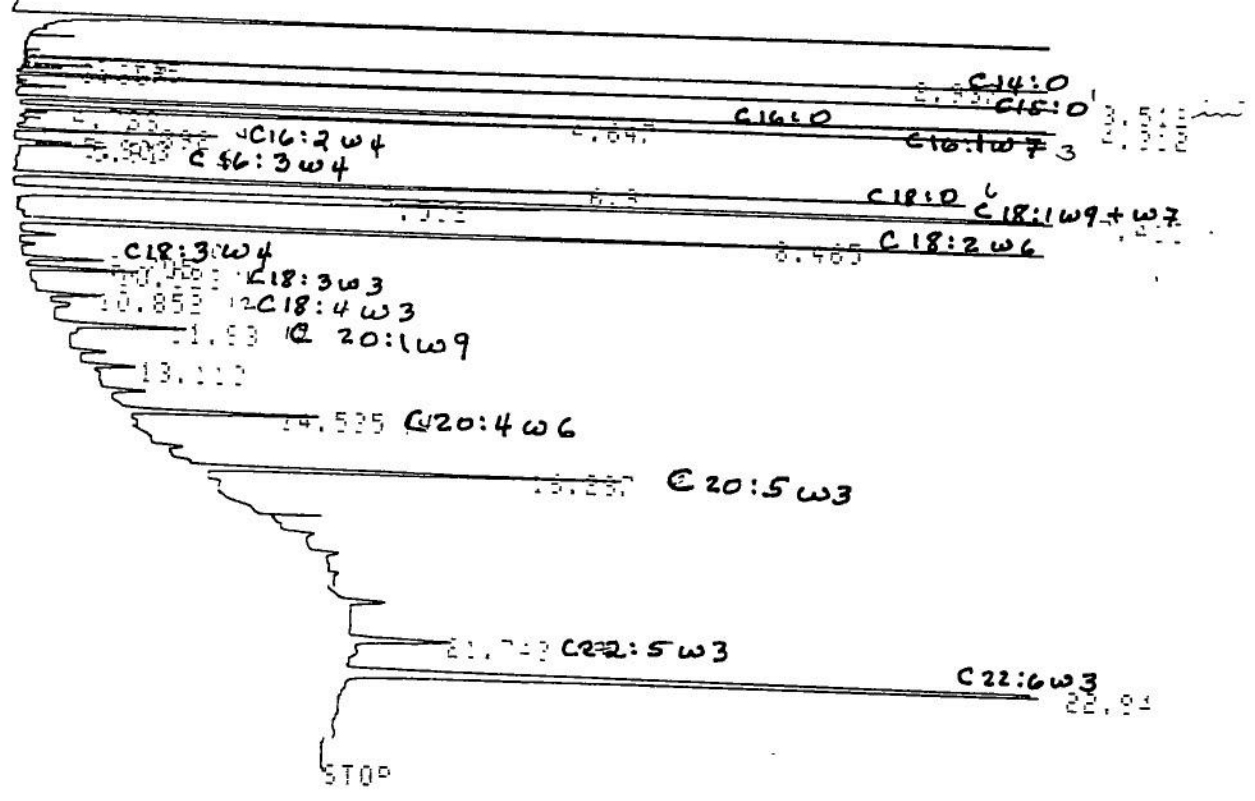
APÉNDICE I. Cromatograma típico para una muestra de Tilapia AS



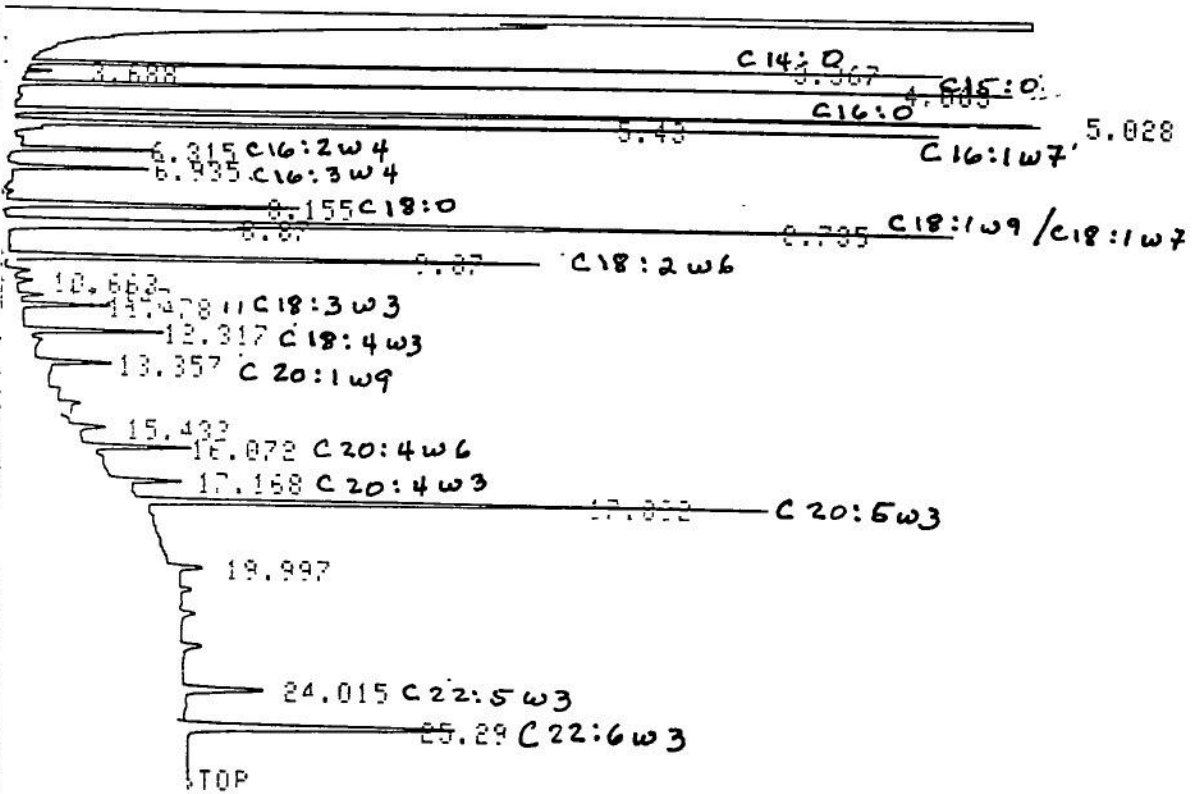
APÉNDICE 2. Cromatograma típico para una muestra de Tilapia AF



APÉNDICE 3. Cromatograma típico para una muestra de Trucha.



APÉNDICE 4. Cromatograma típico para el patrón estándar más el estándar interno.



ANEXOS

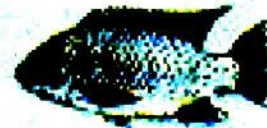
ANEXO 1



NUTRICIÓN ANIMAL, S.A.

FE-SO-48.35NKG

TP30P



ALIMENTO PARA TILAPIA

NUTRIENTES GARANTIZADOS

| | | |
|----------------------------|---------|-------|
| Humedad (máxima) | % | 12.00 |
| Proteína Cruda (máxima) | % | 32.50 |
| Grasa (máxima) | % | 4.00 |
| Fibra Cruda (máxima) | % | 3.50 |
| Energía Digerible (máxima) | Kcal/Kg | 2.80 |
| Calcio (mínimo) | % | 1.00 |
| Calcio (máximo) | % | 1.50 |
| Fósforo (mínimo) | % | 0.00 |
| Sal (NaCl) (mínimo) | % | 0.50 |
| Sal (NaCl) (máximo) | % | 1.00 |

INGREDIENTES:

Subproductos de Trigo, Harina de Soya, Harinas de Pescado, Harina de Carne y Hueso, Melaza, Aceite de Pescado, Carbonato de Calcio, Sal, Lecitina de Soya, Cloruro de Calcio, Ácido Ascórbico Estabilizado, Metionina, Suplemento de Vitaminas B-12, Niacina, Farmacinas de Calcio, Riboflavina, Hidrocloruro de Piridoxina, Palmítico de Vitamina A, Espesante Animal D-Activado (Fuente de Vitamina G3), Hidrocloruro de Timina, Ácido Fólico, Biotina, Vitamina B, Vitamina K, Sulfato de Zinc, Sulfato Manganoso, Sulfato Ferroso, Sulfato de Cobalto, Yoduro de Potasio y Elcoquinol (Anticoagulante)

RECOMENDACIONES

(ver parte posterior)

Fabricado en Panamá por:

NUTRICIÓN ANIMAL, S.A.

Medio, Provincia de Panamá, República de Panamá

Apartado 8291, Zona 6, Panamá

Tel. (507) 771-4201 * (507) 771-4202 * (507) 771-4200 * Fax (507) 771-4200

RUC. # 9038-0213-032701

ANEXO 2



nasa

NUTRICION ANIMAL, S.A.

R.U.C. # 1532-0213-032791

TP30F



**ALIMENTO PARA TILAPIAS
(FLOTANTE)**

ANÁLISIS GARANTIZADO

| | |
|---------------------------|--------------|
| Proteína Cruda (mínimo) | 26.00% |
| Grasa Cruda (mínimo) | 8.50% |
| E. Metabolizable (mínimo) | 2739 Kcal/Kg |
| Fibra Cruda (máximo) | 5.50% |
| Cenizas (máximo) | 10.00% |
| Humedad (máximo) | 2.00% |
| Fósforo (mínimo) | 0.80% |
| Calcio (mínimo) | 1.00% |
| Calcio (máximo) | 1.70% |

INGREDIENTES

Harz, Torta de Soya, harina de Carne y Hueso, Harina de Pescado, Glucosa de Maíz, Arabe Vegal, Bicarbonato de Sodio, Sal, Lecitina de Soja, Óxido de Calcio, Acido Ascórbico Estabilizado, Matenara, Suplemento de Vitamina 9-12, Nasona, Paracetamol de Calcio, Riboflavina, Hidrocloruro de Piridoxina, Palmitato de Vitamina A, Esteroil Animal D-Activado (Fuente de Vitamina D3), Hidrocloruro de Tiamina, Acido Fólico, Biotina, Vitamina E, Vitamina K, Sulfato de Zinc, Sulfato Manganeso, Sulfato Ferroso, Sulfato de Cobalto, Yoduro de Potasio y Clostiquina (Anticelulosa).

RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar TP30F para alimentar a la tilapia desde que el pez alcanza los 25 gramos hasta la cosecha. Sin embargo TP30F utilizarlo como guía las indicaciones siguientes:

| Peso (gramos) | % de Biomasa a alimentar por día | Alimentación (veces x día) |
|---------------|----------------------------------|----------------------------|
| 25-100 | 6-4.0 | 5 |
| 100-300 | 4-2.5 | 6 |
| 300-600 | 2.5 | 7 |
| 700-1000 | 2.0 | 8 |

La distribución del alimento en el estanque debe ser uniforme en el área de alimentación.

Fabricado en Panamá por:

NUTRICION ANIMAL, S.A.

Vareda, Provincia de Chiriquí, República de Panamá

Apartado 6691 Zona 5 Panamá, República de Panamá

Tels: (507) 771-4231 * (507) 771-4232 * (507) 771-4240 * Fax: (507) 771-4900

Lote:

Elaborado:

Expira:

Lic. ACA-MAS: _____

TP30F