

La investigación reportada en esta tesis es parte de los programas de investigación del CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California).

La investigación fue financiada por el CONAHCYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías).

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México). El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo o titular de los Derechos de Autor.

**Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada, Baja California**



---

**Maestría en Ciencias  
en Acuicultura**

---

**Efecto del nivel de lípidos en dieta sobre el desempeño biológico,  
eficiencia alimenticia y calidad nutrimental de juveniles de lobina  
rayada (*Morone saxatilis*)**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

Presenta:

**Sofia Michelle Moreno Fernández Urbina**

Ensenada, Baja California, México  
2024

Tesis defendida por  
**Sofia Michelle Moreno Fernández**

y aprobada por el siguiente Comité

**Dr. Juan Pablo Lazo Corvera**  
Director de tesis

**Dr. Misael Rosales Leija**

**Dr. Raúl Rangel Rojo**



**Dr. Roberto Cruz Flores**  
Coordinador del Posgrado en Ciencias en Acuicultura

**Dra. Ana Denise Re Araujo**  
Directora de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Sofia Michelle Moreno Fernández Urbina** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Acuicultura.

**Efecto del nivel de lípidos en dieta sobre el desempeño biológico, eficiencia alimenticia y calidad nutricional de juveniles de lobina rayada (*Morone saxatilis*)**

Resumen aprobado por:

Dr. Juan Pablo Lazo Corvera  
**Director de tesis**

Las dietas utilizadas en el cultivo comercial de lobina rayada (*Morone saxatilis*) en jaulas marinas en Baja California contienen altos niveles de lípidos (>14%), lo que puede afectar la salud de los peces y elevar los costos de alimentación. El presente estudio evaluó el efecto del nivel de lípidos en dieta sobre el desempeño biológico, capacidad digestiva y eficiencia alimenticia en juveniles de lobina rayada, con hipótesis de que un 11% de lípidos en dieta satisface las necesidades nutricionales de la especie. Se formularon cuatro dietas isoproteicas (45% P) con diferentes niveles de lípidos (9, 11, 13 y 15%), denominadas D9, D11, D13 y D15. Los peces fueron alimentados a saciedad 3 veces al día durante 10 semanas, con 3 réplicas por tratamiento. El nivel de lípidos en dieta afectó significativamente el peso final, la ganancia de peso, la tasa de crecimiento específico y el alimento consumido. El peso final de los organismos disminuyó conforme aumentó el nivel de lípidos en dieta, de  $63.65 \pm 9.31$ g en los peces con la dieta D9 a  $57.44 \pm 8.90$ g en los peces con la dieta D15. Los peces de las dietas D9 y D11 lograron el mejor crecimiento y eficiencia alimenticia, siendo los alimentados con D11 los de mayor eficiencia de utilización de proteínas (TEP). La digestibilidad de las dietas (CDA) disminuyó conforme aumentó el contenido de lípidos, de  $78.18\% \pm 5.28$  en D9 a  $69.12\% \pm 8.71$  en D15. La actividad de la lipasa en el sistema digestivo aumentó con el contenido lipídico, de  $83.7 \pm 21.6$  U/g de órgano en D9 a  $115.2 \pm 18.9$  U/g de órgano en D15. Los peces alimentados con D9 mostraron el menor contenido de lípidos (7.23%) en músculo y los de la D15 el mayor valor (12.26%). No se observaron cambios significativos en el perfil de LC-PUFAs, manteniendo un buen perfil nutricional para el consumo humano. Con base en la eficiencia de la utilización del alimento y TEP, utilizando un modelo cuadrático se estimó un requerimiento de lípidos en dieta de un 11% para lobina rayada cultivada en agua de mar a 21°C.

**Palabras clave:** lobina rayada, lípidos, dietas

Abstract of the thesis presented by **Sofia Michelle Moreno Fernández Urbina** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Aquaculture.

**Effect of dietary lipid levels on biological performance, feed efficiency and nutritional quality of juvenile striped bass (*Morone saxatilis*)**

Abstract approved by:

Dr. Juan Pablo Lazo Corvera  
**Thesis Director**

Diets used in commercial striped bass (*Morone saxatilis*) culture in marine cages in Baja California contain high levels of lipids (>14%), which can affect fish health and increase feed costs. The present study evaluated the effect of dietary lipid levels on biological performance, digestive capacity, and feed efficiency in juvenile striped bass, with the hypothesis that 11% dietary lipids will meet the nutritional needs of the species. Four isoproteic diets (45% P) with different lipid levels (9, 11, 13, and 15%) were formulated, named D9, D11, D13, and D15. Fish were fed to satiation 3 times a day for 10 weeks, with 3 replicates per treatment. Dietary lipid level in diets significantly affected final weight, weight gain, specific growth rate, and feed consumed. The final weight of the organisms decreased as the dietary lipid level increased, from  $63.65 \pm 9.31$  g in fish fed the D9 diet to  $57.44 \pm 8.90$  g in fish fed the D15 diet. Fish fed the D9 and D11 diets achieved the best growth and feed efficiency, with those fed the D11 diet having the highest protein utilization efficiency (PUE). Dietary digestibility (DD) decreased as the lipid content increased, from  $78.18\% \pm 5.28$  in D9 to  $69.12\% \pm 8.71$  in D15. Lipase activity in the digestive system increased with lipid content, from  $83.7 \pm 21.6$  U/g of organ in D9 to  $115.2 \pm 18.9$  U/g of organ in D15. Fish fed D9 showed the lowest lipid content (7.23%) in muscle and those fed D15 showed the highest value (12.26%). No significant changes were observed in the LC-PUFAs profile, maintaining a good nutritional profile for human consumption. Based on feed utilization efficiency and PUE, a quadratic model was used to estimate a dietary lipid requirement of 11% for striped bass cultured in seawater at 21°C.

**Keywords: striped bass, lipids, diets**

## **Dedicatoria**

A mis padres.

Su amor, su guía y su apoyo incondicional me han dado alas. Aunque estemos a la distancia, aunque transcurra el tiempo, sepan que gracias a ustedes vuelo fuerte y segura de mí. Los llevo siempre en mi corazón.

## Agradecimientos

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) por aceptarme para realizar mis estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por brindarme la beca para poder realizar mi maestría.

A la empresa Pacifico Aquaculture, en especial al M.C. Cesar Rodríguez, por proporcionar los organismos de lobina rayada para realizar esta investigación y a sus aportes en el desarrollo del diseño experimental.

A todo el departamento de Acuicultura de CICESE, a todo su personal académico, técnico y administrativo. Gracias por las enseñanzas y el apoyo brindado.

A mi director de tesis, Dr. Juan Pablo Lazo Corvera. Gracias por su guía a través de mi estancia en el posgrado y, en particular, el último año. Su apoyo y fe en mí me hizo recobrar fuerza para concluir esta etapa. Siempre estaré muy agradecida.

A los miembros del comité de tesis, Dr. Misael Rosales Leija y Dr. Raúl Rangel Rojo. Gracias por sus comentarios, preguntas y observaciones realizadas para mejorar este trabajo.

A la Dra. María Teresa Viana por proporcionar parte de los ingredientes utilizados para la elaboración de las dietas experimentales.

Al técnico del laboratorio de nutrición, M.C. Abelardo Campos Espinoza, por su apoyo en los análisis realizados, las dudas resueltas y el espacio brindado.

A Erick, por su compañía y apoyo en todo. Cruzar nuestros caminos ha sido una experiencia maravillosa. Que nuestro amor siga creciendo todos los días.

A mi hermana Paola, por su compañía incondicional en esta aventura llamada Ensenada.

A mi hermana Andrea, por inspirarme a siempre seguir lo que me apasiona.

A mis amigas y amigos de Loma Bonita. Su amistad ha iluminado mi vida y aun a la distancia el lazo que nos une no se rompe.

A mis compañeros de generación, de laboratorio y de Acuicultura. Gracias por las risas compartidas y los momentos vividos, que hicieron esta experiencia de estudio más agradable y especial.



# Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria .....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	x
Lista de tablas .....	xi
<b>Capítulo 1.      Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1    Antecedentes .....	3
1.1.1    Morone saxatilis .....	3
1.1.2    Requerimientos nutrimentales en lobina rayada .....	4
1.1.3    Requerimientos lipídicos en peces, la lobina rayada y sus híbridos .....	4
1.2    Justificación .....	6
1.3    Hipótesis.....	6
1.4    Objetivos .....	7
1.4.1    Objetivo general .....	7
1.4.2    Objetivos específicos.....	7
<b>Capítulo 2.      Metodología .....</b>	<b>8</b>
2.1    Formulación y elaboración de las dietas.....	8
2.2    Condiciones de cultivo y bioensayo .....	9
2.3    Toma de muestras.....	10
2.4    Variables de respuesta .....	10
2.4.1    Ganancia de peso .....	10

2.4.2	Tasa de crecimiento específica .....	10
2.4.3	Supervivencia .....	11
2.4.4	Alimento consumido .....	11
2.4.5	Tasa de conversión alimenticia .....	11
2.4.6	Tasa de eficiencia alimenticia.....	11
2.4.7	Tasa de eficiencia proteica .....	11
2.4.8	Factor de condición .....	12
2.4.9	Índice hepatoesomático.....	12
2.4.10	Índice de grasa visceral .....	12
2.5	Análisis químico proximal.....	12
2.6	Actividad enzimática .....	12
2.7	Digestibilidad aparente (%).....	13
2.8	Perfil de ácidos grasos.....	14
2.9	Análisis estadístico .....	15
<b>Capítulo 3. Resultados.....</b>		<b>16</b>
3.1	Composición proximal de las dietas.....	16
3.2	Crecimiento y supervivencia .....	16
3.3	Eficiencia en utilización de las dietas.....	17
3.4	Índices de condición.....	18
3.5	Digestibilidad de las dietas.....	19
3.6	Actividad de las enzimas digestivas .....	19
3.7	Composición proximal del músculo .....	20
3.8	Perfil de ácidos grasos.....	21
<b>Capítulo 4. Discusión .....</b>		<b>23</b>
4.1	Composición proximal de las dietas.....	23

4.2	Desempeño en crecimiento y supervivencia. ....	23
4.3	Consumo de alimento .....	24
4.4	Estimación del requerimiento lipídico .....	25
4.5	Digestibilidad de las dietas.....	27
4.6	Actividad de enzimas digestivas.....	27
4.7	Índices de condición.....	28
4.8	Perfil de ácidos grasos.....	30
4.9	Composición proximal del músculo. ....	31
<b>Capítulo 5. Conclusiones.....</b>		<b>33</b>
<b>Literatura citada .....</b>		<b>34</b>

## Lista de figuras

Figura	Página
1. Relación del contenido energético (Kcal/100 g dieta) en la dieta y el consumo de alimento (g)..	25
2. Modelo cuadrático aplicado a: a) la tasa de eficiencia alimenticia y b) tasa de eficiencia proteica de lobina rayada alimentada con dietas con diferentes niveles de lípidos.....	26

## Lista de tablas

Tabla	Página
1. Formulación (g/100 g de dieta) y composición proximal (estimada en % de peso seco) de las dietas experimentales para juveniles de lobina rayada ( <i>M. saxatilis</i> ) .....	8
2. Análisis proximal (% en peso seco) de las dietas experimentales con diferentes niveles de lípidos para juveniles de lobina rayada.....	16
3. Desempeño de juveniles de lobina rayada alimentadas con dietas experimentales con diferentes niveles lipídicos* .....	17
4. Eficiencia en la utilización de dietas con diferentes niveles de contenido lipídico en juveniles de lobina rayada. ....	18
5. Índices de condición de juveniles de lobina rayada alimentada con dietas con diferentes niveles de contenido lipídico. ....	18
6. Digestibilidad de dietas con diferentes niveles de contenido lipídico en juveniles de lobina rayada. ....	19
7. Actividad enzimática en intestino y ciegos pilóricos de juveniles de lobina rayada alimentada con dietas con diferentes niveles de contenido lipídico. ....	20
8. Composición proximal (% en peso seco) de músculo de juveniles de lobina rayada alimentada con dietas con diferentes niveles de contenido lipídico. ....	21
9. Perfil de ácidos grasos (% de AG identificados) en el músculo de las lobinas rayadas alimentadas con dietas con diferentes niveles lipídicos. ....	22
10. Estimado del contenido de ácidos grasos en las dietas experimentales con base en la inclusión de aceite de pescado y harina de pescado (NRC, 2011).....	30

## Capítulo 1. Introducción

---

La acuicultura ha presentado un desarrollo constante en las últimas décadas, registrando un crecimiento anual promedio de 4.6 % durante el período 2010-2020 (FAO, 2022b). Actualmente hay un creciente enfoque mundial en el aumento de la producción de especies omnívoras y carnívoras, especialmente aquellas cultivadas en ambientes marinos y costeros salobres (Campbell & Pauly, 2013; Magallón-Barajas & Villarreal Colmenares, 2007).

La maricultura, o la acuicultura marina, tiene lugar en el mar durante una parte o todo el ciclo de cultivo, mientras que la acuicultura costera se refiere a aquella practicada en estanques construidos en la orilla o jaulas en zonas intermareales (FAO, 2022a). Ambos tipos de acuicultura influyen en el estilo de vida y el desarrollo económico de las comunidades costeras de muchos países en desarrollo, especialmente en Asia y América Latina (FAO, 2022b; Magallón-Barajas & Villarreal Colmenares, 2007).

Dentro de la acuicultura los peces son el organismo más cultivado, produciéndose en 2020 unas 57.7 millones de toneladas (FAO, 2022b). En 2020, la cantidad de peces cultivados en aguas marinas y costeras fue de 8.3 millones de toneladas de peso vivo, representando un 15% de la producción mundial de peces (FAO, 2022b). En México, la piscicultura marina se encuentra todavía en su etapa inicial y se ha realizado a baja escala (Magallón-Barajas & Villarreal Colmenares, 2007). Los retos por vencer suelen ser la limitación de conocimientos técnicos, dietas especie-específicas, los elevados costos de producción, el escaso suministro de semillas y los efectos de los fenómenos meteorológicos extremos (FAO, 2022a). Los esfuerzos de investigación científica y producción se enfocan en desarrollar las tecnologías de cultivos y alimentos formulados para superar estos problemas y desarrollar el gran potencial de maricultura que tiene México (Magallón-Barajas & Villarreal Colmenares, 2007).

La lobina rayada (*Morone saxatilis*) es miembro del género *Morone* (Harrell & Webster, 1997; Whitehurst & Stevens, 1990). Esta especie es apreciada en el mercado por su sabor y filete de alta calidad por lo que es una opción atractiva para la producción acuícola (Andersen et al., 2021; Harrell & Webster, 1997; Woods III, 2001). Actualmente, la etapa de engorda de lobina rayada es llevada a cabo en jaulas marinas en la Isla de Todos los Santos en Baja California, donde se alimenta con dietas balanceadas importadas y diseñadas para otras especies, como truchas y salmón, ya que no se conocen con certeza sus requerimientos nutricionales específicos cuando se cultiva en aguas marinas y a temperaturas subóptimas (Del Rio-

Zaragoza et al., 2021; Woods III, 2001). Estas dietas por lo general tienen un alto contenido proteico (>48% proteína) y un alto contenido de lípidos (>14% lípidos) (Noguera & Lazo, 2024).

En las dietas balanceadas para cultivar peces destacan dos nutrientes principales, la proteína y los lípidos. La proteína es el principal macronutriente por considerar durante la formulación de alimentos, ya que es el nutriente que más contribuye al crecimiento y el mantenimiento de los tejidos corporales proporcionando los aminoácidos esenciales (AAE), siendo también una fuente importante de energía metabólica en muchas especies carnívoras. Por otro lado, los lípidos proporcionan una fuente concentrada de energía, así como aportan ácidos grasos esenciales que los peces no pueden sintetizar, los cuales son constituyentes principales de las membranas celulares (Fernández Borrás, 1993; Gatlin, 2003).

Al igual que las proteínas, los lípidos son uno de los componentes orgánicos principales en los seres vivos (NRC, 2011). Los lípidos se caracterizan por ser solubles en solventes orgánicos e insolubles en agua. Una de las clasificaciones de estos compuestos orgánicos está fundada en su capacidad para producir jabones y generar sales de ácidos grasos a través de una reacción de hidrólisis alcalina (saponificables), mientras que aquellos que no contienen ácidos grasos en su estructura son incapaces de producir jabones y, por lo tanto, son insaponificables (Lehninger, 2009). Los ácidos grasos poseen una cadena hidrocarbonada con un grupo carboxilo terminal. La nomenclatura de los ácidos grasos se basa en la longitud de la cadena y en el número y la posición de los dobles enlaces (Lehninger, 2009). De acuerdo con su grado de insaturación (cantidad de dobles enlaces), los ácidos grasos se pueden clasificar en: 1) saturados (sin dobles enlaces) e 2) insaturados (con dobles enlaces en su estructura). Los ácidos grasos insaturados, a su vez, se clasifican según la cantidad de dobles enlaces: los monoinsaturados poseen un doble enlace y los poliinsaturados, más de un doble enlace. Si estos presentan de 20 a 24 carbonos, se denominan ácidos grasos de cadena larga o LC-PUFAs, por sus siglas en inglés. Dentro de los LC-PUFAs están las familias de los n-3 y n-6 (nombrados así por la posición de su primer doble enlace contando desde el grupo metilo). Un ejemplo de estos son el ácido eicosapentaenoico, el ácido docosahexaenoico y el ácido araquidónico (EPA, DHA y AA, respectivamente; por sus siglas en inglés) (FAO, 2008).

Por la naturaleza altamente energética de los lípidos (9.1 kcal/g), estos son un buen sustrato para generar energía metabólica, la cual se obtiene de la  $\beta$ -oxidación de los lípidos, lo que permite ahorrar el uso de los aminoácidos como fuente energética y derivarlos mejor a la síntesis de proteínas, proceso conocido como "protein sparing effect" o efecto de ahorro de proteína (NRC, 2011). Esta estrategia fisiológica es especialmente importante en peces carnívoros en los que la utilización de carbohidratos como fuente de energía es baja (Fernández Borrás, 1993). El efecto de ahorro de proteína estará en función de la cantidad

y tipo de lípidos incluidos en la dieta. Esta relación entre el uso de las proteínas y lípidos es importante al formular un alimento acuícola para hacerlos más eficientes y menos costos.

En el presente trabajo se evaluó el nivel de lípidos en dieta para juveniles de lobina rayada (*M. saxatilis*). Se analizó el efecto de los diferentes niveles (9, 11, 13 y 15% en peso seco) en el desempeño biológico, digestibilidad, eficiencia alimenticia y calidad nutrimental del producto.

## 1.1 Antecedentes

### 1.1.1 *Morone saxatilis*

La lobina rayada (*M. saxatilis*) es una de las cuatro especies que conforman el género *Morone* (Harrell & Webster, 1997; Whitehurst & Stevens, 1990). Es nativa de los ríos, estuarios y costas del Atlántico en Norte América y ha sido una especie de importancia pesquera desde que se tiene registro (Andersen et al., 2021; Hill et al., 1989; Whitehurst & Stevens, 1990). Entre 1870 y 1880, alevines de lobina rayada fueron transportados y sembrado en la bahía de San Francisco, California, estableciéndose rápidamente y generando una industria pesquera importante en el Pacífico desde entonces (Whitehurst & Stevens, 1990). Actualmente, gracias a la intervención humana, esta especie puede encontrarse en agua dulce en todo Estados Unidos y en un par de países alrededor del mundo (Andersen et al., 2021; Harrell & Webster, 1997; Hill et al., 1989).

Los primeros intentos de cultivo empezaron a finales de 1800's en Carolina del Norte, pero no fue hasta que se presentó una precipitada disminución de las poblaciones de lobina rayada en varios estuarios importantes de Estados Unidos que, en 1980 empezaron investigaciones y esfuerzos de desarrollo acuícola significativos en la especie (Andersen et al., 2021; Harrell & Webster, 1997; Whitehurst & Stevens, 1990).

Anderson y colaboradores (2021) destacan que durante décadas se ha realizado investigación sobre la lobina rayada pero especialmente en sus híbridos, la lobina Palmetto (*M. saxatilis* ♀ x *Morone chrysops* ♂) y la lobina Sunshine (*M. chrysops* ♀ x *M. saxatilis* ♂). Los detalles de reproducción, genética, cultivo y alimentación que se encuentran ampliamente estudiados en los híbridos de la lobina sirven de base para el desarrollo de la acuicultura de la lobina rayada, la cual ya se está estableciendo en estudios preliminares y cultivos en diferentes escalas tanto en ambientes dulces, salobres y marinos (Andersen et al., 2021).



### *1.1.2 Requerimientos nutrimentales en lobina rayada*

La lobina rayada presenta una alimentación preferencialmente carnívora a lo largo de sus etapas de vida. Las pro-larvas utilizan los nutrientes endógenos del saco vitelino durante aproximadamente cuatro o cinco días después de la eclosión a medida que experimentan la metamorfosis y el desarrollo del tracto digestivo. Al comienzo de la alimentación exógena, generalmente una variedad de especies de zooplancton constituye el principal alimento de las larvas de lobina rayada. Cuando alcanzan la longitud aproximada de 100 mm, los peces se convierten en el principal recurso alimenticio para la lobina rayada y domina su dieta a medida que alcanzan la madurez (Stevens, 1967; Harper et al., 1969).

Las necesidades proteicas pueden variar según la edad del pez, el nivel de energía de la dieta, el equilibrio de aminoácidos y las condiciones de cultivo. El porcentaje de proteína en dieta reportado para la lobina rayada y sus híbridos cultivados en agua dulce varía entre el 36% y el 55%. Millikin (1983) reportó que una dieta con un 47% de proteína y un 12% de lípidos resultó en un crecimiento óptimo en lobinas rayada pequeñas (e.g., 2.0 g). Las dietas con mayores cantidades de proteínas (55%) no mejoraron el crecimiento, mientras que alimentar con una dieta con un 37% de proteínas y un 7% de lípidos resultó en un crecimiento reducido. Se ha informado que el nivel óptimo de proteínas es del 41% en híbridos que fueron alimentados con dietas que contenían harina de pescado de arenque como única fuente de proteínas (Brown et al., 1992).

### *1.1.3 Requerimientos lipídicos en peces, la lobina rayada y sus híbridos*

Los lípidos son moléculas orgánicas hidrocarbonadas muy diversas cuyas características en común es que son solubles en solventes orgánicos (Fernández Borrás, 1993). Los lípidos pueden dividirse en triglicéridos (no polares), fosfolípidos (polares) y esteroides; que son indispensables para el crecimiento y el mantenimiento de las funciones estructurales de las células. Son componentes importantes de las dietas de los peces porque proporcionan una fuente de energía concentrada (Gatlin, 1997). Además, los lípidos de la dieta suministran ácidos grasos esenciales (AGE) que los peces no pueden sintetizar pero que son necesarios para las funciones metabólicas. Estos ácidos grasos esenciales son componentes importantes en las membranas celulares y pueden servir como precursores de las prostaglandinas. Los lípidos dietéticos también proporcionan un vehículo para la absorción de vitaminas liposolubles (Fernández Borrás, 1993; Gatlin, 1997, 2003).

Las funciones fisiológicas de los lípidos se han centrado tradicionalmente en varios aspectos fundamentales, como son el almacenamiento y producción de energía, formación de membranas celulares, fuente de ácidos grasos esenciales, transportadores de ciertos nutrientes (lipoproteínas), y precursores de hormonas esteroideas y eicosanoides. Sin embargo, recientemente se ha demostrado que los lípidos juegan un importante papel como reguladores de la expresión génica y mediadores en otros procesos como la inflamación y neuroprotección, actividades para estos nutrientes absolutamente desconocidas décadas atrás (NRC, 2011).

Se ha demostrado que la lobina rayada y sus híbridos, como la mayoría de los otros peces carnívoros, utilizan eficientemente los lípidos de la dieta para obtener energía (Gatlin, 1997). Los niveles de aceite de pescado que oscilaban entre el 5 y el 17 % de la dieta producían una ganancia máxima de peso de la lobina Sunshine si la relación energía/proteína (E/P) era adecuada (Nematipour et al., 1992). El crecimiento máximo se logró con dietas alimentadas con un E/P que oscilaba entre 6 y 8 kcal de energía disponible/g de proteína.

Se ha demostrado que las larvas de lobina rayada requieren ácidos grasos altamente insaturados (HUFA; por sus siglas en inglés) de la serie n-3 en sus dietas (Tuncer & Harrell, 1992). Así mismo, se han encontrado grandes cantidades de estos HUFA n-3 en los huevos de lobina rayada, lo que resalta la importancia de estos AGE en las etapas tempranas de desarrollo (Harrell & Woods, 1995). En un estudio posterior, se alimentaron lobinas con niveles incrementales de 20:5n-3 más 22:6n-3 (del 1.0 al 5.6%) y se encontró un requerimiento aproximadamente del 1 % de la dieta (con un 20 % de los lípidos totales en la dieta) para un crecimiento y una salud óptimos (Nematipour et al., 1993). Se han determinado valores de requisitos similares de HUFAs para varias especies marinas (Takeuchi et al., 1992; Watanabe et al., 1989).

Se ha reportado que los niveles altos de lípidos (e.g., más de 18%) en dieta generan acumulación de lípidos en hígado y cavidad peritoneal, así como reducción del crecimiento la lobina rayada híbrida (Gallagher, 1999; Gaylord & Gatlin, 2000a, 2000b; Wu et al., 2015). Sin embargo, estas afectaciones parecen tener un límite al alcanzar un umbral máximo de lípidos en dieta donde cualquier aumento adicional no contribuye a un depósito adicional de lípidos en los tejidos de esta especie (Burr et al., 2006). Cortes histológicos de hígado en lobina rayada han demostrado depósitos de lípidos en el órgano, lo que puede perjudicar la función hepática y afectar la salud y crecimiento de los peces (M. Gallagher, 1996).

Valores bajos de lípidos (4.5% y 6.5%), como los usados por Zhang y colaboradores en 1994, no tuvieron ningún efecto negativo sobre la producción, la eficiencia alimentaria o la composición corporal,

comparado con valores más altos. Tampoco se aumentaron los lípidos corporales totales, índice hepatosomático (IH) o índice de grasa visceral (IGV) de la lobina rayada híbrida. Este efecto se atribuyó a una correcta relación de energía/proteína en ambas dietas (37-38 kJ/g proteína), parecida a la reportada por otros investigadores (Nematipour et al., 1992).

## 1.2 Justificación

El objetivo principal al formular dietas acuícolas es aumentar el crecimiento y salud de los organismos, pero también las ganancias de la producción, maximizando el valor nutricional del alimento a un costo mínimo (Hardy & Barrows, 2003; Li, 1998). El ingrediente más caro e importante en dietas de peces es la proteína. La proteína es el elemento que más contribuye para el crecimiento y el mantenimiento de los tejidos corporales y es la principal fuente de energía para el metabolismo de los organismos cultivados (Hertrampf & Piedad-Pascual, 2003). La alta necesidad proteica de los peces se debe a que buena parte de los aminoácidos provenientes de la dieta no se usan en su totalidad para la síntesis proteica, sino también hacia la producción de energía y gluconeogénesis (Cho & Kaushik, 1985; De la Higuera & Gardenete, 1987). En especies carnívoras existe un uso preferencial de la proteína sobre los carbohidratos como fuente de energía, por lo que incorporar otras fuentes adecuadas de energía, como los lípidos, pueden disminuir la oxidación de la proteína como fuente de energía. De esta forma, al integrar lípidos en las dietas se puede conseguir un efecto de “ahorro de proteína”, la cual será desviada hacia la síntesis de estructuras musculares y mejorar los índices de crecimiento y utilización proteica (De la Higuera & Gardenete, 1987; Fernández Borrás, 1993). Las dietas utilizadas en el cultivo de lobina rayada en el país contienen un alto nivel de lípidos (>14%) que parece ser excesivo con consecuencias potenciales en la salud de los peces y alto costo del alimento.

## 1.3 Hipótesis

Un nivel de inclusión del 11% de aceite de pescado en la dieta balanceada será suficiente para satisfacer los requerimientos lipídicos y tendrá efectos significativamente positivos en el crecimiento, la utilización de proteína y la digestibilidad de la dieta comparado con niveles mayores o menores en juveniles de lobina rayada (*M. saxatilis*) cultivada en agua marina a 21°C.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 *Objetivo general*

- Evaluar el efecto del nivel de lípidos en la dieta en el desempeño biológico, capacidad digestiva, digestibilidad de la dieta y eficiencia de la utilización del alimento en juveniles de lobina rayada (*Morone saxatilis*) cultivados en agua de mar a 21°C.

### 1.4.2 *Objetivos específicos*

- Evaluar el efecto del nivel de lípidos (9, 11, 13 y 15% peso seco) con dietas isoproteicas (45%P) en el crecimiento y supervivencia de la lobina rayada.
- Evaluar el efecto del nivel de lípidos (9, 11, 13 y 15% peso seco) con dietas isoproteicas (45%P) en la utilización del alimento (e.g., la tasa de conversión alimenticia) y la tasa de eficiencia proteica en la lobina rayada.
- Evaluar el efecto del nivel de lípidos en dieta en la actividad enzimática de las enzimas digestivas (lipasas, proteasas y amilasas) en el sistema digestivo y la digestibilidad de la dieta.
- Evaluar el efecto del nivel de lípidos en dieta en la composición proximal y calidad nutricional (e.g., perfil de ácidos grasos) del músculo de la lobina rayada.

## Capítulo 2. Metodología

### 2.1 Formulación y elaboración de las dietas.

Se formularon cuatro dietas isoproteicas (45% P) considerando los requerimientos nutricionales de la lobina rayada previamente reportado por Gatlin (1997) y Webster (2002) (Tabla 1). El diseño experimental consistió en incrementar el nivel de lípidos (9, 11, 13 y 15%) en las dietas, utilizando como fuente principal de lípidos al aceite de pescado de sardina (aceite de sardina, Proteínas Marinas, Jalisco, México). Las dietas se nombraron D9, D11, D13 y D15, respectivamente, en relación de su contenido lipídico.

**Tabla 1.** Formulación (g/100 g de dieta) y composición proximal (estimada en % de peso seco) de las dietas experimentales para juveniles de lobina rayada (*M. saxatilis*)

<b>Ingrediente</b>	<b>D9</b>	<b>D11</b>	<b>D13</b>	<b>D15</b>
Harina de pescado <sup>1</sup>	54	54	54	54
Harina de soya <sup>2</sup>	10	10	10	10
Gluten de maíz <sup>3</sup>	5	5	5	5
Aceite de pescado <sup>4</sup>	3	5	7	9
Almidón <sup>5</sup>	19	17	15	13
Gelatina	5	5	5	5
Vitaminas y minerales <sup>6</sup>	4	4	4	4
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Composición proximal de la dieta</b>				
Proteína	45.9	45.9	45.9	45.6
Lípidos	9.0	11.0	12.9	14.9
Ceniza	9.3	9.3	9.3	9.3
Humedad	8.4	8.2	8.0	7.8
ELN	27.4	25.7	23.9	22.2
Energía (Kcal/100g) <sup>7</sup>	456	468	479	491
Relación proteína:energía (P:E)	10.1	9.8	9.6	9.4

<sup>1</sup>Procesadora mar de Ensenada S de R L de C.V

<sup>2</sup>Harina de soya, la Milpa.

<sup>3</sup>Gluten de maíz, la Milpa.

<sup>4</sup>Proteínas Marinas y Agropecuarias SA de CV, Guadalajara, Jalisco, México.

<sup>5</sup>Maizena®

<sup>6</sup> Rovimix, Stay-C whit vitamins and minerals DMS, Guadalajara, México.

<sup>7</sup> NRC, 2011

Las dietas fueron elaboradas en el laboratorio de alimentos del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) y secadas en un horno de convección del laboratorio de fabricación de alimentos del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). La elaboración de las dietas consistió en mezclar los macronutrientes secos por 10 minutos en una mezcladora Hobart modelo HL200, posteriormente se agregaron los micronutrientes y se integró durante 10 minutos. El almidón de maíz fue disuelto en agua y calentado en microondas en intervalos de 2 minutos hasta lograr la consistencia gelatinizada, alcanzada esta consistencia se integró en la mezcla. Después se agregó el aceite de pescado lentamente durante 5 minutos. Por último, la grenetina se hidrató en agua y calentó en microondas hasta alcanzar la consistencia líquida para ser agregada. Con la mezcla homogeneizada se formaron los pellets con un molino de carne y una placa de molienda de 4mm de diámetro. Las dietas se secaron a 60°C en una estufa por aproximadamente 24 horas y se almacenaron dentro de bolsas plásticas en refrigeración (-10°C) hasta su utilización.

## **2.2 Condiciones de cultivo y bioensayo**

Los juveniles de lobina rayada fueron donados por la empresa Pacifico Aquaculture S.A.P.I. de C.V., ubicada en Ensenada, Baja California, México. Se recibieron 1,500 juveniles en las instalaciones de CICESE y fueron colocados en un tanque de 9000 L para su aclimatación. Se les alimentó 3 veces al día con alimento para peces marinos de la marca comercial EWOS Nature-Pacific con 47% proteína y 16% lípidos. Después de 15 días se trasladaron 360 juveniles al sistema experimental para comenzar la transición del alimento comercial a la dieta formulada. Se sembraron 30 peces por tanque experimental. Los organismos fueron sometidos a un periodo de aclimatación por otras 2 semanas al sistema experimental. El peso de los juveniles al comenzar el bioensayo fue de  $25.05 \pm 2.2$  g y una talla inicial de  $17.34 \pm 0.5$  cm. Los peces fueron alimentados a mano con las dietas experimentales a saciedad aparente 3 veces al día con 4 horas entre cada alimentación por un tiempo total de 10 semanas. Cada tratamiento fue evaluado por triplicado.

El sistema experimental consistió en un sistema de recirculación de agua de mar de 12 tanques color azul-claro de fibra de vidrio de fondo plano con una capacidad de 400L. El sistema de recirculación de agua de mar estaba integrado por un biofiltro de micro cuentas plásticas con capacidad de 3 pies cúbicos (PolyGeyser Model DF #, USA) una lámpara de luz ultravioleta (Model QL – 25, Pentairaquatics, USA) y bomba de agua (Wave II 2 speed pump  $\frac{3}{4}$  hp, USA).

La temperatura del agua del sistema se mantuvo a 21 °C con una bomba de calor (Aqualogic model 2TWB0018A1000AB, USA). Los niveles de amonio, nitritos y nitratos del agua del sistema se midieron cada semana con un kit para acuario (APA®; USA). La temperatura del agua y el oxígeno disuelto se midieron diariamente utilizando un multi parámetro YSI (model Pro 2030, USA).

## 2.3 Toma de muestras

Con la intención de tener un registro del crecimiento de los peces, se realizaron biometrías durante la experimentación (i.e., semanas 2, 5 y 7) y fueron realizadas pesando y midiendo cada uno de los peces en los 12 tanques. Al inicio del experimento cuatro organismos fueron sacrificados como muestra inicial y al finalizar tres peces por tanque. Al final del experimento todos los peces fueron sacrificados por sobredosis de aceite de clavo (Sigma-Aldrich) en conformidad con los protocolos de bioética del CICESE (Fuentes-Quezada y Lazo, 2018). Para el análisis de la composición química proximal se tomaron muestras del músculo dorsal. Para el extracto enzimático, los peces fueron sacrificados 4 horas después de la alimentación y se extrajo el intestino y ciegos pilóricos (se analizaron juntos). Una vez retirados los órganos se almacenaron a -20 °C para su posterior procesamiento. Para el caso de las muestras que se utilizaron para el análisis químico proximal los peces enteros se almacenaron a -20°C hasta su utilización.

## 2.4 Variables de respuesta

### 2.4.1 Ganancia de peso

$$GP = \left( \frac{\text{peso final (g)} - \text{peso inicial (g)}}{\text{peso inicial (g)}} \right) \times 100 \quad (1)$$

### 2.4.2 Tasa de crecimiento específica

$$TCE = \frac{Inpf - Inpi}{\text{Días de experimento}} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

Inpf: logaritmo natural del peso final

Inpi: logaritmo natural del peso inicial

### 2.4.3 Supervivencia

$$\text{Supervivencia} = \frac{\text{Numero final de organismos}}{\text{Numero inicial de organismos}} \times 100 \quad (3)$$

### 2.4.4 Alimento consumido

$$AC = \frac{\text{Alimento total consumido por tanque}(g)}{\text{Número de días de experimento} * \text{Cantidad de peces por tanque}(g)} \quad (4)$$

### 2.4.5 Tasa de conversión alimenticia

$$TCA = \frac{\text{Alimento consumido}(g)}{\text{Peso ganado}(g)} \quad (5)$$

### 2.4.6 Tasa de eficiencia alimenticia

$$TEA = \frac{\text{Peso ganado en } g}{\text{Alimento consumido } g} \quad (6)$$

### 2.4.7 Tasa de eficiencia proteica

$$TEP = \frac{\text{Peso ganado}(g)}{\text{Proteína ingerida}(g)} \quad (7)$$



#### 2.4.8 Factor de condición

$$K = \frac{\text{Peso del pez (g)}}{\text{Longitud del pez}^3 \text{ (cm)}} * 100 \quad (8)$$

#### 2.4.9 Índice hepatosomático

$$IHS = \frac{\text{Peso humedo del higado en g}}{\text{Peso humedo del pez en g}} * 100 \quad (9)$$

#### 2.4.10 Índice de grasa visceral

$$IGV = \frac{\text{Peso de grasa en visceras en g}}{\text{Peso corporal en g}} \quad (10)$$

### 2.5 Análisis químico proximal

Una vez elaboradas las dietas, se tomaron muestras de estas y de los músculos de los peces al inicio y final del bioensayo para realizar el análisis proximal utilizando los siguientes protocolos; para la cuantificación de proteína total se utilizó el método micro-Kjeldahl (Ma y Zuazago, 1942), el contenido de lípidos totales por la metodología descrita por Folch et al. (1957) siguiendo las modificaciones descritas por Fuentes-Quezada y Lazo (2018). La humedad de las muestras fue cuantificada por diferencia de peso después de secar en una estufa a 105°C por 24h. Las cenizas se determinaron mediante la incineración por mufla a 550°C durante 8 horas y el extracto libre de nitrógeno (ELN) será estimado por diferencia, utilizando la siguiente fórmula:

$$ELN (\%) = 100 - \%Proteína - \%Lípidos - \%Ceniza \quad (21)$$

### 2.6 Actividad enzimática

Para la preparación de los extractos enzimáticos se utilizó el procedimiento descrito por Fuentes-Quezada,

2018. Se registró el peso de los ciegos pilóricos e intestinos de los peces y colocados en un tubo de centrífuga de 50 ml, para ser homogeneizados con ayuda de un con un POLYTRON (PT-1200) en 15 ml de agua destilada a 4°C. Una vez obtenido el homogenizado, este se centrifugó a 16000 g durante 30 minutos a 4 °C, se almacenó el sobrenadante a -80 °C. La actividad enzimática (lipasas, tripsina y proteasas alcalinas) totales se reportó en unidades enzimáticas (U) por g de órgano.

Las muestras de ciegos pilóricos e intestino fueron pesadas y colocadas en tubos Falcon de 50 mL. Para obtener los extractos enzimáticos, se homogeneizaron los órganos con un molidor de tejidos marca Kinematica AG modelo POLYTRON® PT 1200 en 10 mL de agua desionizada a 4 °C. Posteriormente, la muestra se centrifugó a 5000 g durante 50 minutos en una centrifuga Thermo Scientific, se tomaron alícuotas de 0.4 mL del sobrenadante resultante, las cuales se mantuvieron en ultracongelación a -80 °C. La actividad enzimática se midió individualmente para estómago, ciegos pilóricos e intestinos y se expresó como unidades de absorbancia por gramo de órgano (U órgano-1).

## 2.7 Digestibilidad aparente (%)

Para calcular el porcentaje de digestibilidad aparente, las heces de los peces fueron colectadas al terminar el proceso de alimentación e inmediatamente después de haber sido producidas, con la finalidad de evitar procesos de lixiviación. Cada tanque fue limpiado diariamente antes y después de cada alimentación. La colecta de las heces se realizó con ayuda de un sifón de vidrio y un filtro de malla. Una vez enjuagadas con agua destilada, las muestras de heces obtenidas fueron secadas durante 24 h a 60°C (IAOS, 2007). Posteriormente, fueron almacenadas a -4°C hasta su análisis en laboratorio.

Para el cálculo de digestibilidad aparente se utilizó el método de cenizas insolubles en ácido clorhídrico descrito por (Montaño-Vargas et al., 2002). Para el cálculo del porcentaje de cenizas insolubles en HCL (CIA%) en dieta y en heces se utilizó la siguiente fórmula:

$$CIA \% = \left( \frac{\text{Peso de ceniza insoluble (g)}}{\text{Peso de materia seca (g)}} \right) \times 100 \quad (32)$$

Una vez calculado el CIA (%) tanto en las dietas como en las heces, se calculó el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) mediante la siguiente fórmula:

$$CDA = 100 - \left( \frac{CIA (\%) \text{ en dieta}}{CIA (\%) \text{ en heces}} \right) \times 100 \quad (43)$$

## 2.8 Perfil de ácidos grasos

Una vez que se extrajeron los lípidos por el método de Folch et al. (1957) modificado (Fuentes-Quezada & Lazo, 2018), se procedió a saponificar con una solución 0.3 N de KOH metanólica al 90% durante 30 minutos en baño maría a 60 °C. Posteriormente, se agregó agua y hexano, y se eliminó la capa superior (hexano) para extraer los lípidos insaponificables. Finalmente, se adicionó agua, hexano y se acidificó con HCl 6 N para recuperar los lípidos saponificables. La metilación se llevó a cabo utilizando trifluoruro de boro (BF<sub>3</sub>/CH<sub>3</sub>OH al 14% en metanol (Sigma Cat. B1252)) en baño maría por 15 minutos a 60 °C. La capa superior de hexano, donde se encuentran los ésteres de ácidos grasos, se extrajo, se secó bajo una atmósfera de N<sub>2</sub> y se almacenó a -20 °C hasta su posterior análisis (Morris, 1986).

Para la identificación y cuantificación de los ácidos grasos por medio de cromatografía de gases, se siguió la metodología descrita por Vizcaíno-Ochoa et al. (2010). Brevemente, los ésteres metilados se disolvieron en hexano grado HPLC a una relación de 100 µg/µl y se analizaron en un cromatógrafo de gases GC (Agilent 7890A) con una columna capilar (123-3232, DB-FFAP, longitud 30 m, ancho 0.320 mm y grosor de la película 0.25 µm, Agilent J&W, GC columns), un detector de llamas ionizado y como gas transportador nitrógeno a un flujo de 3 ml/min. Se utilizó 1 µl de volumen de inyección, con una dilución de 100:1 (split ratio). La rampa de temperatura fue la siguiente: 1) la temperatura inicial fue de 120 °C a una tasa de 9 °C por minuto, 2) se elevó hasta llegar a 190 °C, 3) a partir de ahí se incrementó a 3 °C por minuto hasta alcanzar los 230 °C y 4) por último se mantuvo a esta temperatura por 4 minutos.

La identificación de ácidos grasos se realizó comparando los tiempos de retención de tres estándares: 37 Component FAME Mix, Supelco (Sigma Cat. 47885-U), PUFA No. 3 Menhaden oil, Supelco (Sigma Cat. 47085) y PUFA No. 1 Marine Source, Supelco (Sigma Cat. 47033) con los tiempos de retención de los ésteres extraídos de cada una de las muestras. El porcentaje de cada uno de los ácidos grasos se calculó con base al total de ácidos grasos identificados. Para estos cálculos se utilizó el programa Chem Station versión B.04.01 (Agilent, USA). Adicionalmente, se reportan las concentraciones de ácidos grasos en peso seco (gramos de ácido graso por cada 100 gramos de alimento vivo en peso seco; g/100g) estimando la cantidad de lípidos saponificables inyectados al cromatógrafo. Los ácidos grasos identificados se

agruparon y clasificaron en saturados, monoinsaturados, PUFAs n-6 y n-3 y LC-PUFAs n-6 y n-3, de acuerdo con el número de carbonos y el grado de insaturación (Sargent et al., 2002)

## **2.9 Análisis estadístico**

Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas de los residuales se corroborarán mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Una vez confirmados los supuestos, se analizaron las medias del crecimiento en peso (g) y longitud (cm), la digestibilidad aparente (%), la tasa de consumo de alimento y el análisis químico proximal de las dietas y el músculo de los organismos y el perfil de ácidos grasos, utilizando una prueba de análisis de varianza (ANOVA) de una vía. En caso de encontrar diferencias significativas entre los tratamientos se usó una prueba a posteriori de rangos de Tukey. Para todos los análisis realizados se utilizó un nivel de significancia de  $P < 0.05$ . El procesamiento y análisis de los datos se llevó a cabo con el programa para computadora STATISTICA 7 (Statsoft, 2024).

## Capítulo 3. Resultados

### 3.1 Composición proximal de las dietas

Los análisis proximales de las diferentes dietas experimentales se presentan en la Tabla 2. Se observaron variaciones importantes en los contenidos de humedad, lípidos, y extracto libre de nitrógeno (ELN), así como en la energía de la dieta estimada en calorías por 100 gramos. En general, se observa un aumento en el contenido de lípidos conforme al diseño experimental planteado, con valores que van de  $9.89 \pm 1.00\%$  para D9, y alcanzando un máximo de  $15.17 \pm 0.73\%$  en D15. Por otro lado, la humedad se mantuvo relativamente constante alrededor de  $4.92\text{-}5.66 \pm 0.1\%$  en todas las dietas. Las proteínas fluctuaron en un rango estrecho, con valores que van desde  $43.83 \pm 1.44\%$  en D15 hasta  $45.3 \pm 2.30\%$  en D9. El ELN disminuye de manera consistente de D9 a D15 conforme aumentó el contenido de lípidos en la dieta.

**Tabla 2.** Análisis proximal (% en peso seco) de las dietas experimentales con diferentes niveles de lípidos para juveniles de lobina rayada.

	D9	D11	D13	D15
Proteína (%)	45.20±2.30	44.66±1.76	44.16±2.20	43.83±1.44
Lípidos* (%)	9.10±1.00	11.3±1.17	13.47±0.38	14.80±0.73
Ceniza (%)	11.55±0.05	11.71±0.10	11.76±0.02	11.62±0.07
Humedad (%)	4.92±0.06	5.66±0.07	4.63±0.05	4.58±0.06
ELN (%)	34.2	32.3	30.4	29.8
Kcal/100g <sup>1</sup>	437.6	457.6	484.3	499.5
Relación P/E	10	9.7	9.1	8.7

Los valores representan medias  $\pm$  desviaciones estándar de muestras por triplicado.

\*Extracción por método de Folch (Folch et al. 1957) con modificaciones (Cequier et al. 2008).

<sup>1</sup>Valores estimados por calorimetría.

### 3.2 Crecimiento y supervivencia

Los resultados de crecimiento de los peces alimentados con las diferentes dietas experimentales en la Tabla 3 muestran variaciones en el peso final entre tratamientos, así como en la longitud final (LF), el peso ganado (PG), el porcentaje de peso ganado (%PG). Sin embargo, solo el peso y la talla final resultaron con

diferencias significativas. Se observa una tendencia general de disminución en el peso final a medida que aumenta el contenido de lípidos de la dieta experimental, con valores que van desde  $63.65 \pm 9.31\text{g}$  en D9 hasta  $57.44 \pm 8.90\text{g}$  en D15. Similarmente, la longitud final tiende a reducirse con valores que van desde  $17.47 \pm 1.05\text{cm}$  en D9 hasta  $16.98 \pm 1.30\text{cm}$  en D15, con algunas fluctuaciones intermedias. La cantidad de peso ganado, el porcentaje de peso ganado y la tasa de crecimiento específica muestran una disminución progresiva a medida que aumenta el contenido lipídico de las dietas experimentales, indicando posiblemente una influencia negativa en el crecimiento, desarrollo y eficiencia alimenticia conforme aumentó la cantidad de lípidos en las dietas.

Los diferentes niveles de lípidos en la dieta no resultaron en diferencias importantes en la tasa de supervivencia. A pesar de las pequeñas variaciones, la tasa de supervivencia se mantuvo alta en todas las unidades experimentales, con valores superiores al 98.9%.

**Tabla 3.** Desempeño de juveniles de lobina rayada alimentadas con dietas experimentales con diferentes niveles lipídicos\*.

	D9	D11	D13	D15	P valor
Peso final (g)	$63.65 \pm 2.48^a$	$63.13 \pm 3.30^a$	$60.96 \pm 2.74^{ab}$	$56.07 \pm 2.08^b$	0.02
Talla Final (cm)	$17.47 \pm 1.05$	$17.5 \pm 0.80$	$17.42 \pm 0.91$	$16.98 \pm 1.30$	0.08
Ganancia de peso (g)	$38.75 \pm 2.72^a$	$38.03 \pm 3.12^a$	$35.58 \pm 2.72^{ab}$	$31.25 \pm 2.08^b$	0.03
Peso ganado (%)	$155.72 \pm 12.46^a$	$151.50 \pm 11.95^{ab}$	$140.13 \pm 10.73^{ab}$	$125.91 \pm 8.41^{ab}$	0.04
TCE <sup>2</sup>	$1.42 \pm 0.07$	$1.39 \pm 0.07$	$1.32 \pm 0.06$	$1.23 \pm 0.01$	0.17
Supervivencia	100%	100%	100%	98.9%	

<sup>1</sup>Kruskal-Wallis ANOVA

<sup>2</sup>Tasa de crecimiento específico

\*Los valores representan medias  $\pm$  desviaciones estándar de muestras por triplicado

### 3.3 Eficiencia en utilización de las dietas.

Los resultados con respecto al consumo y eficiencia de utilización del alimento de los peces alimentados con las dietas experimentales D9, D11, D13 y D15 (Tabla 4) muestran diferencias en la cantidad de alimento consumido por pez (AC), así como en los índices de eficiencia alimentaria, representados por el cociente de conversión alimenticia (TCE), la tasa de crecimiento específico (TCA) y la tasa de eficiencia proteica (TEP). Se observa una tendencia general de disminución en el AC a medida que aumenta el contenido de lípidos en las dietas experimentales, con valores que van desde  $46.09 \pm 1.59\text{g*pez}$  en D9 hasta  $41.31 \pm$

2.67g\*pez en D15. De manera similar, el TCA muestran una tendencia a aumentar a medida que aumenta el contenido de lípidos en las dietas experimentales, con algunos valores que difieren significativamente entre las dietas. Así mismo, se encontraron diferencias significativas en la eficiencia de utilización de las proteínas indicado por el TEP, donde la dieta que contiene 11% de lípidos resultó en el valor numérico más elevado, pero solo significativamente mayor al tratamiento con la dieta que contenía 15% de lípidos.

**Tabla 4.** Eficiencia en la utilización de dietas con diferentes niveles de contenido lipídico en juveniles de lobina rayada.

	D9	D11	D13	D15	p
Alimento consumido (g*pez)	46.09±1.59 <sup>a</sup>	43.78±1.74 <sup>ab</sup>	42.12±1.81 <sup>ab</sup>	40.24±2.67 <sup>ab</sup>	0.03
TCA	1.19±0.05 <sup>a</sup>	1.15±0.05 <sup>a</sup>	1.19±0.07 <sup>a</sup>	1.28±0.10 <sup>b</sup>	<0.01
TEA	0.84±0.04 <sup>a</sup>	0.87±0.03 <sup>a</sup>	0.84±0.04 <sup>a</sup>	0.73±0.02 <sup>b</sup>	<0.01
TEP	1.83±0.08 <sup>a</sup>	1.89±0.08 <sup>a</sup>	1.84±0.10 <sup>a</sup>	1.71±0.14 <sup>b</sup>	0.014

-Los valores representan medias ± desviaciones estándar de muestras por triplicado

### 3.4 Índices de condición

En los peces alimentados con las dietas experimentales D9, D11, D13 y D15, se observan diferencias numéricas en los índices de condición (Tabla 5), pero solo significativas para el índice hepatosomático (IH). En cuanto al valor del índice de condición K, se observa una variación mínima, con valores que oscilan entre 1.16 y 1.19, lo que sugiere una consistencia en la relación entre el peso y la longitud de los peces en las diferentes dietas. Sin embargo, en cuanto al porcentaje de grasa en las vísceras, se observan mayores diferencias. Para la dieta D9, el contenido de grasa es del 1.96 ± 0.46%, mientras que para la dieta D13 es del 2.00 ± 0.21%.

**Tabla 5.** Índices de condición de juveniles de lobina rayada alimentada con dietas con diferentes niveles de contenido lipídico.

	D9	D11	D13	D15	P valor
Índice de condición (K)	1.19±0.02	1.17±0.02	1.16±0.04	1.17±0.06	0.71
Índice hepatosomático (IH)	2.23 <sup>a</sup> ±0.17	1.60 <sup>b</sup> ±0.11	1.59 <sup>b</sup> ±0.08	1.17 <sup>c</sup> ±0.11	<0.01
Índice grasa visceral (IGV)	1.96±0.46	1.49±0.18	2.00±0.21	1.63±0.24	0.16

-Los valores representan medias ± desviaciones estándar de muestras por triplicado.

Por otro lado, las dietas D11 y D15 muestran porcentajes de grasa más bajos, con valores del  $1.49 \pm 0.18\%$  y del  $1.63 \pm 0.24\%$ , respectivamente. En contra de lo esperado, se observaron valores del IH mayores entre los peces alimentados con las diferentes dietas con dietas bajas en lípidos, donde la dieta D9 resultó en el valor más alto ( $2.23 \pm 0.17$ ), seguida de la dieta D13 ( $1.59 \pm 0.08$ ) y la dieta D11 ( $1.60 \pm 0.11$ ) y finalmente la dieta D15 ( $1.17 \pm 0.11$ ).

### 3.5 Digestibilidad de las dietas

Los datos de la digestibilidad de las dietas experimentales (CDA) expresados en la Tabla 6 muestran una disminución progresiva conforme aumentó el contenido de lípidos en las dietas disminuyendo desde  $78.18 \pm 5.28\%$  en D9 hasta  $69.12 \pm 8.71\%$  en D15. Es evidente que conforme aumentó el nivel de lípidos en las dietas experimentales se redujo significativamente la digestibilidad de estas, donde la dieta con menor contenido de lípidos (D9) resultó en una CDA significativamente mayor a la dieta con mayor contenido de lípidos (D15). Se observa una tendencia general de disminución en el porcentaje de cenizas fecales excretadas a medida que aumenta el contenido de lípidos en las dietas, con valores que van desde  $6.03 \pm 0.88\%$  en la dieta con 9% de lípidos hasta  $4.85 \pm 1.50\%$  con un porcentaje de 15% de lípidos. Por otro lado, la cantidad de cenizas en las dietas se mantiene relativamente constante alrededor de 1.17-1.36%, con pequeñas variaciones entre las diferentes dietas.

**Tabla 6.** Digestibilidad de dietas con diferentes niveles de contenido lipídico en juveniles de lobina rayada.

	D9	D11	D13	D15	p
%CIA Heces	$6.03 \pm 0.88$	$5.36 \pm 0.57$	$5.32 \pm 0.62$	$4.85 \pm 1.50$	0.55
%CIA Dietas	$1.34 \pm 0.14$	$1.17 \pm 0.01$	$1.28 \pm 0.10$	$1.36 \pm 0.05$	0.12
CDA	$78.18 \pm 5.28^a$	$78.13 \pm 3.14^a$	$75.57 \pm 4.47^{ab}$	$69.12 \pm 8.71^b$	<0.01

-Los valores representan medias  $\pm$  desviaciones estándar de muestras por triplicado.

### 3.6 Actividad de las enzimas digestivas

Los datos en la Tabla 7 muestran la actividad enzimática en el intestino y los ciegos pilóricos de juveniles de lobina rayada alimentados con dietas con diferentes niveles de contenido lipídico. La actividad enzimática se reporta en unidades totales por gramo de tejido (U g-tejido<sup>-1</sup>). En el caso de la tripsina, se observa una variación importante entre los peces alimentados con las diferentes dietas, con valores que



van desde  $130.3 \pm 13.7$  U g-tejido-1 en D13 hasta  $190.8 \pm 3.9$  U g-tejido-1 en D15. En cuanto a la amilasa, los valores son más consistentes entre los peces alimentados con las diferentes dietas, con pequeñas fluctuaciones no significativas que no muestran una tendencia clara. Por otro lado, la actividad de la lipasa muestra un aumento progresivo a medida que aumenta el contenido lipídico de la dieta, con valores que van desde  $83.7 \pm 21.6$  U g-tejido-1 en D9 hasta  $115.2 \pm 18.9$  U g-tejido-1 en D15, con la excepción del tratamiento D13 que resultó con valores relativamente bajos de  $84.9$  U g-tejido-1.

**Tabla 7.** Actividad enzimática en intestino y ciegos pilóricos de juveniles de lobina rayada alimentada con dietas con diferentes niveles de contenido lipídico.

	D9	D11	D13	D15	p
Tripsina	$159.0 \pm 26.4^{ab}$	$148 \pm 22.3^{ab}$	$130.3 \pm 13.7^a$	$190.8 \pm 3.9^b$	<0.01
Amilasa	$20.5 \pm 4.5$	$20.0 \pm 8.1$	$19.9 \pm 3.1$	$21.6 \pm 4.0$	1.0
Lipasas	$83.7 \pm 21.6$	$104.5 \pm 32.3$	$84.9 \pm 31.7$	$115.2 \pm 18.9$	0.8

-Los valores representan medias  $\pm$  desviaciones estándar de muestras por triplicado.

### 3.7 Composición proximal del músculo

La composición proximal del músculo, expresada como porcentaje en peso seco, varía entre los peces alimentados con las diferentes dietas experimentales, sin embargo, solo son significativas para el contenido de lípidos. Los componentes principales analizados incluyen la humedad, la proteína, los lípidos, la ceniza y el extracto libre de nitrógeno (ELN). En cuanto a la humedad, se observa una ligera variación entre las diferentes dietas, con valores que oscilan entre 78.3% y 79.0%. La cantidad de proteína en el músculo muestra cierta variabilidad, con valores que van desde 79.3% hasta 84.2%. Sin embargo, los peces alimentados con la dieta D9 resultaron en el mayor contenido proteico en músculo, mientras que la dieta D11 en el menor. Los lípidos en el músculo variaron significativamente entre los peces alimentados con las diferentes dietas, donde, como era de esperar, el tratamiento con la dieta D9 resultó con el menor contenido de lípidos (7.23%), seguida de los peces con la dieta D11 (9.7%) y la dieta D13 (9.6%), mientras que los peces que recibieron la dieta D15 resultaron con el mayor contenido de lípidos (12.26%). Las cenizas y el ELN resultaron en valores similares con pequeñas fluctuaciones que no siguen un patrón específico. Se encontró un contenido de ELN numéricamente menor para los peces alimentados con la dieta D15.

**Tabla 8.** Composición proximal (% en peso seco) de músculo de juveniles de lobina rayada alimentada con dietas con diferentes niveles de contenido lipídico.

	D9	D11	D13	D15	valor p
Humedad	78.29± 0.8	79.01± 0.61	78.29± 1.04	78.88± 0.87	0.16
Proteína	84.19± 4.49	79.34± 4.22	81.86± 3.48	83.56± 5.04	0.10
Lípidos	7.23± 1.18 <sup>a</sup>	9.7± 1.7 <sup>a</sup>	9.62± 1.74 <sup>a</sup>	12.26± 3.89 <sup>b</sup>	<0.01
Cenizas	1.3± 0.17	1.21± 0.11	1.31± 0.13	1.34± 0.17	0.31
ELN	7.28	9.75	7.21	2.84	

-Los valores representan medias ± desviaciones estándar de muestras por triplicado.

### 3.8 Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos en el músculo de los peces alimentados con las diferentes dietas experimentales muestra variaciones en los valores de diversos ácidos grasos (% AG) según el tratamiento, pero no se encontraron diferencias significativas. En resumen, los resultados reportados en la Tabla 9 indican que los ácidos grasos saturados (C12:0, C14:0, C16:0 y C18:0) muestran valores similares entre los peces alimentados con las diferentes dietas con variaciones importantes en la cantidad de lípidos, con pequeñas variaciones que no siguen un patrón específico. El ácido graso monoinsaturado C16:1 también muestra una similitud relativa entre los peces alimentados con las diferentes dietas, con valores que oscilan dentro de un rango estrecho. En cuanto al ácido graso monoinsaturado C18:1n9, se observa una tendencia general a disminuir a medida que aumenta el contenido de lípidos en las dietas experimentales, pero sin diferencias significativas entre tratamientos. Los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), como C18:3n3, C18:3n6, C20:4n6 y C20:5n3, muestran valores relativamente constantes entre los peces alimentados con las diferentes dietas, con pequeñas fluctuaciones que no siguen un patrón específico. El ácido graso monoinsaturado, C20:1n9, muestra una variación numérica amplia pero no significativa entre los peces alimentados con las diferentes dietas, con la dieta D9 mostrando el valor más alto (1.3%) y el resto valores bajos (0.2%). De manera similar, el ácido graso monoinsaturado C22:1n9 también muestra una variación amplia, con la dieta D15 mostrando el valor más alto. Por último, el ácido graso, C22:6n3 (DHA), resultó en valores similares entre los diferentes tratamientos sin diferencias significativas. En promedio se encontraron valores del 4.4% de DHA de los ácidos grasos identificados. La relación EPA:DHA se mantuvo constante y cercana a 3:1.

**Tabla 9.** Perfil de ácidos grasos (% de AG identificados) en el músculo de las lobinas rayadas alimentadas con dietas con diferentes niveles lipídicos.

	D9	D11	D13	D15
C12:0	0.16%	0.15%	0.15%	0.14%
C14:0	4.53%	4.30%	4.40%	4.46%
C16:0	30.65%	28.72%	29.55%	28.29%
C16:1	9.28%	8.38%	8.23%	8.47%
C18:0	4.06%	4.36%	5.01%	4.67%
C18:1n9	9.04%	8.12%	7.68%	7.93%
C18:2n6c	7.54%	7.46%	6.88%	7.05%
C18:2n6t	0.23%	0.26%	0.28%	0.28%
C18:3n6	0.31%	0.29%	0.27%	0.26%
C18:3n3	1.27%	1.33%	1.32%	1.39%
C20:0	4.00%	5.36%	5.04%	5.49%
C20:1n9	1.29%	0.22%	0.22%	0.22%
C20:2	0.49%	0.58%	0.54%	0.54%
C20:3n6	0.28%	0.21%	0.20%	0.19%
C21:0	1.34%	1.95%	1.99%	2.05%
C20:4n6	0.31%	0.09%	0.10%	0.12%
C20:3n3	0.56%	0.61%	0.62%	0.60%
C20:5n3	12.54%	13.63%	13.84%	13.65%
C22:0	0.37%	1.29%	1.12%	0.20%
C22:1n9	1.58%	1.10%	1.14%	2.14%
C22:2	0.39%	0.30%	0.28%	0.39%
C24:0	5.65%	6.75%	6.63%	6.79%
C22:6n3	4.14%	4.53%	4.50%	4.68%

## Capítulo 4.      Discusión

---

Este es el primer trabajo evaluando el efecto del nivel de lípidos en dieta sobre el crecimiento, eficiencia alimenticia y digestibilidad de la dieta en la lobina rayada cultivada en agua de mar a 21 °C, un aspecto nutricional importante porque las dietas utilizadas en la industria actualmente utilizan un 16% de lípidos. Los resultados de crecimiento, TCA y TEP sugieren que la composición de las dietas experimentales y en particular el nivel de lípidos influyó significativamente en la eficiencia alimentaria y el crecimiento de los peces del presente estudio, destacando la importancia del nivel de lípidos para optimizar el rendimiento de los peces.

### 4.1 Composición proximal de las dietas.

En general, la cantidad y proporción de los nutrientes encontrados en las dietas experimentales reflejaron los porcentajes de inclusión según lo formulado en el diseño experimental para el presente estudio. Las dietas fueron formuladas para ser isoproteicas a 45% de proteína, sin embargo, se observó una pequeña disminución conforme aumentó el nivel de lípidos en la dieta (i.e. de 45.2 a 43.8%), pero sin diferencias importantes. Para los objetivos planteados en el presente estudio, estas diferencias son relativamente pequeñas (i.e., menos del 2%) lo que permite concluir que los efectos observados se deben a la diferencia en el nivel de inclusión de los lípidos. El contenido de lípidos en las dietas correspondió con los valores esperados según el diseño experimental, donde la dieta D9 contenía el nivel más bajo (9.1%) de lípidos y la D15 el nivel más alto (14.8%). De la misma manera, como era de esperar, el contenido de ELN encontrado en cada dieta experimental correspondió directamente con el contenido de almidón en la dieta.

### 4.2 Desempeño en crecimiento y supervivencia.

El nivel de lípidos en dieta para lobina rayada cultivada en agua de mar afectó significativamente el peso final, talla final, ganancia de peso, la TCE y el alimento consumido en los organismos. De manera general se observa una tendencia general de disminución en estas variables de respuesta a medida que aumenta el contenido de lípidos de la dieta experimental, lo que indica una relación indirecta entre el contenido

lipídico de la dieta y el crecimiento de los peces. Esta tendencia se reflejó también en la cantidad de peso ganado y el porcentaje de peso ganado, indicando una posible influencia negativa de los niveles altos de lípidos en el crecimiento y desarrollo de las lobinas rayadas.

En un experimento con la lobina rayada cultivada en agua de mar evaluando el efecto de la relación P:L (proteína: lípidos) en dieta, Noguera y Lazo (2024) reportan que lobinas rayadas alimentadas con dietas bajas en lípidos (12%) dieron como resultado un crecimiento significativamente mayor, presentado una mayor ganancia en peso ( $306.8 \pm 19.8\%$ ) con una dieta formulada al 12% lípidos y 48% proteína en comparación con los peces alimentados con la dieta formulada con 16% de lípidos y mismo nivel proteico ( $226.8 \pm 16.7\%$ ). En este mismo estudio, los investigadores observaron mejores crecimientos y eficiencia alimenticia en los peces alimentados con dietas que tenían un 12% de lípidos, comparadas con las dietas que contenían un 16% de lípidos sin importar el nivel proteico (i.e. 40, 44 y 48 % de proteína).

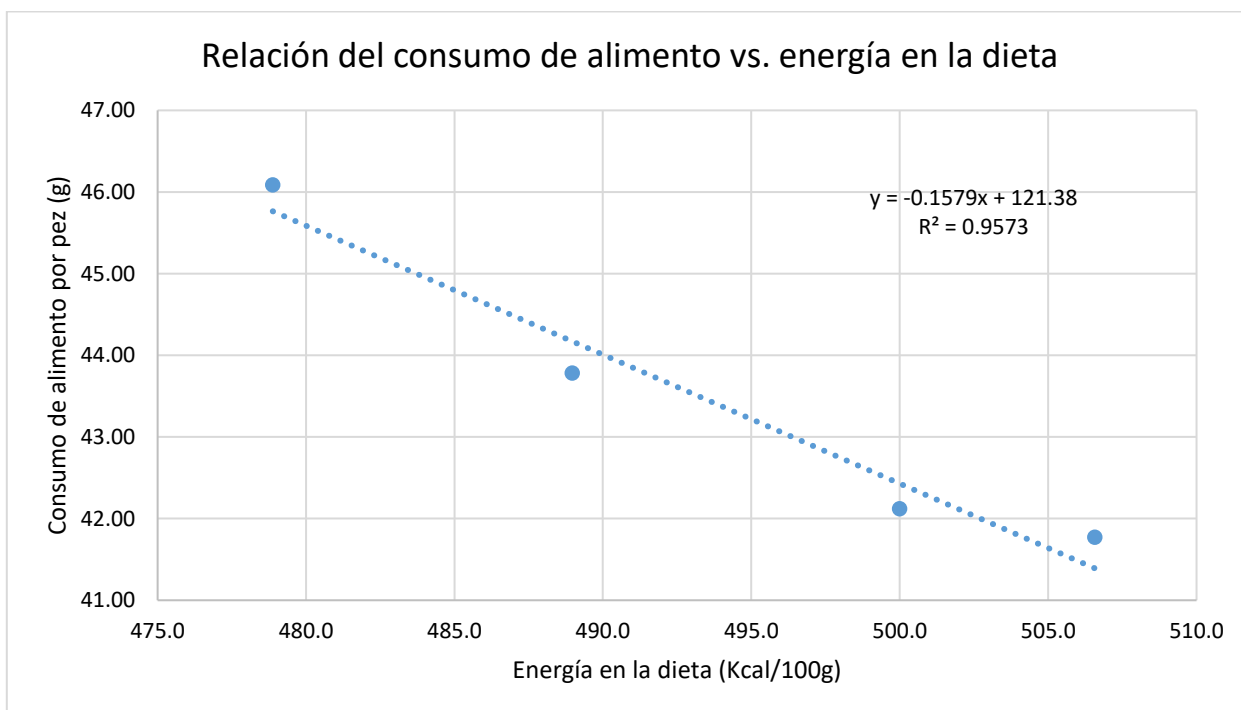
De manera similar, en un estudio con el pez plano Turbot (*Psetta máxima*), los peces alimentados con dietas que contenían 10% de lípidos resultaron con un mayor desempeño biológico en cuanto a crecimiento, significativamente mayor que los peces alimentados con dietas que contenían 20 o 25% de lípidos (Regost *et al.*, 2001). Adicionalmente, aunque no se observaron diferencias significativas en cuanto a la TCA y TEP, las tasas más altas se encontraron en las dietas con menos contenido lipídico.

Sin embargo, es importante mencionar que, a pesar de las variaciones en el crecimiento, la tasa de supervivencia se mantuvo muy alta en todos los tratamientos experimentales, lo que sugiere que la cantidad de lípidos en las dietas evaluadas en el presente estudio no tuvieron un efecto significativo en la supervivencia de los peces. Esto mismo ha sido reportado en diferentes experimentos realizados en lobina rayada y sus híbridos (Burr *et al.*, 2006; Gaylord & Gatlin, 2000b; Noguera Torres & Lazo, 2024; Webster *et al.*, 1995). Estos hallazgos destacan la importancia de considerar el contenido de lípidos en las dietas de peces en cultivo acuícola y su impacto potencial en el rendimiento del cultivo, así como la necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor los mecanismos detrás de estas observaciones.

### 4.3 Consumo de alimento

El alimento consumido por lobinas disminuyó al aumentar el nivel de lípidos en la dieta. Se encontró una relación significativa inversamente proporcional entre el consumo de alimento y la cantidad de lípidos en dieta (Figura 1). Es bien conocido que los peces por lo general consumen alimento para satisfacer sus

requerimientos energéticos (NRC, 2011) por lo que, entre más energía esté presente en el alimento (e.g., más lípidos), los peces tenderán a comer menos. Esto concuerda perfectamente con los resultados observados en el presente estudio. Noguera et al. (2024) encontraron una relación similar en la lobina rayada, donde los peces alimentados con dietas ricas en energía (i.e. 16% lípidos o 355 Kcal/g de dieta) consumieron menos alimento que los peces alimentados con las dietas que contenían menos energía (i.e., 12% lípidos o 332 Kcal/g de dieta) sin importar el nivel proteico.

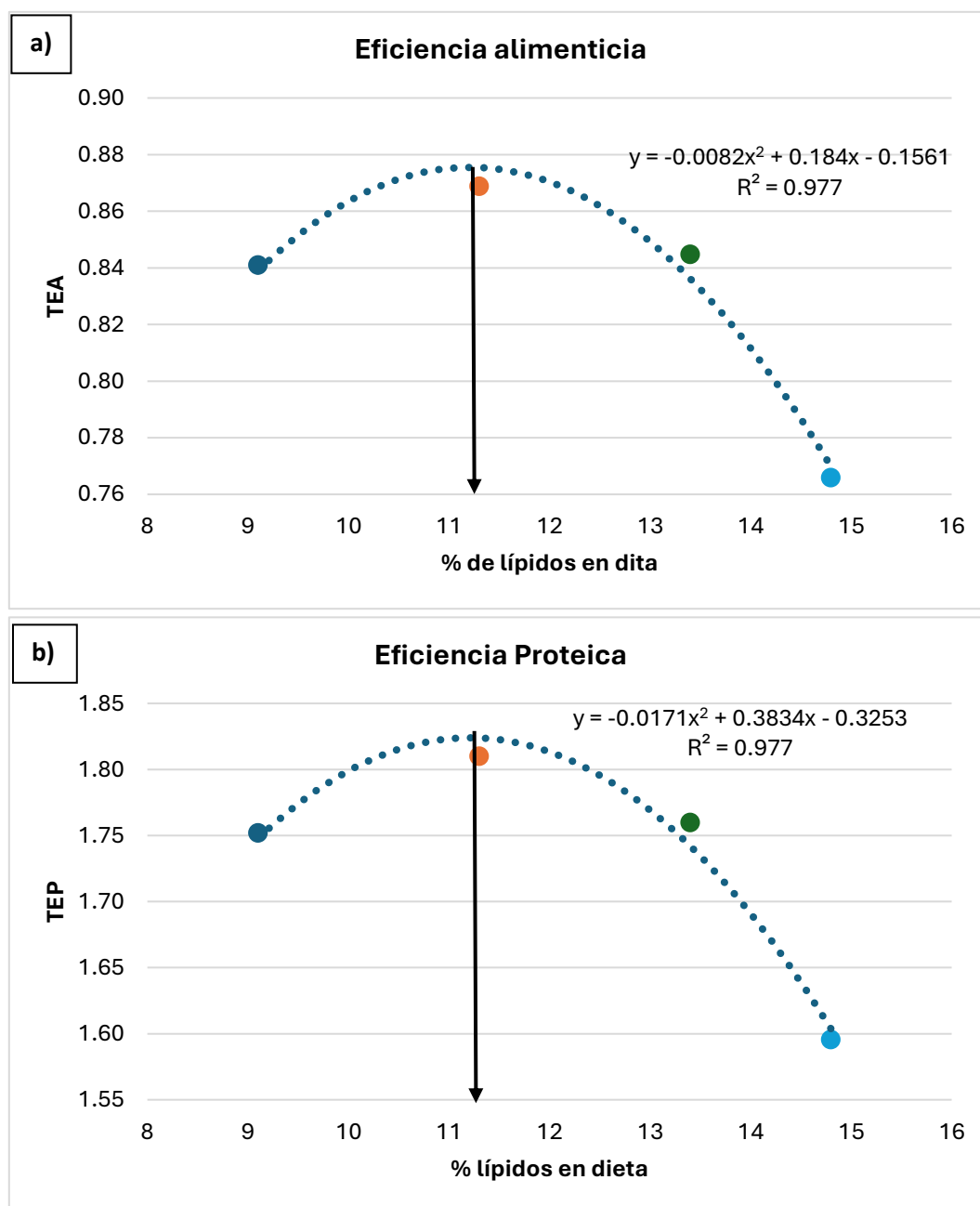


**Figura 1.** Relación del contenido energético (Kcal/100 g dieta) en la dieta y el consumo de alimento (g).

#### 4.4 Estimación del requerimiento lipídico

Con base en las variables de desempeño biológico y el aprovechamiento del alimento, el mejor crecimiento y eficiencia alimenticia se obtuvo con las dietas que contenían entre un 9 y un 11% de lípidos, muy por debajo del contenido de lípidos en las dietas comerciales utilizadas para cultivar esta especie en agua marina. Con la intención de estimar un requerimiento de lípidos en dieta para la lobina rayada cultivada en agua de mar a 21°C, se modelaron las respuestas de crecimiento, eficiencia alimenticia (TEA) y eficiencia en la utilización de la proteína (TEP) con relación al nivel de lípidos en la dieta (Forster, 2000). El mejor ajuste se obtuvo con un modelo cuadrático de segundo orden para la TEA ( $y = -0.0082x^2 + 0.184x - 0.1561$ ,  $R^2 = 0.97$ ) y la TEP ( $y = -0.0171x^2 + 0.3834x - 0.3253$ ,  $R^2 = 0.97$ ) (Figura 2), resultando en un requerimiento

lipídico en dieta del 11.21% y 11.22%, respectivamente (Figura 2). Estos datos concuerdan con los encontrados por Hung y colaboradores (1993), donde el crecimiento, la conversión alimenticia y los índices fisiológicos por lobinas híbridas alimentadas con una dieta de 12% de lípidos a un nivel de 45% proteína en raciones diarias de 1.0 a 1.5 % presentaron los mejores niveles de conversión alimenticia e índices fisiológicos. Adicionalmente, se ha reportado que un nivel de lípidos superior al 12 % perjudica la salud y la calidad del producto en lobinas rayadas híbridas (Gaylord & Gatlin, 2000a).



**Figura 2.** Modelo cuadrático aplicado a: a) la tasa de eficiencia alimenticia y b) tasa de eficiencia proteica de lobina rayada alimentada con dietas con diferentes niveles de lípidos.

Las dietas comerciales para salmón (12% lípidos y 45% proteína) suelen ser usadas para lobina rayada debido a la falta de alimento específico y por los buenos resultados en asimilación y crecimiento en la especie, lo que permite usar esta dieta para probar el efecto de otros factores de interés como sustitución de ingredientes en la dieta, densidades o sistemas de cultivo alternativos (Green et al., 2018; Hung et al., 1993; McEntire et al., 2015; S. D. Rawles et al., 2006)

#### **4.5 Digestibilidad de las dietas**

Los valores de digestibilidad de las dietas (CDA) fueron más altos (78.18%) en la dieta de 9% de contenido lipídico en comparación de la dieta con 15% de lípidos con una CDA de 69.12%. Estos resultados de digestibilidad sugieren que la composición de las dietas experimentales, y en particular el nivel de lípidos en dieta influye directamente en los procesos de digestión, absorción y en la eficiencia en la utilización de los nutrientes, indicando posiblemente una menor eficiencia en la conversión de alimento en biomasa conforme aumentó el nivel de lípidos en las dietas. Resultados y conclusiones similares se han encontrado en otros estudios en lobina rayada, en el bacalao del Atlántico (*Gadus morhua*), y en salmón del Atlántico (*Salmo salar*) (Bendiksen et al., 2003; Hansen et al., 2008; Noguera Torres & Lazo, 2023). En el presente experimento, se observó que la digestibilidad de la dieta para la lobina rayada se vio afectada por el contenido de lípidos en la dieta. Las dietas con un 9% y un 11% de lípidos mostraron una digestibilidad similar del 78%. Sin embargo, al incrementar el contenido de lípidos al 13%, la digestibilidad disminuyó ligeramente al 75%. Esta tendencia de disminución se acentuó con una dieta de 15% de lípidos, donde la digestibilidad disminuyó significativamente al 69%. Estos resultados sugieren que, aunque la lobina puede procesar dietas con un contenido moderado de lípidos sin afectar su capacidad digestiva, un exceso de lípidos puede comprometer la eficiencia digestiva. Es posible que niveles elevados de lípidos sobrecarguen el sistema digestivo de los peces, reduciendo su capacidad para descomponer y absorber los nutrientes de manera eficiente. Este hallazgo es crucial para formular dietas óptimas para la lobina, equilibrando adecuadamente el contenido de lípidos para maximizar la digestibilidad y, en consecuencia, el crecimiento y la salud de los peces.

#### **4.6 Actividad de enzimas digestivas**

Los resultados de la actividad de las lipasas sugieren que el contenido lipídico de la dieta puede influir en



la actividad enzimática y en el sistema digestivo de los juveniles de lobina rayada, lo que podría tener implicaciones en la digestión y la absorción de nutrientes. Estos resultados sugieren que la actividad de las lipasas no sigue una relación lineal directa con el contenido de lípidos en la dieta. En particular, la mayor actividad de las lipasas se observó con la dieta de 15% de lípidos, aunque esta dieta también mostró la digestibilidad más baja (69%). Este hallazgo puede indicar que, aunque en el sistema digestivo de la lobina rayada se aumenta la producción de lipasas en respuesta a dietas más ricas en lípidos, este aumento en la no es suficiente para mantener una alta digestibilidad cuando los niveles de lípidos son excesivos. Por otro lado, la disminución en la actividad de las lipasas con la dieta de 13% de lípidos sugiere una posible saturación en la capacidad de respuesta enzimática o una regulación negativa en presencia de niveles intermedios de lípidos.

En resumen, aunque existe una respuesta adaptativa de aumento de actividad de las enzimas lipídicas con dietas más altas en lípidos, hay un umbral a partir del cual esta adaptación no compensa la sobrecarga lipídica, resultando en una menor digestibilidad. Estos resultados resaltan la importancia de encontrar un equilibrio óptimo en el contenido de lípidos en la dieta y los otros nutrientes para maximizar tanto la actividad enzimática como la digestibilidad de la lobina.

## 4.7 Índices de condición

Los índices de condición proporcionan una medida de la salud y la calidad general de los peces. El índice de condición K no presentó diferencias entre tratamientos y se mantuvo entre un valor de 1.16 y 1.19. Para lobina rayada se han reportado índices de condición que varían de 0.65 a 2.19 (Brunelle, 2023; Del Rio-Zaragoza et al., 2021). El índice de condición refleja circunstancias físicas y biológicas y fluctuaciones por interacción entre condiciones de alimentación, infecciones parasitarias, factores fisiológicos y cambios en las reservas de alimento, por tanto, es una señal del estado general de los peces (Sutton et al., 2000). Por lo regular, cuando un pez tiene un índice K inferior a 1,0 (<1) se considera que está en malas condiciones, sin embargo, se considera que el pez está en “condición aceptable” cuando K está entre 1,0-1,20 y “buen estado” cuando K está por encima de 1,20 (Barnham & Baxter, 2003).

En este estudio se encontró una relación negativa entre el nivel de lípidos en las dietas experimentales y el valor del IH, lo cual no coincide con estudios anteriores realizados en peces marinos (Craig et al., 1999; Nanton et al., 2001; Ren et al., 2021; Tibbetts et al., 2005; J.-T. Wang et al., 2005) donde el IH aumenta

conforme aumentan los lípidos en dieta. Berger y Halver (1987) señalaron que el agrandamiento del hígado puede deberse a un aumento de la deposición de lípidos o glucógeno en el mismo.

Sin embargo, en el estudio de diferentes niveles de lípidos en dietas de *Oplegnathus punctatus* realizado por Wang y colaboradores en 2021, los peces que consumieron dietas con menor contenido lipídico (2.30 % y 6.31%) tenían un IH significativamente mayor que el de los otros grupos.

Relacionado con eso, más investigaciones en especies de peces marinos muestran que un aumento de carbohidratos en los alimentos (que son usados como relleno en la dieta al bajar los niveles de lípidos) contribuye al aumento de glucosa en el plasma, depósitos de glicógeno en el hígado y aumento del IH (Rawles & Gatlin, 1998; Regost et al., 2001; Wang et al., 2016).

Este fenómeno se presentó en el experimento de Wang et al. (2021), donde el mayor contenido de fécula de maíz en el tratamiento con menor contenido lipídico resultó en la concentración más alta de glucosa en suero y nivel de glicógeno en hígado. Los autores sugieren que altos niveles de depósitos de glicógeno en el hígado llevan a una expansión de las células hepáticas y pueden ser la razón del elevado IH observado en los tratamientos con menor contenido lipídico (Nanton et al., 2007; J. Wang et al., 2016; J.-T. Wang et al., 2005). Además, se ha sugerido una correlación de un alto IH con una mala condición de salud y un bajo crecimiento en peces marinos (Deng et al., 2011). Por lo que parece que el IH en lobina se ve afectado en mayor manera por los carbohidratos que por los lípidos (Millikin, 1983).

El índice de grasa visceral no presentó diferencias significativas en el experimento. La proporción de grasa intraperitoneal (IPF) en lobina Sunshine fue significativamente elevada (5.1% a 3.2%) en peces alimentados con dietas con 10% de lípidos en comparación con aquellas con 5% de lípidos (Gaylord & Gatlin, 2000b). La grasa intraperitoneal en la lobina rayada híbrida cultivada suele ser de 50 a 60 g/ kg (Rawles et al., 2008), cantidad que es mayor a la obtenida en este experimento (14 y 26 g/kg del peso total).

Por lo general, la grasa intraperitoneal es un indicador indirecto del desbalance energético en las dietas, por lo que entre menor sea la acumulación de grasa en esta región es mejor (Chou et al., 2001). Estos resultados sugieren que las diferentes relaciones entre los nutrientes de las dietas experimentales pueden tener un impacto en la salud y la calidad de los peces, reflejado en la variación en los índices de condición.

## 4.8 Perfil de ácidos grasos

No se encontraron diferencias importantes en el perfil de ácidos grasos de los peces alimentados con diferentes niveles de lípidos en la dieta. Aparentemente, el nivel de ácidos grasos presentes en todas las dietas, en particular los AGE como los LC-PUFAs n-3 fueron suficientes para satisfacer los requerimientos esenciales de estos nutrientes por parte de los peces, aún en la dieta con el menor contenido de lípidos en la dietas (i.e., 9%) (Tabla 10). En una revisión el NRC (2011), se menciona que los requerimientos de LC-PUFAs n-3 para los híbridos de la lobina rayada oscila alrededor del 1% del peso seco de la dieta, con una cantidad mínima de EPA+DHA del 0.3 al 0.6% del peso seco.

**Tabla 10** Estimado del contenido de ácidos grasos en las dietas experimentales con base en la inclusión de aceite de pescado y harina de pescado (NRC, 2011).

	Ácidos grasos (g/100 g dieta o %)			
	D9	D11	D13	D15
Total Saturados	2.55	3.16	3.77	4.38
Total Monosaturados	2.45	3.03	3.61	4.19
Total PUFAs n6	0.2	0.2	0.3	0.3
Total PUFAS n3	0.3	0.1	0.1	0.1
20:4 n-6	0.14	0.18	0.21	0.24
20:5 n-3	1.51	1.87	2.23	2.59
22:5 n-3	0.22	0.28	0.33	0.38
22:6 n-3	1.15	1.43	1.70	1.97
LC-PUFAs n-3	2.66	3.29	3.93	4.56
TOTAL LC-PUFA's	3.03	3.75	4.47	5.19

Bowyer et al. (2012) afirman que si la dieta contiene el mínimo de ácidos grasos esenciales (AGE) requeridos por la especie (i.e., el nivel de LC-PUFA's n-3), niveles superiores no afectarán negativamente el crecimiento de los organismos, siempre y cuando no haya un desbalance entre los AGE y los no-esenciales, es decir un exceso AGE y pocos ácidos grasos saturados o mono-insaturados como fuente de energía para la b-oxidación. Varios autores reportan que el mínimo de LC-PUFA's n-3 para los peces marinos es de 0.5 a 2% del peso seco de la dieta (Bowyer et al., 2012; Sargent et al., 2002; NRC, 2011). Por ejemplo, se ha reportado que en uno de los híbridos de la lobina blanca y la lobina rayada (peso inicial 13

g) alimentados con dietas que contenían 1.1% de HUFA n-3 se obtuvieron mayores ganancias de peso y mejores índices de eficiencia proteica que los peces alimentados con dietas con menos del 1.1% o más del 3.2% de HUFA n-3 (Nematipour & Gatlin, 1993). Aunque en el presente estudio no se cuantificaron los AGE en las dietas formuladas por cromatografía de gases, haciendo un estimado de contenido de LC-PUFAs n-3 en las dietas con base en la inclusión del aceite de pescado de sardina y el de la harina de pescado (i.e., 10% lípidos) la dieta con más bajo nivel de lípidos (i.e., 9%) resulta en un contenido estimado de LC-PUFAs n-3 del 2.66% en de la dieta en base seca y un 4.56% en la dieta con 15% lípidos. Esta cantidad es suficiente para cumplir el requerimiento de LC-PUFAs n-3 estimados para la lobina rayada y sus híbridos (Webster et al., 1995).

De manera similar, Robinette et al. (1997) reportaron que los juveniles del híbrido lobina "Palmetto" criados en estanques resultaron en un peso total, ganancia de peso, porcentaje de ganancia de peso, porcentaje de rendimiento del filete, composición proximal del cuerpo entero y del tejido del filete, y grasa abdominal similares cuando fueron alimentados con dietas que contenían 30% de harina de pescado de arenque y 2.5% de aceite de arenque en comparación con niveles de harina y aceite mayores. Los autores concluyeron que la adición de un 30% de harina de pescado de arenque a una dieta proporcionaba más del 1% de AGE n-3 requerido por el híbrido de la lobina rayada y que el uso de aceites de pescado marino para el híbrido de la lobina rayada cultivada en estanques podría ser innecesario cuando se agrega un 30% de harina de pescado de arenque a su dieta. Sin embargo, si no se agrega harina de pescado de origen marino, puede ser necesario agregar aceites de pescado marino para asegurar que se cumpla con el mínimo requerimiento de HUFA n-3.

#### **4.9 Composición proximal del músculo.**

Por lo general el contenido de lípidos en dieta influye en el nivel de lípidos del músculo y en el cuerpo completo de los peces. Un alto nivel de lípidos en la dieta puede resultar en un desequilibrio en la relación energía/proteína, causando un exceso de depósito de grasas en viseras y tejidos (Chou et al., 2001). Como era de esperar, en el presente estudio se encontró que entre mayor fue el contenido de lípidos en las dietas, mayor el contenido de lípidos en el músculo del pez. Estos resultados coinciden con los reportados para varias especies, incluyendo la lobina rayada híbrida, en la cual se ha observado una relación directa entre el contenido de lípidos en la dieta y el contenido de lípidos en el cuerpo (Burr et al., 2006; Nematipour & Gatlin, 1993; Webster et al., 1995). En el estudio realizado por Khatua et al. (2021), se

observa que el contenido de lípidos del bagre (*Mystus gulio*) en todo el cuerpo y el nivel de lípidos en la dieta están directamente correlacionados. En el estudio con el bagre, el contenido de grasa corporal aumentó significativamente de 3.0% a 4.8% cuando los peces fueron alimentados con dietas de 10% y 25% de lípidos, respectivamente (Regost et al., 2001).

Por su parte, el nivel de proteína en el músculo de lobina rayada no se vio afectado por el nivel de lípidos en la dieta, y coincide con experimentos realizados en otros peces marinos carnívoros (NRC, 2011). Por ejemplo, el nivel de proteína en el cuerpo completo, músculo dorsal, hígado y contenido de humedad no se ve significativamente afectado por el nivel de lípidos en las dietas en varias especies (Wang et al., 2021). De manera similar, Regot y colaboradores (2001) no encontraron diferencias significativas en el contenido proteico de peces alimentados con diferentes niveles de lípidos en dietas.

## Capítulo 5. Conclusiones

---

El mejor crecimiento y eficiencia alimenticia se obtuvo con las dietas que contenían entre 9 y 11% de lípidos.

La mejor utilización de la proteína se observó en los peces alimentados con la dieta con 11% de lípidos.

Se observó una relación inversamente proporcional entre el consumo de alimento y la cantidad de energía en la dieta.

Así mismo, mientras mayor fue el nivel de lípidos en dieta, mayor fue la cantidad de lípidos en el músculo de los peces al final del bioensayo.

Los niveles altos de lípidos (e.g., 13 y 15%) en dieta, resultaron en una reducción de la digestibilidad de la dieta, probablemente relacionada con la digestión de los lípidos a esta temperatura.

La dieta con mayor contenido de lípidos (15%) resultó en la mayor actividad de las lipasas en el sistema digestivo, sugiriendo una mayor producción de estas enzimas para compensar los altos niveles de lípidos en la dieta.

No se encontraron cambios significativos en el perfil de LC-PUFAs entre los peces alimentados con las dietas experimentales, aun con las dietas con bajo contenido lipídico, lo que asegura un buen perfil nutricional para consumo humano.

El nivel de LC-PUFAs n-3 en la dieta (e.g., 2%) con el menor contenido de lípidos (9%) fue suficiente para satisfacer el requerimiento estimado para la lobina rayada y sus híbridos (1%).

Basándonos en la eficiencia de la utilización del alimento y de la proteína en la dieta, utilizando un modelo cuadrático se estimó un requerimiento de lípidos en dieta de un 11%.

## Literatura citada

- Andersen, L. K., Abernathy, J., Berlinsky, D. L., Bolton, G., Booker, M. M., Borski, R. J., Brown, T., Cerino, D., Ciaramella, M., Clark, R. W., Frinsko, M. O., Fuller, S. A., Gabel, S., Green, B. W., Herbst, E., Hodson, R. G., Hopper, M., Kenter, L. W., Lopez, F., ... StriperHub. (2021). The status of striped bass, *Morone saxatilis*, as a commercially ready species for U.S. marine aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 52(3), 710–730. <https://doi.org/10.1111/jwas.12812>
- Barnham, C. A., & Baxter, A. F. (2003). Condition factor, K, for salmonid fish. *Fisherie Notes*. <http://bamboorods.ca/Trout%20condition%20factor.pdf>
- Bendiksen, E. Å., Berg, O. K., Jobling, M., Arnesen, A. M., & Måsøval, K. (2003). Digestibility, growth and nutrient utilisation of Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.) in relation to temperature, feed fat content and oil source. *Aquaculture*, 224(1), 283–299. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00218-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00218-7)
- Brunelle, H. (2023). *Assessing impacts of multiple parasites on Striped Bass (Morone saxatilis) across age classes, rivers and salinity in Chesapeake Bay*. [Tesis de licenciatura, Wheaton College Massachusetts]. Repositorio digital – Wheaton College Massachusetts <https://digitalrepository.wheatoncollege.edu/handle/11040/34952>
- Burr, G., Li, P., Goff, J., Gatlin, D., Grisdale-Helland, B., & Helland, S. (2006). Evaluation of Growth Performance and Whole-body Composition of Juvenile Hybrid Striped Bass *Morone chrysops* × *Morone saxatilis* and Red Drum *Sciaenops ocellatus* Fed High-protein and High-lipid Diets. *Journal of The World Aquaculture Society*, 37, 421–430. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2006.00055.x>
- Campbell, B., & Pauly, D. (2013). Mariculture: A global analysis of production trends since 1950. *Marine Policy*, 39, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.10.009>
- Cho, C. Y., & Kaushik, S. J. (1985). Effect of protein intake on metabolizable and net energy values of fish diets. En C. B. Cowey, A. M. Mackie, & J. G. Bell, *Nutrition and feeding of fish*. (Academic Press, pp. 95–117). [https://www.researchgate.net/publication/342066356\\_Effect\\_of\\_protein\\_intake\\_on\\_metabolizable\\_and\\_net\\_energy\\_values\\_of\\_fish\\_diets](https://www.researchgate.net/publication/342066356_Effect_of_protein_intake_on_metabolizable_and_net_energy_values_of_fish_diets)
- Chou, R.-L., Su, M.-S., & Chen, H.-Y. (2001). Optimal dietary protein and lipid levels for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture*, 193(1), 81–89. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00480-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00480-4)
- Craig, S. R., Washburn, B. S., & Gatlin, D. M. (1999). Effects of dietary lipids on body composition and liver function in juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 21(3), 249–255. <https://doi.org/10.1023/A:1007843420128>
- De la Higuera, M., & Gardenete, G. (1987). Fuentes alternativas de proteína y energía en acuicultura. En J. Espinosa de los Monteros & U. Labarta, *Alimentación en acuicultura*.
- Del Rio-Zaragoza, O. B., Cavalheiro Araújo, B., & Viana, M. T. (2021). Health status evaluation of striped bass (*Morone saxatilis*) exposed to low temperature in sea cage culture during the grow-out. *Aquaculture Research*, 52(6), 2435–2445. <https://doi.org/10.1111/are.15093>

- Deng, D.-F., Ju, Z. Y., Dominy, W., Murashige, R., & Wilson, R. P. (2011). Optimal dietary protein levels for juvenile Pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*) fed diets with two levels of lipid. *Aquaculture*, 316(1), 25–30. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.03.023>
- FAO. (2022a). *El estado de la pesca y la acuicultura en la región de la COPACO* (16; p. 66). Comisión de pesca para el Atlántico Centro-Occidental. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b121037c-a2a2-423c-a2dd-128b1298241e/content>
- FAO. (2022b). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022: Hacia la transformación azul*. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- Fernández Borrás, J. (1993). Los lípidos en la nutrición de los peces. En F. C. Orvay, *Acuicultura marina: Fundamentos biológicos y tecnología de la producción*. Edicions Universitat Barcelona.
- Gallagher, M. (1996). Growth Responses and Liver Changes in Juvenile Sunshine Bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) Associated with Dietary Protein and Lipid Level. *Journal of Applied Aquaculture*, 6(4), 75–85. [https://doi.org/10.1300/J028v06n04\\_06](https://doi.org/10.1300/J028v06n04_06)
- Gallagher, M. L. (1999). Growth Responses, Tissue Composition, and Liver Enzyme Changes in Juvenile Sunshine Bass, *Morone chrysops* × *M. saxatilis*, Associated with Dietary Protein and Lipid Level. *Journal of Applied Aquaculture*, 9(4), 41–51. [https://doi.org/10.1300/J028v09n04\\_05](https://doi.org/10.1300/J028v09n04_05)
- Gatlin, D. M. (1997). Nutrition and feeding of striped bass and hybrid striped bass. En R. M. Harrell, *Striped bass and other Morone culture*. (3ra ed., pp. 235–251). Elsevier Science Publishers. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19981410036>
- Gatlin, D. M. (2003). 12—Nutrition and Fish Health. En J. E. Halver & R. W. Hardy, *Fish Nutrition* (Third Edition) (pp. 671–702). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012319652-1/50013-6>
- Gaylord, T. G., & Gatlin, D. M. (2000a). Dietary lipid level but not l-carnitine affects growth performance of hybrid striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂). *Aquaculture*, 190(3), 237–246. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00404-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00404-X)
- Gaylord, T. G., & Gatlin, D. M. (2000b). Effects of dietary carnitine and lipid on growth and body composition of hybrid striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂). *Fish Physiology and Biochemistry*, 22(4), 297–302. <https://doi.org/10.1023/A:1007843223107>
- Green, B. W., Rawles, S. D., Webster, C. D., & McEntire, M. E. (2018). Effect of Stocking Rate on Growing Juvenile Sunshine Bass, × , in an Outdoor Biofloc Production System. *Journal of the World Aquaculture Society*, 49(5), 827–836. <https://doi.org/10.1111/jwas.12491>
- Hansen, J. Ø., Berge, G. M., Hillestad, M., Krogdahl, Å., Galloway, T. F., Holm, H., Holm, J., & Ruyter, B. (2008). Apparent digestion and apparent retention of lipid and fatty acids in Atlantic cod (*Gadus morhua*) fed increasing dietary lipid levels. *Aquaculture*, 284(1), 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.07.043>
- Hardy, R. W., & Barrows, F. T. (2003). 9—Diet Formulation and Manufacture. En J. E. Halver & R. W. Hardy (Eds.), *Fish Nutrition* (3ra) (pp. 505–600). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012319652-1/50010-0>



- Harrell, R. M., & Webster, D. W. (1997). An overview of Morone culture. En R. M. Harrell, *Striped bass and other Morone culture* (Vol. 30, pp. 1–10). Elsevier.
- Harrell, R. M., & Woods, L. C. (1995). Comparative fatty acid composition of eggs from domesticated and wild striped bass (*Morone saxatilis*). *Aquaculture*, 133(3), 225–233. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)00007-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)00007-0)
- Hertrampf, J. W., & Piedad-Pascual, F. (2003). *Handbook on ingredients for aquaculture feeds*. Springer Science & Business Media.
- Hill, J., Evans, J. W., & Avyle, M. J. V. D. (1989). *Species Profiles: Life Histories and Environmental Requirements of Coastal Fishes and Invertebrates (South Atlantic) : Striped Bass*. Fish and Wildlife Service, U.S. Department of the Interior.
- Hung, S. S. O., Conte, F. S., & Hallen, E. F. (1993). Effects of feeding rates on growth, body composition and nutrient metabolism in striped bass (*Morone saxatilis*) fingerlings. *Aquaculture*, 112(4), 349–361. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90395-F](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90395-F)
- Khatua, R., Mohanta, K. N., Chandan, N. K., Pattanayak, R., Mishra, C. S., & Kumar, P. (2021). Dietary protein and lipid concentrations affect the growth, nutritional indices, and whole-body composition of long-whisker catfish, *Mystus gulio*, fry. *Aquaculture International*, 29(5), 2085–2099. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00738-x>
- Li, M. H. (1998). Feed Formulation and Processing. En T. Lovell (Ed.), *Nutrition and Feeding of Fish* (pp. 135–152). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4909-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4909-3_8)
- Magallón-Barajas, F. J., & Villarreal Colmenares, H. (2007). *Desarrollo Sustentable de la Acuicultura en México. Orientaciones Estratégicas*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC. <http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/2987/1649%20DESARROLLO%20SUSTENTABLE%20DE%20LA%20ACUACULTURA%20EN%20MEXICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- McEntire, M., Snyder, S., & Freeman, D. (2015). Comparison of Growth Between Morone Hybrids (Palmetto and Sunshine) in Earthen Ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 46(5), 557–563. <https://doi.org/10.1111/jwas.12213>
- Millikin, M. R. (1983). Interactive Effects of Dietary Protein and Lipid on Growth and Protein Utilization of Age-0 Striped Bass. *Transactions of the American Fisheries Society*, 112(2A), 185–193. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1983\)112<185:IEODPA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1983)112<185:IEODPA>2.0.CO;2)
- Nanton, D. A., Lall, S. P., & McNiven, M. A. (2001). Effects of dietary lipid level on liver and muscle lipid deposition in juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L. *Aquaculture Research*, 32(s1), 225–234. <https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00019.x>
- Nanton, D. A., Vegusdal, A., Rørå, A. M. B., Ruyter, B., Baeverfjord, G., & Torstensen, B. E. (2007). Muscle lipid storage pattern, composition, and adipocyte distribution in different parts of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed fish oil and vegetable oil. *Aquaculture*, 265(1), 230–243. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.053>
- Nematipour, G. R., Brown, M. L., & Gatlin, D. M. (1992). Effects of dietary energy: Protein ratio on growth characteristics and body composition of hybrid striped bass, *Morone chrysops* ♀ X *M. saxatilis* ♂. *Aquaculture*, 107(4), 359–368. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90083-W](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90083-W)

- Nematipour, G. R., & Gatlin, D. M. (1993). Effects of different kinds of dietary lipid on growth and fatty acid composition of juvenile sunshine bass, *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂. *Aquaculture*, *114*(1), 141–154. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90257-Y](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90257-Y)
- Nogueira Torres, E., & Lazo, J. P. (2023). The effect of protein to lipid ratios on growth, digestibility, and feed utilization of striped bass (*Morone saxatilis*) raised in seawater at 21°C. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3722394/v1>
- Rawles, S. D., & Gatlin, D. M. (1998). Carbohydrate utilization in striped bass (*Morone saxatilis*) and sunshine bass (*M. chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂). *Aquaculture*, *161*(1), 201–212. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00270-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00270-6)
- Rawles, S. D., Riche, M., Gaylord, T. G., Webb, J., Freeman, D. W., & Davis, M. (2006). Evaluation of poultry by-product meal in commercial diets for hybrid striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂) in recirculated tank production. *Aquaculture*, *259*(1), 377–389. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.05.053>
- Rawles, S. d., Smith, S. b., & Gatlin Iii, D. m. (2008). Hepatic glucose utilization and lipogenesis of hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *Morone saxatilis*) in response to dietary carbohydrate level and complexity. *Aquaculture Nutrition*, *14*(1), 40–50. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00503.x>
- Regost, C., Arzel, J., Cardinal, M., Robin, J., Laroche, M., & Kaushik, S. J. (2001). Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, *193*(3), 291–309. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00493-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00493-2)
- Ren, X., Zhu, M., Wu, Y. B., Jiang, D. L., Li, P., Qin, J. G., & Wang, Y. (2021). The optimal dietary lipid level for golden pompano *Trachinotus ovatus* fed the diets with fish meal replaced by soy protein concentrate. *Aquaculture Research*, *52*(7), 3350–3359. <https://doi.org/10.1111/are.15179>
- Sutton, S. G., Bult, T. P., & Haedrich, R. L. (2000). Relationships among Fat Weight, Body Weight, Water Weight, and Condition Factors in Wild Atlantic Salmon *Parr*. *Transactions of the American Fisheries Society*, *129*(2), 527–538. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(2000\)129<0527:RAFWBW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(2000)129<0527:RAFWBW>2.0.CO;2)
- Takeuchi, T., Shiina, Y., & Watanabe, T. (1992). Suitable Levels of n-3 Highly Unsaturated Fatty Acids in Diet for Fingerlings of Red Sea Bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, *58*(3), 509–514. <https://doi.org/10.2331/suisan.58.509>
- Tibbetts, S. m., Lall, S. p., & Milley, J. e. (2005). Effects of dietary protein and lipid levels and DP DE–1 ratio on growth, feed utilization and hepatosomatic index of juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L. *Aquaculture Nutrition*, *11*(1), 67–75. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00326.x>
- Tuncer, H., & Harrell, R. M. (1992). Essential fatty acid nutrition of larval striped bass (*Morone saxatilis*) and palmetto bass (*M. saxatilis* × *M. chrysops*). *Aquaculture*, *101*(1), 105–121. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90236-E](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90236-E)
- Wang, J., Li, X., Han, T., Yang, Y., Jiang, Y., Yang, M., Xu, Y., & Harpaz, S. (2016). Effects of different dietary carbohydrate levels on growth, feed utilization and body composition of juvenile grouper

*Epinephelus akaara*. *Aquaculture*, 459, 143–147.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.03.034>

- Wang, J., Liu, T., Zheng, P., Xu, H., Su, H., Tao, H., & Yang, Y. (2021). Effect of dietary lipid levels on growth performance, body composition, and feed utilization of juvenile spotted knifejaw *Oplegnathus punctatus*. *Aquaculture Reports*, 21, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100797>
- Wang, J.-T., Liu, Y.-J., Tian, L.-X., Mai, K.-S., Du, Z.-Y., Wang, Y., & Yang, H.-J. (2005). Effect of dietary lipid level on growth performance, lipid deposition, hepatic lipogenesis in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture*, 249(1–4), 439–447. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.038>
- Watanabe, T., Thongrod, S., Takeuchi, T., Satoh, S., Kubota, S. S., Fujimaki, Y., & Cho, C. Y. (1989). Effect of Dietary n-6 and n-3 Fatty Acids on Growth, Fatty Acid Composition and Histological Changes of White Fish Coregonus *Lavaretus maraena*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55(11), 1977–1982. <https://doi.org/10.2331/suisan.55.1977>
- Webster, C. D., Tiu, L. G., Tidwell, J. H., Van Wyk, P., & Howerton, R. D. (1995). Effects of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of sunshine bass (*Morone chrysops* X *M. saxatilis*) reared in cages. *Aquaculture*, 131(3), 291–301. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00346-P](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00346-P)
- Whitehurst, D. K., & Stevens, R. E. (1990). History and overview of striped bass culture and management. En R. M. Harrell, J. H. Kerby, & Minton, *Culture and propagation of striped bass and its hybrids* (pp. 1–5).
- Woods III, L. C. (2001). Domestication and strain evaluation of striped bass (*Morone saxatilis*). *Aquaculture*, 202(3–4), 343–350. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00783-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00783-9)
- Wu, X., Castillo, S., Rosales, M., Burns, A., Mendoza, M., & Gatlin, D. M. (2015). Relative use of dietary carbohydrate, non-essential amino acids, and lipids for energy by hybrid striped bass, *Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂. *Aquaculture*, 435, 116–119. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.030>
- Zhang, Q., Reigh, R. C., & Wolters, W. R. (1994). Growth and body composition of pond-raised hybrid striped basses, *Morone saxatilis* × *M. chrysops* and *M. saxatilis* × *M. mississippiensis*, fed low and moderate levels of dietary lipid. *Aquaculture*, 125(1), 119–129. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90288-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90288-7)