

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN
SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN ACUICULTURA**

**Evaluación del efecto de la temperatura en el crecimiento,
digestibilidad y las enzimas digestivas de juveniles de jurel
cola amarilla (*Seriola lalandi dorsalis*)**

Tesis

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

Presenta:

Brenda Itzel Medrano Reyes

Ensenada, Baja California, México
2014

Tesis defendida por
Brenda Itzel Medrano Reyes

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Juan Pablo Lazo Corvera
Director del Comité

Dr. Benjamín Barón Sevilla
Miembro del Comité

M.C. Vicente Ferreira Bartrina
Miembro del Comité

Dra. María Teresa Viana Castrillón
Miembro del Comité

Dra. Beatriz Cordero Esquivel
Coordinador del Posgrado en Ciencias
en Acuicultura

Dr. Jesús Favela Vara
Director de Estudios de Posgrado

Octubre, 2014

Resumen de la tesis que presenta **Brenda Itzel Medrano Reyes** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Acuicultura.

Evaluación del efecto de la temperatura en el crecimiento, digestibilidad y las enzimas digestivas de juveniles de jurel cola amarilla (*Seriola lalandi dorsalis*)

Resumen elaborado por:

Brenda Itzel Medrano Reyes

El Jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*) es un pez marino de alto valor comercial, en la actualidad representa la segunda industria más importante de cultivo de peces marinos en México. De acuerdo a la ubicación del cultivo en México (Ensenada, B.C., Bahía Magdalena, B.C.S. y la Paz, B.C.S), los juveniles de jurel experimentan importantes cambios en la temperatura del agua durante todo el año (de 10°C a 28°C), la temperatura es considerada el principal factor extrínseco que afecta el crecimiento, la supervivencia y la utilización de nutrientes. Es por esto, que el objetivo principal del presente estudio fue evaluar la temperatura óptima para el crecimiento, supervivencia, actividad de las enzimas digestivas, digestibilidad de la dieta y la utilización de nutrientes en los juveniles jurel cola amarilla. Con este fin, se establecieron tres temperaturas de cultivo (22, 25 y 28°C). Cada tratamiento se evaluó por triplicado utilizando 11 peces de 260 g por tanque. Los peces fueron alimentados con una dieta comercial (45% de proteína, 12.6% de lípidos) a saciedad aparente dos veces al día durante un período de 57 días. Al final del bioensayo, el crecimiento no se vio afectado significativamente por la temperatura, sin embargo la supervivencia fue significativamente menor a 28°C. No se encontraron diferencias significativas en la digestibilidad de la dieta y la proteína entre los tratamientos. La actividad de las enzimas digestivas se vio afectada por la temperatura del agua a 25°C, la actividad de la pepsina resultó significativamente mayor. La mayor actividad de la tripsina y amilasa se registró a los 28°C. Mientras que la actividad de la lipasa no resultó con diferencias entre los tratamientos. Se analizó la actividad en dos zonas (intestino y ciegos pilóricos encontrando una actividad significativamente mayor en los ciegos pilóricos. Lo anterior sugiere que los juveniles de jurel llevan a cabo la mayor parte de la digestión alcalina de las proteínas y lipídica en los ciegos pilóricos, mientras que la digestión de los hidratos de carbono ocurre mayormente en el intestino.. Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se recomienda cultivar esta especie a temperaturas cercanas a los 25°C para obtener un mayor rendimiento en la producción. Sin embargo, a 22°C se incrementa significativamente el porcentaje de lípidos en el musculo, lo cual resulta importante para la industria acuícola por la calidad del producto final.

Palabras clave: ***Seriola lalandi*, Temperatura, Actividad enzimática digestiva, Digestibilidad.**

Abstract of the thesis presented as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Aquaculture.

The effect of temperature on growth, survival, digestive enzymes and digestibility in pacific yellowtail (*Seriola lalandi dorsalis*)

Abstract by:

Brenda Itzel Medrano Reyes

Pacific Yellowtail (*Seriola lalandi*) is a high value marine fish, currently representing the second most important cultured marine fish in Mexico. Depending on the grow-out location (Ensenada, B.C., Bahía Magdalena, B.C.S. y the Paz, B.C.S Pacific yellowtail juveniles experience important changes in water temperature throughout the year (i.e., 18 °C to 28 °C) and temperature is known to be the single most important physical factor influencing growth, survival and nutrient utilization in fish. Thus, the objectives of the present study were to evaluate the effect of water temperature on growth, survival, digestive enzyme activities, diet digestibility and nutrient utilization on Pacific yellowtail juveniles. Three water temperatures were established (22, 25 and 28°C). Each treatment was evaluated in triplicate using 11-260 g fish per tank. Fish were fed a commercial diet (45% protein, 12.6% lipid) to apparent station two times per day for a period of 57 days. At the end of the feeding trial, growth was not significantly affected by temperature, however, survival was significantly affected by the water temperature with fish held at 28°C resulting in lower survival compare to the other treatments, which in turn resulted in a significantly higher final biomass at 25 °C. The digestibility of the diet and protein were not significantly affected by water temperature. The activity of some digestive enzymes was affected by water temperature and resulted in significantly higher activity for pepsin at 25°C, whereas amylase and trypsin activity were higher at 28°C. Lipase activity was not significantly affected by water temperature. The digestive enzyme activity was compared between two regions of the midgut (intestine and pyloric caeca) and resulted in significantly increased activity in the pyloric caeca. This suggests that Pacific yellowtail juvenile alkaline digestion of proteins and lipids occurs mainly in the pyloric caeca, while the digestion of carbohydrates occurs mainly in the intestine. Based on the results obtained from this study, it is recommend to grow Pacific yellowtail at a temperature near 25°C to obtain higher production outputs and to avoid waters above 28°C. However, growing Pacific yellowtail at 22°C significantly increased muscle lipids, which is an important factor for the aquaculture industry with respect to the quality of the final product.

Keywords: *Seriola lalandi*, temperature, activity of digestive enzymes and digestibility.

Dedicatoria

A toda mi familia, GRACIAS!!

Agradecimientos

A mi director de tesis el Dr. Juan Pablo Lazo, por aceptarme como su estudiante, por la paciencia y apoyo brindado.

A mis sinodales, Dr. Benjamín Barón, M. en C. Vicente Ferreira y Dra. María Teresa Viana por su ayuda, consejos y aportes durante el desarrollo de este trabajo.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y al Departamento de Acuicultura por haberme otorgado la oportunidad de realizar mi maestría.

A CONACYT, por facilitarme la beca otorgada para llevar a cabo la maestría.

A la Dra. Mónica Hernández, por facilitarme sus instalaciones y equipo para la realización de este proyecto. Además por sus enseñanzas, consejos y conocimiento compartido.

A los investigadores del departamento de Acuicultura con los cuales tuve la oportunidad de tomar clases, Dra. Beatriz Cordero, Dr. Benjamín Barón, Dra. Carmen Paniagua, Dr. Manuel Segovia, Dr. Miguel Ángel del Río, Dr. Eugenio Díaz, Dra. Marysabel Báez, Dr. Oscar Basilio Del Rio Zaragoza.

A todos los técnicos del departamento de Acuicultura, en especial a Jesús y Fernando, del laboratorio de peces marinos por su apoyo durante la fase experimental.

A Miguel Ángel (*Seriola lalandi*) porque fue mi compañero de experimento y me apoyó incondicionalmente durante la fase experimental. Gracias por aguantarme!!

A mis compañeros y amigos de generación, Melissa, Paty, Anaid, Montse, Vincent, Miguel, Jorge, Edgar por el apoyo y compañía, por estar en las buenas y las malas, salir, jugar y desestresarnos, por hacer esta experiencia más amena. Los quiero!!

A Jorge mi compañero de viaje, por su amor y paciencia.

A mis compañeros de laboratorio, Jorge, Pablo, Berna, por su apoyo.

Contenido

	Página
Resumen español	iii
Resumen inglés	iv
Dedicatorias	v
Agradecimientos	vi
Lista de Figuras	viii
Lista de Tablas	ix
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Biología de <i>Seriola lalandi</i>	2
1.3. Cultivo.....	3
1.4. Temperatura.....	4
1.5. Digestión en peces marinos.....	5
1.6. Digestibilidad.....	9
1.7. Justificación.....	10
Capítulo 2. Objetivos	11
2.1. Objetivo general.....	11
2.2. Objetivos específicos.....	11
Capítulo 3. Hipótesis	12
Capítulo 4. Materiales y métodos	13
4.1. Obtención de los organismos para el bioensayo.....	13
4.2. Sistema experimental.....	13
4.3. Evaluación de crecimiento.....	13
4.3.1. Tasa específica de crecimiento.....	14
4.3.2. Coeficiente térmico de crecimiento.....	14
4.4. Eficiencia alimenticia.....	14
4.4.1. Tasa de conversión alimenticia.....	14
4.4.2. Tasa de eficiencia proteica (TEP).....	14
4.4.3. Tasa de conversión proteica (TCP).....	14
4.5. Supervivencia.....	15
4.6. Análisis químico proximal.....	15
4.7. Análisis enzimático.....	16
4.7.1. Preparación del extracto enzimático.....	16
4.7.2. Actividad de la pepsina.....	17
4.7.3. Actividad de la tripsina.....	17
4.7.4. Actividad de la lipasa dependiente de sales biliares.....	17
4.7.5. Actividad de la amilasa.....	18
4.8. Digestibilidad aparente.....	19
4.9. Análisis estadístico.....	20

Contenido (continuación)

Capítulo 5. Resultados

5.1. Crecimiento en peso (g).....	21
5.1.1. Tasa de crecimiento específico.....	22
5.2. Alimento consumido.....	23
5.3. Supervivencia.....	24
5.4. Biomasa final.....	25
5.5. Eficiencia alimenticia.....	25
5.6. Digestibilidad aparente.....	26
5.6.1. Digestibilidad aparente de la dieta.....	26
5.6.2. Digestibilidad aparente de la proteína.....	27
5.7. Composición del musculo de Jurel cola amarilla.....	27
5.8. Actividad enzimática digestiva.....	28
5.8.1. Actividad específica.....	28
5.8.2. Actividad enzimática total.....	30

Capítulo 6. Discusiones

6.1. Crecimiento.....	35
6.2. Supervivencia.....	38
6.3. Digestibilidad aparente.....	39
6.5. Actividad enzimática digestiva.....	41
6.5.1. Pepsina.....	41
6.5.2. Tripsina.....	42
6.5.3. Lipasa dependiente de sales biliares.....	43
6.5.4. Amilasa.....	45
6.5.5. Diferencia entre regiones analizadas.....	46
6.5. Composición proximal del musculo.....	47

Conclusiones.....	49
--------------------------	-----------

Recomendaciones.....	50
-----------------------------	-----------

Lista de referencia.....	51
---------------------------------	-----------

Lista de figuras

Figura		Página
1	Jurel cola amarilla (<i>Seriola lalandi</i>).....	2
2	Esquema del tracto digestivo de un pez.....	6
3	Disección de los organismos. Las flechas naranja indican la dirección en que se realizaron los cortes para la disección. En la sección A se observa el estómago, B los ciegos pilóricos, C el intestino.....	16
4	Peso ganado (g) \pm desviación estándar (DE) de los juveniles de Jurel cola amarilla (<i>Seriola lalandi</i>) mantenidos a tres temperaturas (22°C, 25°C y 28°C).....	21
5	Crecimiento en peso (g) \pm desviación estándar (DE) de los juveniles de Jurel cola amarilla (<i>Seriola lalandi</i>) mantenidos a tres temperaturas (22°C, 25°C y 28°C).....	22
6	Supervivencia (g) \pm desviación estándar (DE) de los juveniles de Jurel cola amarilla (<i>Seriola lalandi</i>) mantenidos a tres temperaturas (22°C, 25°C y 28°C). Las letras distintas como superíndices indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$).....	23
7	Mortalidad (%) \pm desviación estándar (DE) de los juveniles de Jurel cola amarilla (<i>Seriola lalandi</i>) mantenidos a tres temperaturas (22°C, 25°C y 28°C).....	24
8	Digestibilidad aparente de la dieta (%) \pm desviación estándar (DE) de los juveniles de Jurel cola amarilla (<i>Seriola lalandi</i>) mantenidos a tres temperaturas (22°C, 25°C y 28°C).....	26
9	Digestibilidad aparente de la proteína (%) \pm desviación estándar (DE) de los juveniles de Jurel cola amarilla (<i>Seriola lalandi</i>) mantenidos a tres temperaturas (22°C, 25°C y 28°C).....	27
10	Actividad enzimática digestiva de proteasa a), tripsina b), lipasa c), amilasa d) en el jurel cola amarilla cultivados a tres temperaturas. Las letras distintas como superíndices indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$).....	32

Lista de tablas

Tabla		Página
1	Desempeño de los juveniles de <i>Seriola lalandi</i> (Jurel cola amarilla) mantenidos a tres temperaturas. Valores representan la media \pm DE, n=3. . Las letras distintas como superíndices indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).....	25
2	Eficiencia alimenticia de los juveniles de <i>Seriola lalandi</i> (Jurel cola amarilla) mantenidos a tres temperaturas. Valores representan la media \pm DE, n=3.....	25
3	Composición proximal (%) del músculo de Jurel cola amarilla (<i>Seriola lalandi</i>) al inicio del experimento.....	28
4	Composición proximal (%) del músculo de Jurel cola amarilla (<i>Seriola lalandi</i>) mantenido a tres temperaturas. Los valores representan la media \pm DE, n=3. . Las letras distintas como superíndices indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).....	28
5	Actividad específica (U μg^{-1} proteína) en ciegos pilóricos e intestino de juveniles de jurel cola amarilla (<i>Seriola lalandi</i>) mantenido a tres temperaturas. Los valores representan la media \pm DE, n=3. . Las letras distintas como superíndices indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).....	29
6	Comparación de la actividad específica (U μg^{-1} proteína) de la tripsina, lipasa y amilasa, entre los ciegos pilóricos e intestino de juveniles de jurel cola amarilla (<i>Seriola lalandi</i>) mantenido a tres temperaturas. Los valores representan la media \pm DE, n=3. . Las letras distintas como superíndices indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).....	30
7	Actividad total (U pez ⁻¹) de la pepsina, tripsina, lipasa y amilasa en estómago, ciegos pilóricos e intestino de juveniles de jurel cola amarilla (<i>Seriola lalandi</i>) mantenido a tres temperaturas. Los valores representan la media \pm DE, n=3. . Las letras distintas como superíndices indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).....	31
8	Comparación de la actividad total (U pez ⁻¹) de la tripsina, lipasa y amilasa, entre los ciegos pilóricos e intestino de juveniles de jurel cola amarilla (<i>Seriola lalandi</i>) mantenido a tres temperaturas.....	32

Capítulo 1. Introducción

1.1. Generalidades

La contribución de acuicultura a la producción de alimentos a nivel mundial pasó de representar el 30% de la producción mundial hace una década, al 2012 equipararse totalmente a la producción de la pesca de captura con un 49% (SOFIA 2014). Teniendo un crecimiento de casi 12 veces en las últimas décadas, a una tasa media anual de 8.8%, por lo que se considera la actividad con mayor crecimiento en el campo de la producción alimenticia. En el año 2010, la producción mundial de especies acuáticas comestibles cultivadas fue de 59.9 millones de toneladas con un valor económico de 119 400 millones de dólares americanos, lo que representó el 47% de la producción mundial de especies comestibles (SOFIA, 2012).

La mayoría de las poblaciones de las diez especies más capturadas, que representan en total un 30% de la producción mundial de pesca de captura marina, están plenamente explotadas mientras que otras están sobreexplotadas, por lo que no hay perspectiva de incremento de la producción por este medio. Es por esto que la acuicultura se ha visto como una alternativa para el suministro de productos pesqueros, aumentando anualmente su producción (FAO, 2012).

El consumo mundial de peces comestibles *per cápita* aumentó de un promedio de 9.9 kg (equivalente en peso vivo) en la década de los años 60 hasta 18.4 kg en 2009. Siendo el principal grupo de especies cultivadas los peces de agua dulce con un 56.4%, mientras que los peces marinos sólo representan un 3.1% (SOFIA, 2012). A pesar del bajo porcentaje de producción que representan los peces marinos su valor económico asciende a 7.11%, por esta razón la maricultura ha crecido a una tasa anual del 15% desde 1984, siendo la producción de peces marinos una actividad con un gran potencial económico en relación a los niveles de producción obtenidos.

En cuanto a peces marinos se refiere, la principal modalidad de cultivo es en jaulas flotantes donde los organismos se encuentran expuestos a una serie de factores que cambian estacionalmente (i.e., temperatura). Por lo que es necesario conocer el efecto que tiene la temperatura sobre los organismos en cultivo y comprender la interacción entre las necesidades nutricionales y fisiológicas y sus limitaciones para maximizar el crecimiento y la producción.

1.2. Biología de *Seriola lalandi*

El Jurel cola amarilla se agrupa en la clase Actinopterygii, orden Perciformes y familia Carangidae. Se caracteriza por presentar una aleta anal precedida por dos espinas distintas, un pedúnculo caudal delgado, una aleta caudal profundamente furcada y escamas en la línea lateral, la coloración de sus aletas dorsales oscuro con una banda submarginal amarillenta, aletas pectorales y pélvicas amarillas negruzcas (Avilés and Castelló, 2004). Ésta especie se encuentra en todos los mares del mundo en aguas costeras templadas a subtropicales (14-28°C), en México se distribuye en las costas de la Península de Baja California y en el Golfo de Cortez.



Figura 1. Jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*)

Es una especie de hábitos pelágicos, es carnívoro, ya que se alimenta principalmente de macarela, anchoveta, sardina y calamar. Pueden llegar a medir 250 cm de longitud con un peso de 70 Kg, siendo las hembras ligeramente más grandes que los machos, pero ambos poseen una tasa de crecimiento rápida, de hasta 3 kg por año (Poortennar, 2003). Los miembros de este género utilizan una modalidad de natación carangiforme, en la cual el movimiento se concentra en la

parte posterior del cuerpo y la cola volviéndolos más rápidos que especies más sedentarias, además de compartir muchas adaptaciones morfológicas con los atunes, incluyendo una forma de cuerpo fusiforme y una tasa metabólica relativamente más alta que otros peces pelágicos (Clark and Seymour, 2006; Pirozzi and Booth, 2009).

La carne del jurel es apreciada por su calidad, color brillante y textura firme, por lo general alcanza un precio de mercado mucho mayor en comparación con otras especies cultivadas como *Pagrus major*, que es una especie altamente valoradas en Japón (Nakada, 2008). Dada sus características de rápido crecimiento, excelente eficiencia alimenticia, calidad de su carne y facilidad para adaptarse al cautiverio, hacen que el cultivo de esta especie sea considerado atractivo e interesante para la industria acuícola nacional.

1.3. Cultivo

El cultivo de jurel aleta amarilla Japonés (*Seriola quinqueradiata*) comenzó en Japón en la década de los años 70 y actualmente se producen más de 160,000 toneladas anuales de la acuicultura, lo cual representa más de cuatro veces la producción pesquera de esta especie en ese país (Nakada, 2000). Con esto Japón tiene el 80% de la producción mundial de jurel por medio de la acuicultura.

En Australia, *S. lalandi* forma la base de una creciente industria de cultivo de peces marinos, esta especie se cultiva al sur de Australia en el golfo de Spencer, en donde se produjeron 45 toneladas de jurel aleta amarilla entre 1999/2000 (Fowler, *et al.* 2003), en 2004-2005 aumentó a 2,000 t, un par de años después produjeron cerca a las 4,000 t por año. Se espera que la industria continúe creciendo (Fernandes and Tanner, 2008) (Hutson, *et al.* 2007).

En México la captura de *S. lalandi* y *S. rivoliana* alcanzó la cifra de 2000 t, de las cuales el 64% de la producción nacional fue aportada por los estados de Baja California y Baja California Sur. Sin embargo estas capturas no son suficiente para satisfacer el mercado nacional e internacional ya que tienen una demanda mucho mayor (Nakada, 2000).

A pesar de que su cultivo en nuestro país es reciente con apenas una década, para el año 2010 se tenían registradas cuatro unidades de producción acuícola que operaban a nivel comercial y un laboratorio en fase comercial para la producción de crías en la Península de Baja California (Carta Nacional Acuícola, 2012). Aun cuando se encuentra en fase desarrollo, el jurel representa la segunda industria más importante de cultivo de peces marinos en México, superada únicamente por la industria atunera (Montes, 2007). Por lo cual es considerada una especie con gran potencial para el cultivo de peces marinos en México y con altas expectativas de crecimiento (Lazo *et al.*, 2007). Actualmente el 95% del cultivo de engorda de jurel se hace en jaulas flotantes, la cual representa más del 95% del total. Otras modalidades de cultivo son los encierros con red fija y el cultivo en estanques (Montes, 2007). De acuerdo a las zonas de cultivo (i.e, Ensenada, Bahía Magdalena, La Paz, Bahía Kino) las temperaturas a las cuales se cultiva pueden variar desde los 14°C hasta los 28°C (Lazo, *et al.* 2014).

.

1.4. Temperatura

Los peces, en general, son animales ectotermos que no regulan su temperatura corporal, fluctuando directamente con relación a la temperatura del agua. Entre los principales factores ambientales que influyen en el comportamiento de estos organismos acuáticos se encuentran la temperatura, luz, oxígeno disuelto y salinidad. La temperatura ambiental es el factor extrínseco más importante que influye directamente en las funciones metabólicas de los organismos (el crecimiento y el comportamiento), modifica poblaciones (el tamaño y la estructura), la tasa de consumo, el proceso de digestión, la actividad enzimática y el metabolismo (Barber *et al.*, 1983).

Hochachka y Somero (2002) mencionan que existe una relación directa entre la temperatura y la tasa metabólica, la cual está fuertemente ligada a la dependencia de la temperatura en las reacciones enzimáticas. Es así que los animales acuáticos presentan una tasa metabólica baja en los ambientes templados, y la cantidad de calor es tan pequeña que no genera un efecto sobre su temperatura corporal (Hill, 2007).

En diversos estudios se ha mencionado la importancia del intervalo térmico favorable, donde las actividades fisiológicas de los organismos se desarrollan óptimamente (Despatie *et al.*, 2001). En la naturaleza, las diferentes especies de peces tienden a buscar una temperatura cercana a su temperatura óptima para el crecimiento, sin embargo cuando un pez marino de hábitos carnívoros se cultiva en aguas donde la temperatura cae fuera de su intervalo óptimo, el crecimiento se verá afectado. Las fluctuaciones de la temperatura pueden influir en el metabolismo basal. La energía disponible para el crecimiento resulta de la diferencia entre la energía asimilada y la de mantenimiento, dentro del intervalo tolerable de temperaturas. A bajas temperaturas, la demanda de la ración de mantenimiento se reduce, permitiendo que una fracción mayor de la ración disponible se convierta en crecimiento (Brett, 1979; Bowyer *et al.*, 2013c). La interacción alimento-medio ambiente es importante para la optimización de los requerimientos nutricionales de los peces durante todo el período de crecimiento.

En años recientes, se ha dedicado un esfuerzo importante al estudio de los efectos de la temperatura y búsqueda del óptimo para el crecimiento del jurel *Seriola lalandi*. Abbink *et al.* (2011) estudiaron el efecto de cinco temperaturas de cultivo en un sistema de recirculación (i.e., desde 21°C hasta 29°C) sobre el crecimiento y las respuestas fisiológicas y observaron, obteniendo que a 26.5°C se optimizó el crecimiento. Estudios similares han evaluado temperaturas de 18°C a 22°C y han obtenido los mejores crecimientos a 22°C (Bowyer *et al.*, 2013a; 2013b; Bowyer *et al.*, 2012).

1.5 Digestión en peces marinos

Los peces en general presentan un aparato digestivo tubular que comienza en la boca y termina en el ano, el cual, de acuerdo a Sanz (2009) se puede dividir en cuatro zonas bien diferenciadas: a) cavidad oral (bucal) que se encuentra asociada a la cavidad faríngea o branquial, b) zona anterior compuesta por el esófago, estómago y píloro; c) zona media compuesta por los ciegos pilóricos y el intestino próximo y medio y d) zona posterior compuesta por el recto (Figura 2).

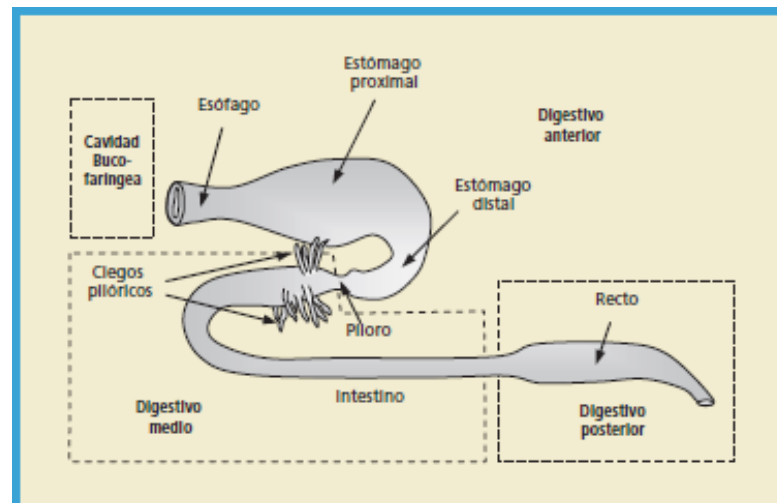


Figura 2. Esquema del tracto digestivo de un pez (Sanz, 2009).

El proceso de digestión de los alimentos se lleva a cabo por procesos mecánicos y químicos, en donde éste último intervienen un conjunto de enzimas digestivas las cuales son producidas en distintos órganos como el estómago, páncreas y las paredes celulares del intestino. Estas últimas se encuentran presentes en distintas partes del tubo digestivo para llevar a cabo su función (Zambonino-Infante and Cahu, 2001).

Las enzimas digestivas se encargan de la degradación de los nutrientes, por lo que lo reducen a moléculas más simples (i.e., péptidos o amino ácidos y ácidos grasos) para su mejor absorción y posterior utilización como sustratos en los procesos metabólicos y síntesis de proteína para el crecimiento. El intestino y los ciegos pilóricos son los órganos se llevan a cabo la mayor parte de los procesos químicos que concluyen en la digestión total de los alimentos (Zambonino-Infante and Cahu, 2001).

Aunque evolutivamente las enzimas digestivas entre las diferentes clases de animales conservan muchas características en su mecanismo de acción, en peces presentan ciertas diferencias. Uno de los principales factores que determinan estas diferencias es el carácter poiquiloterma de estos animales, por lo que la temperatura es el principal factor ambiental que afecta el proceso de adaptación de estos organismos (Krietajansson and Nielsen, 1992). La actividad enzimática puede variar de acuerdo con la edad del pez, el tiempo después de la alimentación, estado fisiológico y estación del año. Cada enzima digestiva presenta un intervalo de pH y

temperatura óptimos, fuera de él su actividad se ve negativamente afectada. (Glass *et al.*, 1989).

Las proteasas son el grupo más importante de enzimas digestivas, ya que son las encargadas de la hidrólisis de las proteínas, componente principal de la dieta en los peces carnívoros. Además de estar implicadas en procesos de digestión también tienen otras funciones como la activación de proenzimas y pre hormonas. Las proteasas se clasifican en: endopeptidasas y exopeptidasas. Las endopeptidasas actúan sobre los enlaces peptídicos internos de las proteínas. Por otro lado las exopeptidasas son las encargadas de romper los enlaces peptídicos situados al final de la cadena polipeptídica, en el extremo amino o carboxilo, aportando así aminoácidos libres, dipéptidos y tripéptidos (Rustad, 2003). Los aminoácidos y péptidos liberados por la digestión de las proteínas y absorbidos por el intestino son utilizados por el organismo para la reconstrucción de tejidos dañados, síntesis de nuevas proteínas (tejido muscular) y como fuente de energía, entre otros procesos metabólicos (Shiau, 1998).

En el estómago de los peces se lleva a cabo una actividad proteolítica importante, en donde destaca la pepsina, que se secreta en forma de pepsinógeno (forma inactiva) y es activada en un medio ácido, gracias al ácido clorhídrico (Sanz, 2009). Una vez que las proteínas ingeridas son digeridas en el estómago por la pepsina, el alimento pasa al intestino para una digestión adicional gracias a la acción de endo y exopeptidasas que son producidas por el páncreas y vertidas al lumen donde actúan a un pH alcalino. Entre ellas están la tripsina, quimiotripsina, elastasa, carboxypeptidasas y aminopeptidasas.

Las lipasas son las enzimas encargadas de llevar a cabo la hidrólisis de los lípidos contenidos en el alimento liberando principalmente ácidos grasos y glicerol. En la mayoría de las especies, la hidrólisis lipídica en la digestión se localizan por lo general, en la región del intestino proximal y ciegos pilóricos (Gisbert *et al.*, 1999). La digestión de los lípidos y su posterior absorción son de suma importancia ya que constituyen una fuente importante de energía. Así mismo los ácidos grasos productos de la digestión de los lípidos forman parte integral de las membranas celulares y tejido nervioso así como también pueden ser precursores de hormonas, entre otros compuestos orgánicos (Sargent, *et al.* 1995; Murray, *et al.* 2003).

La lipasa dependiente de sales biliares (LDSB) es la más importante en los peces teleósteos (Gjellesvik, 1992), es secreta por el páncreas y activada con las sales biliares que provienen de la vesícula biliar. Ésta es una enzima que cataliza la hidrólisis de los enlaces ester de triglicéridos (esterasa). Las sales biliares cumplen además con la función de emulsificar las grasas (colesterol, vitaminas A, D y E) para aumentar su superficie, haciéndolos más accesibles al sitio activo de la enzima y forman micelas que favorecen la absorción de los productos de la digestión (Higgs y Dong, 2000). Debido al carácter hidrófobo de los lípidos, la emulsificación es un aspecto fundamental para su digestión.

Los carbohidratos incluidos en la dieta son digeridos por las amilasas producidas principalmente en el páncreas, dando lugar a oligosacáridos que a su vez son digeridos por otras glucosidasas y disacaridasas (Sanz, 2009). Los peces son generalmente considerados poco aptos para digerir polisacáridos, aunque en todas las especies estudiadas se ha puesto en evidencia una actividad tipo amilasa que tiene origen pancreático (Sabapathy and Teo, 1993). Muchos autores sugieren que en un pez carnívoro sólo se secreta una limitada cantidad de amilasa y, por lo tanto, su actividad está restringida a digerir sólo pequeñas concentraciones de almidón (Furné, 2008)

Las carbohidrasas llevan a cabo la hidrolisis de los hidratos de carbono complejos en el estómago, intestino y ciegos pilóricos (Sabapathy and Teo, 1993). La principal carbohidrasa es la α -1-4 glucosidasa o α -amilasa, que se encuentra en el jugo pancreático de gran cantidad de animales ya que hidroliza indistintamente enlaces a lo largo de la cadena del polímero hidrocarbonado α 1-4 de la amilosa. Por su parte, la β -amilasa hidroliza los carbohidratos por el extremo no reductor y se restringe exclusivamente al reino vegetal (García-Meza, 2008). El pH óptimo de estas enzimas está próximo a la neutralidad, sin embargo Fernández *et al.*, (2001) indican la existencia de posibles isozimas con máximos de actividad a diferentes pHs.

Existen diversos estudios relacionados con la actividad enzimática de *Seriola lalandi*, de los cuales destaca la caracterización y descripción de la ontogenia del sistema digestivo en larvas (Chen *et al.*, 2006a) y la ontogenia de algunas enzimas digestivas (Chen *et al.*, 2006b). Así como también se ha caracterizado el perfil enzimático en larvas de jurel cola amarilla del Pacífico (*Seriola lalandi dorsalis*)

(Montes, 2007). En estudios más recientes Bowyer *et al.*, (2013a) estudiaron el efecto de la temperatura sobre la actividad enzimática de la tripsina, lipasa y amilasa en *Seriola lalandi*, y sus resultados indican que la temperatura de 22°C tiene un efecto significativamente mayor respecto a 18°C sobre la actividad de estas enzimas en ciertas zonas del intestino.

1.6. Digestibilidad

El valor nutritivo del alimento no se basa únicamente en su composición química, sino también de la cantidad de los nutrientes que los peces pueden digerir, absorber y utilizar. La digestibilidad se puede definir como la biodisponibilidad de los nutrientes en el alimento, por lo que se considera una forma de medir el aprovechamiento de un alimento, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias adecuadas para la digestión y su posterior absorción.

La estimación de la digestibilidad se basa en la medición de la porción de un nutriente en el alimento que no fue digerido y absorbido durante su tránsito por el tracto digestivo, y que finalmente es excretado como parte de la materia fecal (Bureau *et al.*, 2002). Luego, la porción digerida y absorbida es calculada por la diferencia entre el nutriente ingerido y el excretado. Esta porción del nutriente biodisponible se expresa como el Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA). Este puede variar con respecto a muchos factores, tales como, la especie, el tamaño y la edad de los animales, tipo de alimento, método de elaboración, parámetros ambientales como la temperatura, las interacciones con otros ingredientes o nutrientes en las dietas (Stickney, 2000).

Existen varias técnicas para llevar a cabo la recolección de heces fecales para la estimación del CDA que van desde la colecta de heces por presión manual del área rectal o “stripping” (Nose, 1960), succión anal o disección intestinal (Aguado *et al.*, 2004), o la simple recolección de las heces fecales de los tanques de experimentación con un sifón.

Algunos estudios en peces del género *Seriola* han evaluado la digestibilidad de la dieta y los nutrientes. Masumoto (1996) evaluó la digestibilidad aparente de

diferentes harinas de origen animal y vegetal en el Jurel Japonés (*Seriola Quinquerradiata*). Los valores de CDA obtenidos en este estudio van desde 49.7 % para el gluten de maíz hasta 95.4% para la caseína. Así mismo, recientemente en *Seriola lalandi* se evaluó la digestibilidad aparente de las proteínas, lípidos y energía, a diferentes temperaturas (18 y 22°C) y con diferentes niveles de inclusión de soya (0, 20, 30, 40%) y de manera general se observó la mejor digestibilidad con la mayor temperatura (22°C) y con la menor inclusión de soya (20%) (Bowyer *et. al.*, 2013a, 2013b).

1.7 Justificación

El jurel cola amarilla es una especie con gran potencial acuícola debido a su rápido crecimiento y facilidad con la que se adapta al cautiverio. Actualmente su cultivo se realiza en jaulas marinas donde los organismos están expuestos a cambios de temperatura. *Seriola lalandi* se puede clasificar como una especie euriterma ya que tolera un amplio intervalo de temperaturas (i.e. 14-28°C) (Bowyer *et al.*, 2013c).

En México esta especie se cultiva en distintas regiones del Pacífico desde Ensenada, B.C., Bahía Magdalena y la Paz, B.C.S, donde la temperatura puede fluctuar de 10-28°C. La temperatura es el principal factor extrínseco que afecta el crecimiento, actividad enzimática y el metabolismo, entre otras variables fisiológicas. Por lo que es necesario evaluar un rango de temperaturas sobre los organismos en cultivo y comprender la interacción entre las necesidades nutricionales y fisiológicas y sus limitaciones para maximizar el crecimiento y la producción

Capítulo 2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la temperatura sobre el crecimiento, eficiencia alimenticia, actividad de las enzimas digestivas y digestibilidad de la dieta en juveniles de jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*).

2.2. Objetivos específicos

Evaluar el efecto de tres temperaturas (i.e., 22°C, 25°C y 28°C) sobre el crecimiento, tasa de conversión alimenticia y supervivencia de los juveniles de jurel cola amarilla.

Evaluar la eficiencia de retención de nutrientes en el músculo en juveniles de jurel cola amarilla cultivados a diferentes temperaturas.

Evaluar el efecto de distintas temperaturas sobre la digestibilidad del alimento y de las proteínas en juveniles de jurel cola amarilla.

Comparar el efecto de distintas temperaturas sobre la actividad de las proteasas, amilasas y lipasas en el tracto digestivo de juveniles de jurel cola amarilla.

Capítulo 3. Hipótesis

A una temperatura de 25°C se logrará un mejor crecimiento, una mejor eficiencia alimenticia y una mayor digestibilidad de los nutrientes en juveniles de jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*) comparado con 22 y 28°C.

Capítulo 4. Materiales y métodos

4.1. Obtención de los organismos para el bioensayo

Los juveniles fueron cultivados desde huevos obtenidos de desoves espontáneos de reproductores mantenidos en cautiverio en las instalaciones de Hubbs-Sea World Resarch Institute en San Diego California y cultivados en las instalaciones de Ocean Baja Labs, en Eréndira, B.C. Se recibieron un total de 150 organismos, amablemente donados por la Empresa Ocean Baja Labs con un peso promedio de 250 g. Se mantuvieron con una dieta comercial (Alimentos Súper, Guadalajara, Jalisco) para peces marinos con un contenido de 45% de proteína, 12.7% de lípidos y 4.3% de cenizas.

4.2. Sistema experimental

El bioensayo se realizó en un sistema de recirculación, el cual contó con 9 tanques de fibra de vidrio con una capacidad de 480 L, el cual fue provisto de agua de mar, con una la salinidad de 35 UPS, con un fotoperiodo 12:12 y la temperatura del agua fue controlada por calentadores sumergibles de titanio para mantener una temperatura de 22, 25 y $28 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ según el tratamiento. Se utilizaron tres repeticiones por tratamiento. Los niveles de oxígeno disuelto en los tanques se mantuvieron superiores al 80% de saturación de oxígeno.

En cada tanque se colocaran 11 juveniles con un peso promedio de 261 g. La frecuencia de alimentación fue de 2 veces al día (9:00 y 14:00 horas) y se alimentó a saciedad aparente en cada ocasión. El bioensayo tuvo una duración de 57 días.

4.3. Evaluación del crecimiento

Para estudiar el crecimiento de los peces durante el bioensayo se realizaron biometrías cada 15 días registrando el peso (g AND, Modelo SK-2000WP) y longitud total (cm) individual. Los juveniles de jurel fueron anestesiados con Metanosulfonato de tricaina (MS-222; 0.32 g·l⁻¹). En cada biometría se tomó una muestra representativa de 15 organismos por tratamiento.

4.3.1. Tasa específica de crecimiento

Para evaluar el efecto de la temperatura en el crecimiento se utilizaron los datos obtenidos de las biometrías y se calculó la tasa de crecimiento específica (TCE) mediante la siguiente fórmula:

$$TCE = \frac{\ln Pf - \ln Pi}{\text{Tiempo (días)}} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

lnPf: logaritmo natural del peso final

lnPi: logaritmo natural del peso inicial

4.3.2. Coeficiente térmico de crecimiento

Para estimar el coeficiente de crecimiento de unidades termales se utilizaron los datos obtenidos de las biometrías y se utilizó la siguiente formula:

$$TGC = \frac{Pf^{\frac{1}{3}} - Pi^{\frac{1}{3}}}{T \times D} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

Pf: Peso final

Pi: Peso inicial

T: Temperatura (°C)

D: Días

4.4 Eficiencia alimenticia

4.4.1. Tasa de conversión alimenticia

Se calculó la tasa de conversión alimenticia (TCA) para cada tratamiento con la siguiente ecuación:

$$TCA = \frac{\text{Alimento consumido (g)}}{\text{Peso ganado (g)}} \quad (3)$$

4.4.2 Tasa de eficiencia proteica (TEP)

La tasa de eficiencia proteica (TEP) se calculó para cada tratamiento con la siguiente ecuación:

$$TEP = \frac{\text{peso ganado (g)}}{\text{alimento consumido (g)}} \quad (4)$$

4.4.3 Tasa de Conversión Proteica (TCP)

La tasa de conversión proteica (TCP) se calculó para cada tratamiento con la siguiente ecuación:

$$TCP = \frac{\text{proteína corporal final} - \text{proteína corporal inicial}}{\text{proteína consumida}} \times 100 \quad (5)$$

4.5 Supervivencia

La supervivencia (%) se estimó por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Supervivencia} = \frac{N_f}{N_i} \times 100 \quad (6)$$

Donde

Nf: Número final de organismos

Ni: Número inicial de organismos

4.6. Análisis químico proximal

Se analizó la composición química proximal de la dieta y el músculo de los organismos. Ambos se dejaron secar a 70°C por 24 horas y se molieron con un triturador comercial.

La cuantificación de proteínas, lípidos, humedad y cenizas se realizó de acuerdo a los siguientes métodos; el contenido de proteína por el método micro-Kjeldahl (Ma and Zuazago, 1942), lípidos totales por el método de Folch *et al.*, (1957), la humedad se calculó secando las muestras a 100°C por 4 horas. Posteriormente se procedió a la incineración de la materia orgánica a 490°C por 6 horas para estimar el contenido de cenizas (A.O.A.C., 1990). El extracto libre de nitrógeno se cuantificó por diferencia: (6)

$$ELN = 100 \% - (\% \text{ proteínas} + \% \text{ lípidos} + \% \text{ cenizas}) \quad (7)$$

4.7. Análisis enzimáticos

4.7.1 Preparación del extracto enzimático

Los organismos se mantuvieron sin alimento por un período de 24 horas para vaciar el intestino y se sacrificaron con una sobredosis de tricaina (MS-222) (n=2 organismos por tanque). Los organismos se diseccionaron como se muestra en la figura 3 (1), se les extrajo todo el tracto digestivo y se separó en diferentes regiones; el estómago, ciegos pilóricos e intestino (figura 3.3). La disección se realizó sobre una placa de vidrio congelada. Las muestras se homogenizaron con una solución PBS en una relación 1:5, con la ayuda de un homogeneizador de tejidos polytron (Kinematica AG, System PT1200C). Posteriormente se centrifugaron a 4500g (12300 rpm) durante 30 minutos a 4°C en una centrifuga Eppendor 5417 R. El sobrenadante se repartió en alícuotas de 1000 μ L y se almacenaron a -80°C hasta su análisis.

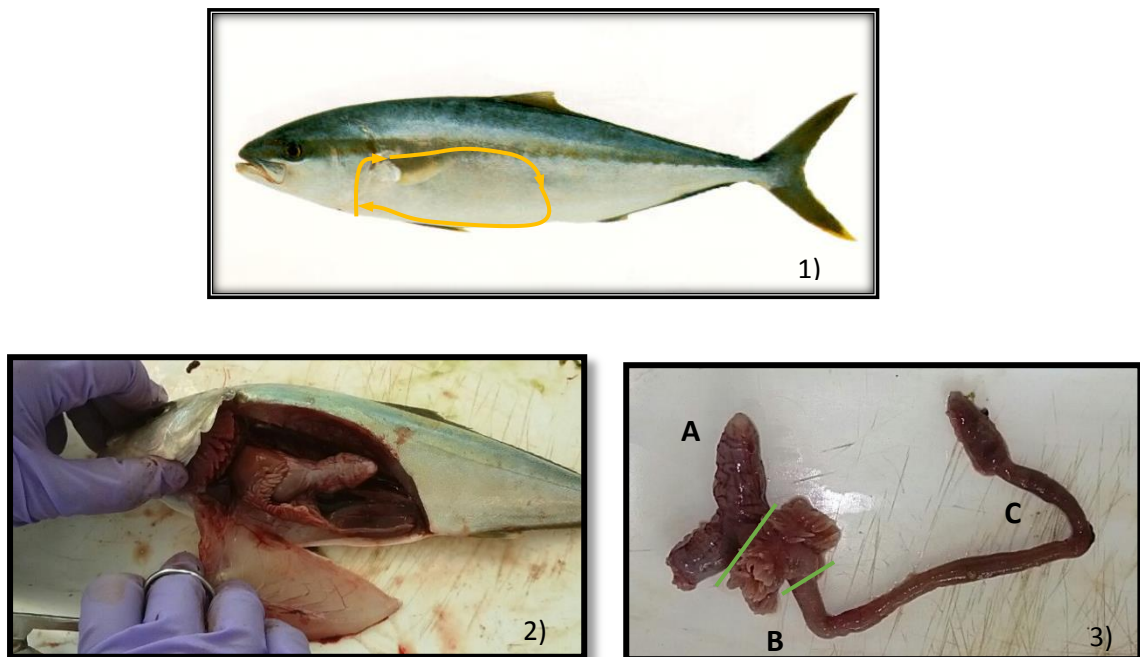


Figura 3. Disección de los organismos. Las flechas naranja indican la dirección en que se realizaron los cortes para la disección. En la sección A se observa el estómago, B los ciegos pilóricos, C el intestino.

4.7.2. Actividad de la pepsina

La actividad de la pepsina se cuantificó utilizando una modificación del protocolo establecido por Sarath *et al.*, (1989). Como sustrato se utilizó hemoglobina al 1% en buffer Glicina-HCl 0.2 M y pH 2.6. La reacción se llevó a cabo incubando 300 μ L de hemoglobina y 20 μ L de extracto enzimático a 37°C durante 60 min. Posteriormente se detuvo la reacción agregando 600 μ L de ácido tricloroacético al 5%, se dejó reposar durante 30 min a 4°C. La proteína precipitada se eliminó por centrifugación a 13400 rpm durante 5 min. El sobrenadante fue leído en celdas de cuarzo a 280nm en un espectrofotómetro Jenway 6505 UV/Vis. Las lecturas fueron corregidas con un blanco y se utilizó pepsina comercial (SIGMA No. Cat P-7012) en una concentración de reacción de 10 μ g/ml como control. Todos los ensayos se realizaron por triplicado

4.7.3. Actividad de la tripsina

La actividad de tripsina se cuantificó utilizando la técnica espectrofotométrica, siguiendo el método sugerido por Erlanger *et al.*, (1961). Este método emplea como sustrato BAPNA 0.1 mM (Sigma-aldrich, St. Louis MO) y Buffer 50 mM Tris-HCl, 20 mM CaCl₂, pH 8.2. A 500 µL de sustrato se agregaron 25 µL de extracto, se mezclaron e incubaron a 30°C. Después de un período de incubación de 10 min a 35°C, la reacción fue detenida con 100 µL de ácido acético al 30% y se realizó la lectura de la absorbancia a 410 nm. Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

4.7.4. Actividad de la lipasa dependiente de sales biliares

Para cuantificar la actividad de las lipasas dependiente de sales biliares (L-DSB) se siguió el método descrito por Juárez-Casillas (2009) de acuerdo a Gjellesvik (1992) pero modificando el sustrato 4-nitrofenil-caproato a 0.35mM por el 2-nitrofenil miristato (Sigma Cat. N2377-1G) a 0.50mM. Se utilizaron las mismas condiciones de reacción; solución amortiguadora pH 7.4 de Tris a 0.5 M, taurocolato de sodio a 6 mM y cloruro de sodio (NaCl) a 100 mM.

El método se adaptó para realizar las mediciones en un lector de placas Beckman Coulter AD 200. Se agregaron 50 µL del extracto enzimático a cada pozo y para iniciar la reacción se agregaron 250 µL del buffer ya mezclado con el sustrato. Como blanco de reacción se agregó agua destilada en lugar de extracto enzimático y para el control positivo se usó lipasa pancreática porcina a 1.0 mg/ml (Sigma Cat. L3126). Se registró la absorbancia de la reacción a una longitud de onda de 400 nm, cada minuto por una hora a 30°C de temperatura. Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

4.7.5. Actividad de la amilasa

La actividad de la amilasa se realizó según la metodología descrita en el manual de análisis enzimáticos de la Worthington Biochemical Corporation (Manual I.U. B.:3.2.1.1.). Se colocaron 100 µL de extracto enzimático dejándolo estabilizar durante 3 minutos a 25°C, posteriormente se agregaron 400 µL de almidón y se dejó

por 3 minutos a la temperatura deseada. Se detuvo la reacción agregando 1 mL de ácido dinitrosalicílico e incubando por 5 minutos a baño María a punto de ebullición. Se dejó enfriar a temperatura ambiente y se añadió 10 mL de agua destilada. Se registró la absorbancia a 540 nm en un espectrofotómetro Jenway 6505 UV/Vis. Las lecturas fueron corregidas con un blanco y se utilizó amilasa (Sigma Cat. A3176) como un control positivo. Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

Cálculo de la actividad total y específica:

La concentración de proteína soluble en los homogenizados se cuantificó por el método de Bradford (BIO RAD, Protein assay; Hercules, CA, U.S.), empleando suero de albúmina bovina (BIO RAD, U.S.) como estándar. Todos los ensayos fueron realizados por triplicado.

La actividad enzimática se expresó como actividad total (U/Larva) y actividad específica (U/mgP, mg de proteína), donde 1 U de actividad enzimática se definió como el incremento de 0.1 unidades de absorbancia por minuto para lipasa, 1 unidades de absorbancia por minuto para amilasa y 10 unidades de absorbancia por minuto para tripsina y pepsina.

Los valores reportados son la media de tres mediciones de muestras independientes. La actividad total se calculó usando la siguiente fórmula:

$$U/PeZ = \left[\frac{\Delta \text{ Abs/min}}{\text{Coef Ext}} * \frac{\text{Vol total de H } (\mu\text{l})}{\text{Vol de H utilizado } (\mu\text{l})} * \frac{\text{Vol de reacción } (\mu\text{l})}{\text{Vol de H utilizado } (\mu\text{l})} \right] \quad (8)$$

Donde:

Δ Abs/min: es el punto donde se registró la mayor absorbancia de cada muestra.

Coef Ext: 0.1 unidades de absorbancia por minuto.

Vol total de H: es el volumen total de agua destilada que se usó para homogenizar el intestino.

Vol de H utilizado: es la cantidad de homogenizado que se utilizó para la reacción.

Vol de reacción: es el volumen final de la reacción.

4.8 Digestibilidad aparente

La recolección de heces se llevó a cabo por el método de presión abdominal por un periodo de 15 días. El coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de la materia seca en el alimento y heces fue analizado por el método de cenizas insolubles en ácido de acuerdo a la técnica descrita por Tejada (1992) y modificada por Montañó-Vargas *et al.* (2002). La cual comprende el incinerar las muestras a 450°C durante 12 horas, acidificarlas con HCl 2N en ebullición, filtrar la solución resultante en filtro de fibra de vidrio GF/F previamente lavado, calcinado y pesado; y un enjuague final con agua caliente destilada. Los filtros con las muestras se secaron a una temperatura de 100°C durante 1 hora, pasado este tiempo se dejó enfriar y posteriormente se registró el peso de las cenizas. Para cuantificar el porcentaje de las cenizas insolubles en ácido clorhídrico (CIA) se utilizó la siguiente fórmula:

$$CIA (\%) = \frac{\text{Peso de cenizas insolubles (g)}}{\text{Peso muestra (materia seca g)}} \times 100 \quad (9)$$

Para calcular el coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca en la dieta se utilizó la siguiente ecuación:

$$CDA (\%) = 100 - \left(\frac{\% \text{ de cenizas insolubles en la dieta}}{\% \text{ de cenizas insolubles en las heces}} \right) \times 100 \quad (10)$$

Para calcular el coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína en la dieta se utilizó la siguiente ecuación:

$$CDA = 100 - 100 \frac{\% \text{ cenizas insolubles en la Dieta}}{\% \text{ cenizas insolubles en las Heces}} \times \frac{\% \text{ nutriente en las Heces}}{\% \text{ nutriente en la Dieta}} \quad (11)$$

4.9. Análisis estadístico

Se analizaron las medias de los datos de crecimiento en peso (g), la digestibilidad aparente, la tasa de consumo de alimento y el análisis químico proximal de las dietas y los organismos, utilizando una prueba de análisis de varianza (ANOVA) de una vía, con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$. Previo al análisis de varianza se realizó la prueba Kolomogorov-Smirnov para evaluar la distribución normal de los datos.

En aquellos casos en que se encontraron diferencia significativa entre las medias se aplicó la prueba *post hoc* de Tukey. Los valores expresados en porcentaje fueron transformados con la función arcoseno para que cumplieran con los supuestos del ANOVA. Todas las pruebas estadísticas se realizaron mediante el programa STATISTICA® versión 7.

Capítulo 5. Resultados

5.1. Crecimiento en peso (g)

No se encontraron diferencias significativas en la ganancia en peso (g) de los juveniles de jurel cola amarilla entre los tratamientos (Figura 4), sin embargo se puede observar que los juveniles mantenidos a 25°C obtuvieron una mayor ganancia en peso (359.2 ± 32.2) respecto a los otros tratamientos.

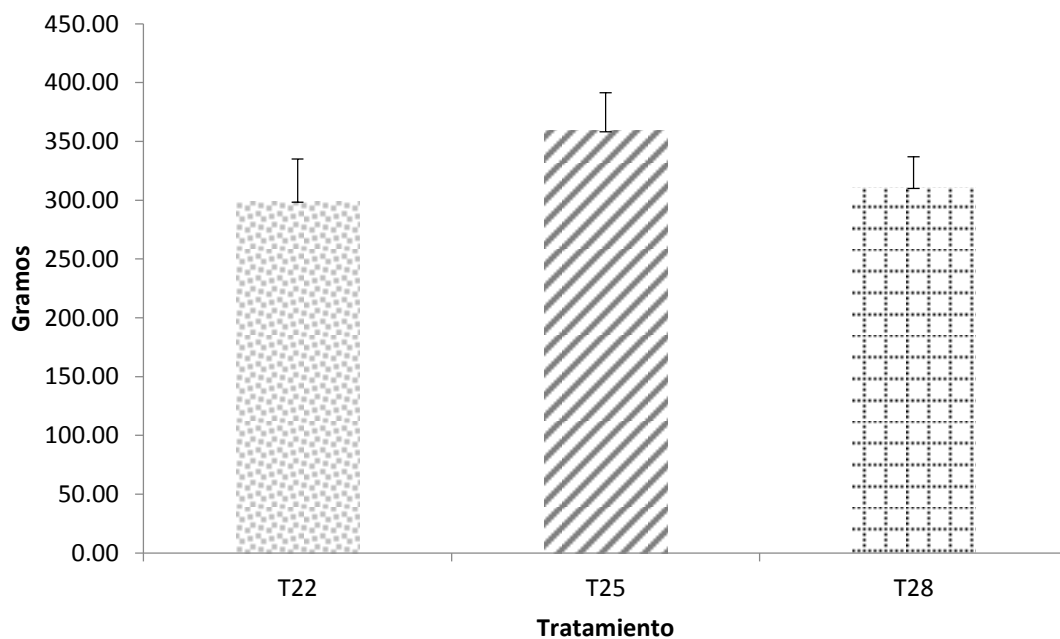


Figura 4. Peso ganado (g) ± desviación estándar (DE) de los juveniles de Jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*) mantenidos a tres temperaturas (22°C, 25°C y 28°C).

En la figura 5 se muestra la tendencia de crecimiento en peso de los organismos por tratamiento a lo largo de los 57 días de bioensayo, cada punto representa el promedio de 15 organismos para ese día de muestreo.

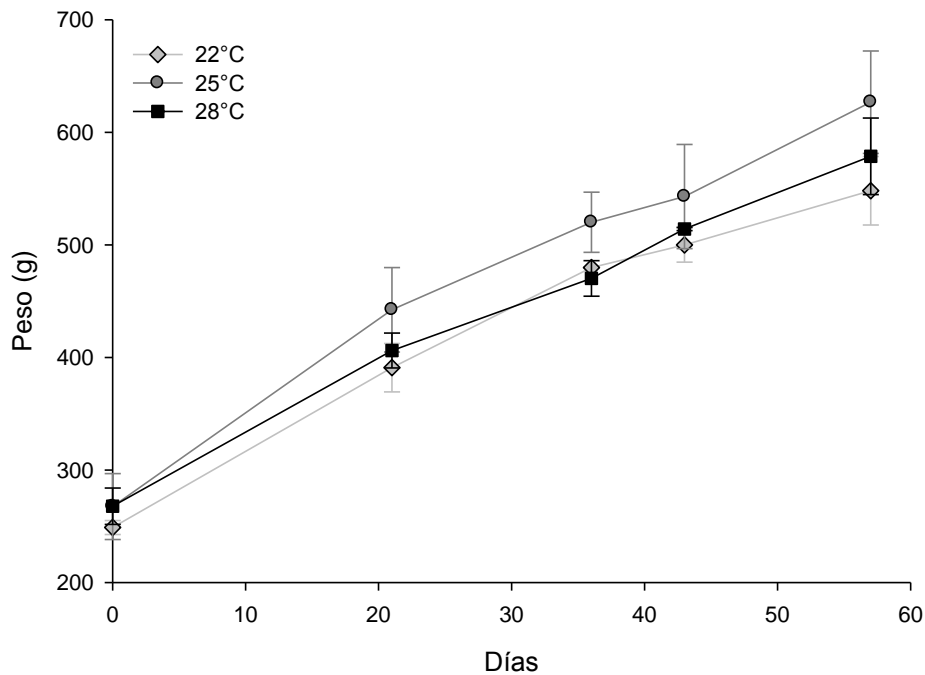


Figura 5. Crecimiento en peso (g) \pm desviación estándar (DE) de los juveniles de Jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*) mantenidos a tres temperaturas (22°C, 25°C y 28°C).

5.1.1 Tasa de crecimiento específico (TCE)

En los juveniles mantenidos a una temperatura de 25°C se observó el valor máximo de TCE (1.49 ± 0.14), mientras que el valor mínimo se encontró en los juveniles mantenidos a 28°C (1.35 ± 0.08). Sin embargo no se encontró diferencia significativa en los valores de la tasa de crecimiento específica (TCE) entre los tratamientos (Tabla 1).

5.2. Alimento consumido

No se encontraron diferencias significativas en el alimento consumido entre los tratamientos (Tabla 1). En general los juveniles mantenidos a una temperatura de 25°C consumieron más alimento (642.39 ± 21.35 g), seguido por los mantenidos a 28°C (606.01 ± 38.34 g) y 22°C (565.97 ± 2.64 g) respectivamente.

5.3. Supervivencia

Se observaron diferencias significativas en la supervivencia a los 57 días del bioensayo. Entre los tres tratamientos se registró la supervivencia más alta para el tratamiento de 25°C (97%), seguido por el tratamiento de 22°C, mientras que la mayor mortalidad se registró en el tratamiento de 28°C (61% ± 14.2) (Figura 6).

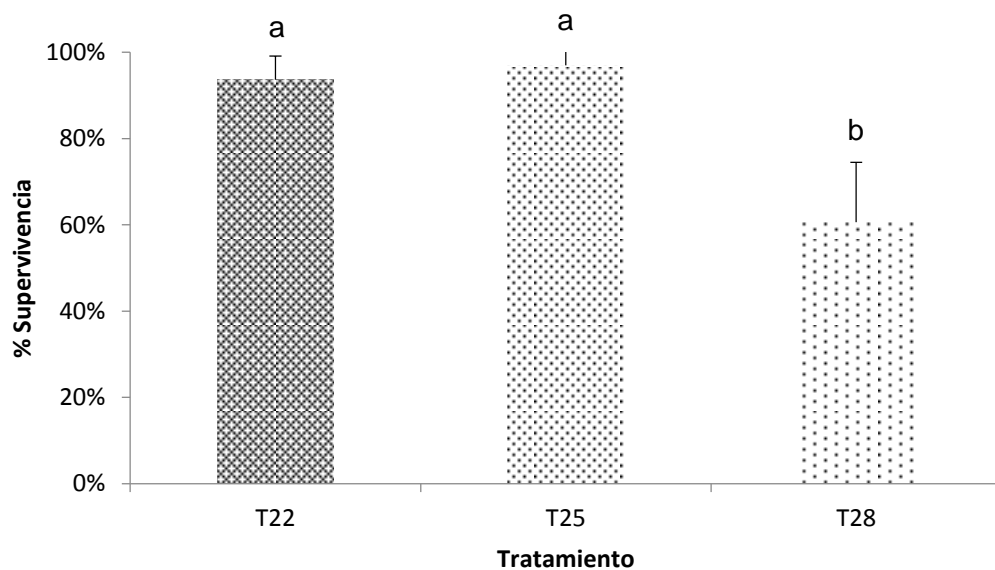


Figura 6. Supervivencia (%) ± desviación estándar (DE) de los juveniles de Jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*) mantenidos a tres temperaturas (22°C, 25°C y 28°C). Las letras distintas como superíndices indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

En la figura 7 se muestra la mortalidad registrada durante el bioensayo, los días 30 y 31 se llevó a cabo un tratamiento profiláctico con peróxido de hidrogeno para la eliminación de parásitos monogeneos. Días en los cuales se pudo observar una mortalidad alta (32%) en el tratamiento de 28°C.

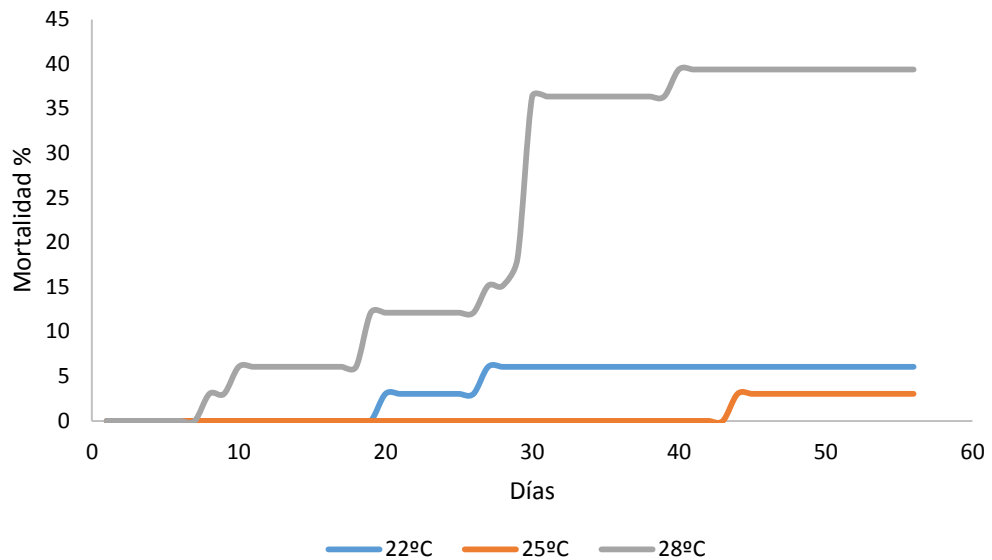


Figura 7. Mortalidad (%) \pm desviación estándar (DE) de los juveniles de Jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*) mantenidos a tres temperaturas (22°C, 25°C y 28°C).

5.4. Biomasa final

Al término de los 57 días del bioensayo se cuantificó la biomasa final de cada tanque experimental y se encontró que los tratamientos de 22 y 25°C no fueron diferentes entre sí, pero fueron significativamente mayores que el tratamiento de 28°C.

Tabla 1. Desempeño de los juveniles de *Seriola lalandi* (Jurel cola amarilla) mantenidos a tres temperaturas. Valores representan la media \pm DE, n=3. Las letras distintas como superíndices indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

	Tratamientos			P ANOVA
	22°C	25°C	28°C	
Peso final (g)	548.06 \pm 24.38	626.73 \pm 19.71	577 \pm 29.41	0.074
Ganancia en peso				
(g)	299.20 \pm 35.90	359.20 \pm 32.30	311.87 \pm 26.20	0.124
Supervivencia (%)	94 \pm 10 ^a	97 \pm 10 ^a	61 \pm 14.2 ^b	0.021
TCE (%peso día ⁻¹)	1.38 \pm 0.13	1.49 \pm 0.14	1.35 \pm 0.08	0.381
TGC (%)	0.15 \pm 0.01	0.14 \pm 0.01	0.12 \pm 0.01	0.081
Biomasa final	5484 \pm 688 ^a	6697 \pm 775 ^a	3860 \pm 955 ^b	0.013
Alimento				
Consumido (g)	565.97 \pm 2.64	642.39 \pm 21.35	606.01 \pm 38.34	0.184

5.5 Eficiencia alimenticia

La tasa de conversión alimenticia más alta se encontró en los peces cultivados a 25°C (TCA 1.80) y la menor a 28°C (1.96), sin embargo no resultaron con diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 2). De manera similar, en los juveniles mantenidos a una temperatura de 25°C se observó el valor máximo de la TEP (1.25 \pm 0.13), mientras que el valor mínimo se encontró en los juveniles mantenidos a 28°C (1.15 \pm 0.16). El menor valor de la TCP se encontró en el tratamiento de 28°C y el mayor a 22°C. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los valores de la tasa de crecimiento específica (TCE) entre los tratamientos (Tabla 2).

Tabla 2. Eficiencia alimenticia de los juveniles de *Seriola lalandi* (Jurel cola amarilla) mantenidos a tres temperaturas. Valores representan la media \pm DE, n=3.

	Tratamientos			P ANOVA
	22°C	25°C	28°C	
TCA	1.91 \pm 0.24	1.80 \pm 0.14	1.96 \pm 0.27	0.706
TEP	1.17 \pm 0.14	1.25 \pm 0.13	1.15 \pm 0.16	0.713
TCP	0.91 \pm 0.01	0.86 \pm 0.07	0.78 \pm 0.03	0.159

5.6. Digestibilidad aparente (%)

5.6.1. Digestibilidad aparente de la dieta

En la figura 8 se presentan los valores de la digestibilidad aparente (CDA %) de la materia seca de la dieta comercial a las tres diferentes temperaturas. No se encontraron diferencias significativas en la digestibilidad aparente entre los tratamientos, sin embargo se observó un ligero incremento en la digestibilidad conforme fue aumentando la temperatura de cultivo. El valor más alto se registró en el tratamiento a 28°C (43.9% \pm 4.9), mientras que el valor más bajo fue a 22°C (36.5% \pm 2.1).

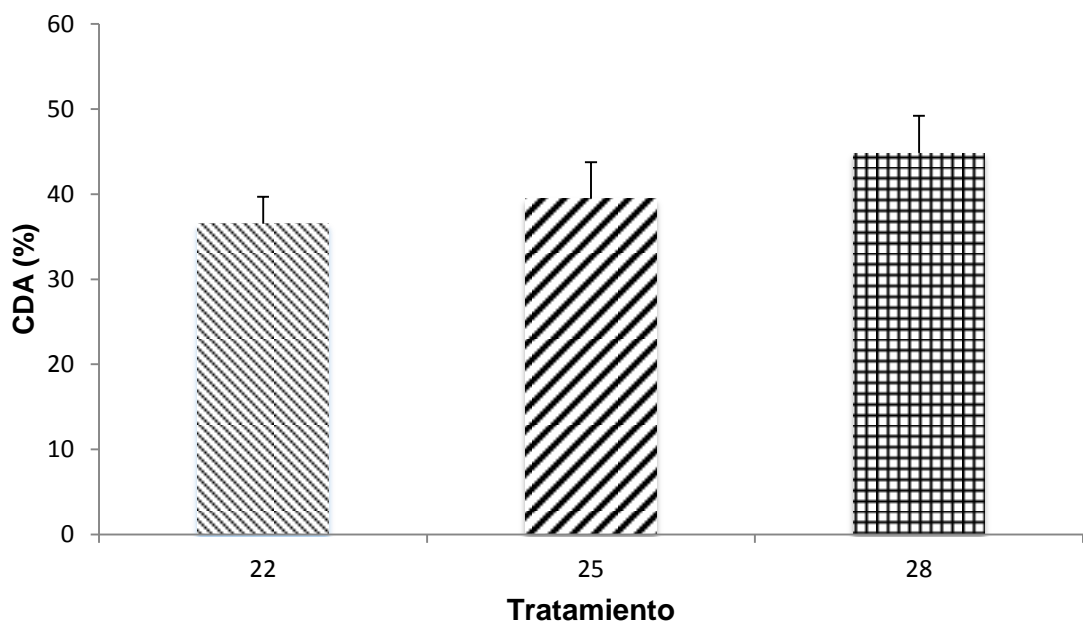


Figura 8. Digestibilidad aparente de materia seca de la dieta (%) \pm desviación estándar (DE) de los juveniles de Jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*) mantenidos a tres temperaturas (22°C, 25°C y 28°C).

5.6.2. Digestibilidad aparente de la proteína

No se encontraron diferencias significativas en la digestibilidad de la proteína de la dieta utilizada entre los tratamientos (Figura 9). Sin embargo el valor más alto se obtuvo en el tratamiento a 28°C ($63.3\% \pm 3.2$), mientras que el más bajo fue el tratamiento de 22°C ($58.1\% \pm 1.5$).

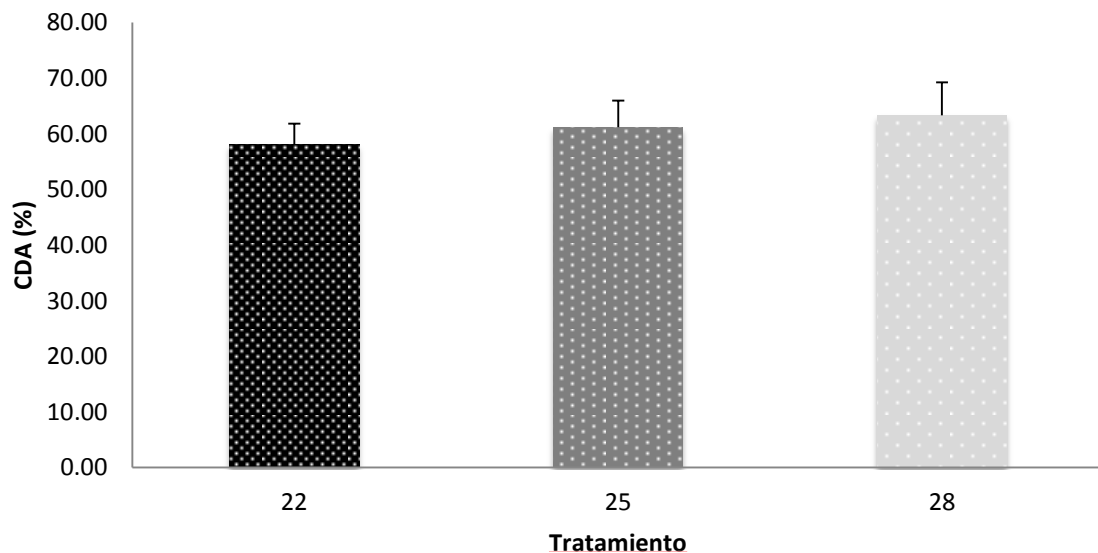


Figura 9. Digestibilidad aparente de la proteína (%) \pm desviación estándar (DE) de los juveniles de Jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*) mantenidos a tres temperaturas (22°C, 25°C y 28°C).

5.7. Composición proximal del músculo de Jurel cola amarilla

Se encontraron diferencias significativas en el contenido de lípidos en el músculo de los peces cultivados a diferentes temperaturas. Se cuantificó el contenido de lípidos siendo mayor en los juveniles mantenidos a 22°C ($8.82\% \pm 0.70$) y por el contrario el menor contenido a 28°C ($4.60\% \pm 0.82$) encontrado diferencias significativas entre estos tratamientos (Tabla 4). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en el contenido de proteínas, humedad y cenizas del músculo de los juveniles de Jurel (Tabla 4). En la tabla 3 se muestra la composición proximal del músculo al inicio del experimento como punto de referencia.

Tabla 3. Composición proximal (%) del músculo de Jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*) al inicio del experimento.

Proteínas	Lípidos	Humedad	Cenizas
72.80 ± 0.85	4.04 ± 0.14	73.05 ± 0.46	5.23 ± 0.02

Tabla 4. Composición proximal (%) del músculo de Jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*) mantenido a tres temperaturas. Los valores representan la media ± DE, n=3. Las letras distintas como superíndices indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

	Tratamientos			P ANOVA
	22°C	25°C	28°C	
Proteínas	75.13 ± 0.38	74.91 ± 0.20	75.24 ± 0.14	0.84149
Lípidos	8.82 ± 0.26 ^a	6.97 ± 0.62 ^{ab}	4.60 ± 0.21 ^b	0.00358
Cenizas	5.40 ± 0.07	5.24 ± 0.09	5.05 ± 0.07	0.11007
Humedad	71.59 ± 0.27	72.73 ± 0.30	71.86 ± 0.21	0.09912
ELN	10.65	12.88	15.11	

5.8. Actividad enzimática digestiva

5.8.1. Actividad específica

Se encontró un efecto significativo en la actividad específica de la pepsina cuantificada en los juveniles de jurel mantenidos a diferentes temperaturas (Tabla 5). La máxima actividad se registró en el tratamiento de 25°C (7.08 ± 0.53 U/μgP) y fue significativamente superior a los tratamientos de 22°C (4.42 ± 0.38 U/μgP) y 28°C (3.61 ± 0.20 U/μgP).

La actividad específica de la tripsina en el intestino de *Seriola lalandi* resultó con diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 5). Se encontró una actividad significativamente mayor de ésta enzima en el tratamiento de 28°C, mientras que la menor actividad se registró en el tratamiento a 22°C. En los ciegos pilóricos no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, pero a 25 y 28°C la actividad resultó mayor (0.144 ± 0.03 U/μgP) (Tabla 5).

La actividad específica de la lipasa en el intestino de *Seriola lalandi* no resultó con diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, en la tabla 5 se muestra un incremento en la actividad enzimática a 25°C, mientras que en el tratamiento de 28°C se registró la menor actividad. En los ciegos pilóricos se registró una actividad muy similar entre los tratamientos, los cuales no reflejaron diferencias significativas entre ellos.

La actividad específica de la amilasa en el intestino de *Seriola lalandi* resultó con diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 5). Se registró un aumento gradual de la actividad de esta enzima conforme se incrementó la temperatura de aclimatación, en el tratamiento de 28°C se registró la mayor actividad. No se encontraron diferencias significativas en la actividad específica de esta enzima en los ciegos pilóricos entre los tratamientos.

Tabla 5. Actividad específica (U μg^{-1} proteína) de la pepsina en el estómago, y de la tripsina, lipasa y amilasa en los ciegos pilóricos e intestino de juveniles de jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*) mantenido a tres temperaturas. Los valores representan la media \pm DE, n=3. Las letras distintas como superíndices indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

	Tratamiento			P ANOVA
	22°C	25°C	28°C	
Pepsina	0.44 \pm 0.13 ^{ab}	0.70 \pm 0.18 ^a	0.36 \pm 0.06 ^b	0.047
Tripsina				
Intestino	0.05 \pm 0.01 ^b	0.06 \pm 0.04 ^b	0.15 \pm 0.01 ^a	0.008
Ciegos pilóricos	0.06 \pm 0.03	0.14 \pm 0.02	0.14 \pm 0.03	0.059
Lipasa				
Intestino	0.047 \pm 0.01	0.049 \pm 0.02	0.033 \pm 0.01	0.554
Ciegos pilóricos	0.067 \pm 0.007	0.066 \pm 0.008	0.071 \pm 0.004	0.680
Amilasa				
Intestino	0.168 \pm 0.06 ^a	0.226 \pm 0.01 ^{ab}	0.284 \pm 0.01 ^b	0.041
Ciegos pilóricos	0.067 \pm 0.02	0.066 \pm 0.04	0.066 \pm 0.01	0.999

Con el propósito de identificar diferencias en la capacidad digestiva del intestino y los ciegos pilóricos se realizó una comparación de la actividad de cada una de las enzimas analizadas. No se encontraron diferencias significativas entre las dos regiones para la actividad específica de la tripsina. Los datos de la actividad

específica de lipasa resultaron con diferencias significativas entre los ciegos pilóricos y el intestino (Tabla 6). Se encontró una actividad significativamente mayor de ésta enzima en los ciegos pilóricos a 28°C, mientras que a 22° y 25°C no se encontraron diferencias entre las regiones analizadas. La actividad de la amilasa fue significativamente mayor en el intestino que en los ciegos pilóricos (Tabla 6), sólo a 22°C no se encontró diferencia entre ambas regiones.

Tabla 6. Comparación de la actividad específica (U μg^{-1} proteína) de la tripsina, lipasa y amilasa, entre los ciegos pilóricos e intestino de juveniles de jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*) mantenido a tres temperaturas. Los valores representan la media \pm DE, n=3. Las letras distintas como superíndices indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

Enzima	Tratamiento	Intestino	Ciegos pilóricos	P ANOVA
Tripsina	22°C	0.05 \pm 0.01	0.06 \pm 0.03	0.892
	25°C	0.06 \pm 0.04	0.14 \pm 0.02	0.054
	28°C	0.15 \pm 0.01	0.14 \pm 0.03	0.550
Lipasa	22°C	0.047 \pm 0.01	0.067 \pm 0.007	0.136
	25°C	0.049 \pm 0.02	0.066 \pm 0.008	0.318
	28°C	0.033 \pm 0.01 ^a	0.071 \pm 0.004 ^b	0.012
Amilasa	22°C	0.168 \pm 0.06	0.067 \pm 0.02	0.066
	25°C	0.226 \pm 0.01 ^a	0.066 \pm 0.04 ^b	0.006
	28°C	0.284 \pm 0.01 ^a	0.062 \pm 0.01 ^b	0.001

5.8.2. Actividad total

La actividad total (Unidades por pez) de la pepsina en los juveniles de jurel no resultó con diferencias significativas entre los tratamientos, se registró la mayor actividad con el tratamiento de 25°C (31.17 \pm 5.69) (Tabla 7).

La actividad de la tripsina en el intestino de *Seriola lalandi* resultó con diferencias significativas (Tabla 7). En el tratamiento de 28°C (183.26 \pm 20.22 U Pez⁻¹) se encontró una actividad significativamente mayor de ésta enzima, mientras que la menor actividad se registró en el tratamiento de 22°C (71.16 \pm 19.27 U Pez⁻¹). De manera similar, la actividad de la tripsina en los ciegos pilóricos resultó mayor con los tratamientos de 25 y 28°C. En el tratamiento de 22°C (96.99 \pm 26.21 U Pez⁻¹) se

registró una actividad significativamente menor con respecto a los otros tratamientos (Figura 9 b).

La actividad total de la lipasa en el intestino y los ciegos pilóricos de *S. lalandi* no mostró diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 7). Sin embargo, se registró un aumento gradual conforme aumento la temperatura, con el tratamiento de 28°C se registró la mayor actividad en ambos casos.

La actividad total de la amilasa en el intestino de *Seriola lalandi* no resultó con diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo en el intestino se observó un aumento gradual de la actividad de esta enzima conforme incrementa la temperatura (Tabla 7), con el tratamiento de 28°C se registró la mayor actividad (331.88±81.19). En los ciegos pilóricos se observó la misma tendencia siendo el tratamiento de 22°C (141.07±103.96) el que registró la menor actividad. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 7. Actividad total (U pez⁻¹) de la pepsina en el estómago y de la tripsina, lipasa y amilasa en los ciegos pilóricos e intestino de juveniles de jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*) mantenido a tres temperaturas. Los valores representan la media ± DE, n=3 Las letras distintas como superíndices indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

	Tratamiento			P ANOVA
	22°C	25°C	28°C	
Pepsina				
Estómago	163.13±8.63	181.77±38.95	137.39±18.86	0.182
Tripsina				
Intestino	71.16±19.27 ^b	72.52±44.63 ^b	183.26±20.22 ^a	0.005
Ciegos pilóricos	96.99±26.21 ^b	432.43±103.90 ^a	527.19±26.29 ^a	0.003
Lipasa				
Intestino	40±18.39	56.21±27.20	57±27.20	0.612
Ciegos pilóricos	143±34.65	200.41±25.97	247±76.47	0.115
Amilasa				
Intestino	199.96±39.47	258.56±23.15	331.88±81.19	0.063
Ciegos pilóricos	141.07±103.96	208.82±170.73	247.15±102.26	0.061

Con el propósito de identificar si existen diferencias en la actividad de las enzimas entre el intestino y los ciegos pilóricos se hizo una comparación de la actividad de cada una de las enzimas analizadas. La actividad total de la tripsina resultó con diferencias significativas entre los ciegos pilóricos y el intestino (Tabla 8). Se encontró una mayor actividad de ésta enzima en los ciegos pilóricos a 25 y 28°C, mientras que a 22°C no se encontró diferencia entre las dos regiones. La actividad de la lipasa fue significativamente mayor en los ciegos pilóricos que en el intestino (Tabla 8), sólo a 22°C no se encontró diferencia entre estas regiones. No se encontraron diferencias significativas entre las regiones analizadas en la actividad total de la amilasa.

Tabla 8. Comparación de la actividad total (U pez^{-1}) de la tripsina, lipasa y amilasa, entre los ciegos pilóricos e intestino de juveniles de jurel cola amarilla (*Seriola lalandi*) mantenido a tres temperaturas. Los valores representan la media \pm DE, n=3. Las letras distintas como superíndices indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Enzima	Tratamiento	Intestino	Ciegos pilóricos	P ANOVA
Tripsina	22	71.16 \pm 19.27	96.99 \pm 26.21	0.892
	25	72.52 \pm 44.63 ^a	432.43 \pm 103.90 ^b	0.005
	28	183.26 \pm 20.22 ^a	527.19 \pm 26.29 ^b	0.010
Lipasa	22	40 \pm 18.39	143 \pm 76.65	0.085
	25	56.21 \pm 27.20 ^a	200.41 \pm 25.97 ^b	0.003
	28	57 \pm 27.20 ^a	247 \pm 76.47 ^b	0.001
Amilasa	22	141.07 \pm 103.96	199.96 \pm 81.19	0.482
	25	258.56 \pm 23.15	208.82 \pm 170.73	0.644
	28	331.88 \pm 39.47	247.15 \pm 102.58	0.253

Capítulo 6. Discusión

6.1. Crecimiento

Uno de los retos más importantes para lograr un cultivo exitoso de peces es conocer las condiciones ambientales óptimas a las cuales se puede maximizar el crecimiento. En el presente trabajo, se evaluó el efecto de la temperatura bajo condiciones de cultivo de una especie con gran potencial para la acuicultura Nacional, el jurel cola amarilla. Como ya se mencionó anteriormente, la temperatura es el principal factor extrínseco que afecta el crecimiento, entre otras variables fisiológicas. El jurel, *Seriola lalandi*, puede ser clasificado como una especie euriterma ya que tolera un amplio intervalo de temperaturas (10 a 28°C) (Bowyer *et al.*, 2013c).

En el presente estudio se evaluaron tres temperaturas de cultivo (22, 25 y 28°C) típicamente encontradas en la zonas de cultivo de esta especie en México (Ensenada, B.C., Bahía Magdalena, y la Paz, B.C.S, respectivamente). A pesar de que no se encontraron diferencias significativas en las tasas de crecimiento, los resultados indican que a una temperatura de 25°C los organismos tienen una mayor ganancia en peso (359.2 ± 32.2) y una mejor supervivencia. Por lo que esto sugiere que 25°C es la temperatura próxima a la óptima para esta especie.

Este resultado concuerda con de Abbink *et al.* (2012) quienes evaluaron el efecto de la temperatura (21, 23.5, 25, 26.5 y 29°C) y el pH (6.58, 7.16 y 7.85) sobre el crecimiento de *Seriola lalandi* cultivado en un sistema de recirculación. Sus resultados indican que pH bajos (i.e., 6.58) tiene un efecto significativamente negativo en la supervivencia, mientras que el mejor crecimiento se dio a una temperatura de 26.5°C. Los autores atribuyen la disminución del crecimiento en la temperatura más alta evaluada a la reducción significativa del consumo de alimento, junto con un aumento en la demanda de energía a estas temperaturas (29°C). En el presente estudio, a pesar de que no se observó una diferencia significativa en el consumo de alimento consumido, se observó que a una temperatura de 28°C disminuye con respecto a 25°C (de 642 a 606 g). En *S. lalandi* y en otras especies de peces, se ha observado una disminución del apetito en temperaturas altas, a pesar de que este factor provoca un incremento en la demanda energética, lo cual

se ha atribuido entre otros factores, al estrés térmico. Por ejemplo, Pirozzi y Booth, (2009) experimentado con temperaturas fuera de su rango óptimo, observaron que el jurel cultivado a temperaturas altas incrementa su consumo de oxígeno, lo que supone un incremento en sus requerimientos metabólicos. Por su parte, Ahmad *et al.* (2014) reportan que aunque el incremento de la temperatura puede aumentar las tasas de crecimiento y la actividad metabólica, pero por lo general se observa una disminución en la tasa de consumo de alimento una vez que la temperatura sobrepasa un umbral superior al de la temperatura preferida.

En un estudio reciente, Bowyer *et al.* (2013c) evaluaron el efecto de tres temperaturas de cultivo (21, 24 y 27°C) y dos condiciones de concentración de oxígeno; hipoxia (<70%) y normoxia (>70%) sobre el crecimiento de *S. lalandi*. Sus resultados indican que bajo condiciones de hipoxia el crecimiento se ve afectado negativamente (independientemente de la temperatura) y en condiciones normales de oxígeno obtienen el mejor crecimiento a los 24°C (Bowyer *et al.* 2013c).

Por su parte, Orellana *et al.* (2013) cultivaron esta misma especie en un sistema de recirculación por 488 días a una temperatura promedio de 22.6°C con un peso inicial de 0.7g y un peso final de 2 kg. Los autores reportan una tasa de crecimiento específica alta (>8% peso/día) las primeras 5 semanas, sin embargo después de los 100 g de peso (10 semanas) esta disminuyó a valores <1.5% peso/día. Así mismo, registraron una tasa de crecimiento específico de 0.5% peso/día en organismos de 537 g. En contraste, en el presente estudio con organismos que llegaron a pesos de 548 g a una temperatura de 22°C, los valores fueron muy superiores alcanzando 1.38% peso/día. En otros estudios se han reportado tasas de crecimiento específico significativamente mayores de 7.76% peso/día a 24°C (Bowyer *et al.*, 2013c) y de 7.75% peso/día a 26.5°C (Abbink *et al.*, 2012). Lo cual difiere con los resultados reportados en el presente estudio, donde se registró una TCE de 1.49% peso/día a una temperatura de 25°C. Sin embargo, es importante mencionar que estos estudios utilizan organismos mucho más chicos, menores a 10 g, mientras que en el presente estudio el peso inicial de los organismos era de 260 g en promedio. Es bien sabido que las tasas de crecimiento disminuyen conforme los organismos crecen (NRC, 2011)

En el presente estudio no se observó un efecto significativo de la temperatura sobre la tasa de conversión alimenticia del jurel cola amarilla, el valor menor se registró a 25°C (1.80). En contraste, en otros estudios realizados con esta misma especie, si se encontraron diferencias significativas en la TCA, Abbink *et al.*, 2011 reportaron a 26.5°C una TCA de 0.88 la cual fue significativamente menor. Mientras que Bowyer *et al.*, 2013a y Bowyer *et al.*, 2013b a 22°C, registraron 0.92 sin encontrar diferencia significativa. Por su parte, Orellana *et al.* (2013) registraron una tasa de conversión alimenticia mayor (i.e., 2.5) con organismos de 537 g mientras que en el presente experimento resultó ser mejor con valores de 1.91 para tallas similares. Los autores mencionan que no se puede explicar los altos valores de la TCA de manera individual, sin embargo en el análisis de sus resultados concluyen que la densidad es un factor importante, ya que la TCA tiende a ser >2 en una densidad mayor a 50 kg/m³. Por su parte, Abbink *et al.* 2012 le atribuyen una mayor tasa de conversión alimenticia (i.e., menos eficiente) a las temperaturas más bajas (i.e., 21°C) ya que ocasionan una disminución de la actividad enzimática, en particular la de la proteasas, lo que también reduce la digestibilidad de la dieta y por lo tanto, el aprovechamiento. En *S. quinqueradiata* se han reportado valores de la TCA de 2.63 en un ensayo de 112 días en los que los organismos crecieron 365 a 759 g, y de 2.13 en un experimento que duró 182 días, con un crecimiento de 1190 a 3260 g, ambos experimentos realizados en jaulas marinas (Masumoto, 2002).

(Pirozzi and Booth, 2009) evaluaron la tasa metabólica de juveniles de jurel, *Seriola lalandi*, a seis temperaturas diferentes (desde 10°C hasta los 32.5°C), y a pesar de que no reportan datos de crecimiento observaron que el jurel tiene una gran demanda de oxígeno comparado con otras especies, esto es importante a considerar cuando se pretende realizar cultivos de esta especie a altas temperaturas, ya que se tendría que suministrar oxígeno puro para mantener los niveles adecuados para la especie. Se ha reportado un cambio importante en el comportamiento natatorio del jurel, bajo condiciones de hipoxia, sobre todo después de la alimentación. Ya que para satisfacer la creciente demanda de oxígeno, muchos peces como el jurel cola amarilla y el atún, incrementan su velocidad de nado, lo que les permite incrementar el flujo de agua que fluye a través de la boca y branquias aumentando el intercambio de gases con un consecuente aumento en el gasto de energía (Bowyer *et al.*, 2013d).

De acuerdo a Bendiksen *et al.* (2003) observaron que el salmón del atlántico expuesto a 8°C en un periodo de 6 meses los peces pueden llegar a crecer más del doble que a 2°C en el mismo periodo de tiempo, ya que a bajas temperaturas se reduce la tasa de consumo de alimento. Estos autores también reportan que los organismos cultivados a mayor temperatura y alimentados con una menor cantidad de lípidos (23%) crecieron más que los alimentados con un alto contenido de lípidos (33%). Lo que sugiere que los organismos alimentados con el alto contenido de lípidos acumulan más grasa corporal que los alimentados con los alimentos bajos en grasa. Así mismo dietas con una alto contenido energético pueden tener un efecto supresor del apetito en peces (NRC, 2011) lo que reduce las cantidades de nutrientes disponibles para el crecimiento. En este sentido es importante tomar en cuenta la relación:proteína: energía de la dieta, ya que alimentos con alto contenido de lípidos deben tener una alta relación de P:E, para compensar la disminución en el consumo de alimento. Sería interesante evaluar el crecimiento y eficiencia alimenticia de *S. lalandi* cultivado a altas temperaturas pero alimentados con dietas con una mayor cantidad de energía disponible (i.e., menor relación P:E).

6.2 Supervivencia

Los peces cultivados a 22 y 25°C registraron una alta supervivencia (94 y 97%) mientras que el tratamiento de 28°C presentó supervivencias significativamente menores (61%). Esto contrasta con otros trabajos de Bowyer *et al.* (2013d) con jurel, *Seriola lalandi*, en donde con una temperatura de 27°C se registró una supervivencia mayor al 95%. Estos autores indican que la supervivencia se vio afectada significativamente por la temperatura cuando los organismos se encuentran bajo condiciones de hipoxia, sin embargo este no fue el caso del presente estudio ya que se controló el oxígeno y siempre se mantuvo por arriba del 80% de saturación. Por su parte, Abbink *et al.* (2011) no reportaron diferencias significativas en la supervivencia por efecto de la temperatura. Sin embargo, ésta se vio afectada negativamente a pH bajos (6.58), aspecto que no ocurrió en el presente estudio en donde el pH se mantuvo a 7.4 ± 0.20 , por lo que este factor se puede descartar. Es probable que las mortalidades observadas en el tratamiento de 28°C, estuvieran asociadas a una infección parasitaria observada al final del primer mes del bioensayo, por lo que al día 31 se realizó un tratamiento profiláctico con peróxido de hidrógeno contra parásitos monogéneos. De acuerdo a Ernst *et al.* (2005) este

parásito tiene una alta tasa reproductiva y un tiempo de incubación menor a altas temperaturas por lo que se pudo desarrollar más rápidamente a 28°C y ocasionar mayor daño branquial y anemia a en los organismos cultivados a esta temperatura, lo cual se vio reflejado en las mortalidades más altas del tratamiento. Cabe mencionar que no se volvió a ver presencia del parásito en los días siguientes al tratamiento.

6.3. Digestibilidad aparente

En el presente estudio se estimó el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) y no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Los CDA para la dieta y la proteína a 28°C (43.9 y 68.3%, respectivamente) fueron mayores en ambos casos que el resto de los tratamientos. Conforme aumentó la temperatura aumentó la digestibilidad.

Miegel *et al.* (2010) estimaron los coeficientes de digestibilidad del alimento y de las proteínas en los juveniles de jurel en dos estaciones del año; invierno y verano (12.6 y 20.8°C, respectivamente) y observaron valores de 35 y 45% para la dieta y 67 y 70% para la proteína, para el verano e invierno respectivamente similares a los obtenidos en el presente estudio, sin embargo, ellos evaluaron el efecto de la temperatura, pero no encontraron diferencias significativas entre ellas. Los autores sugieren que la digestibilidad de los nutrientes puede disminuir aún más durante el invierno, cuando las temperaturas del agua son inferiores a los 12°C. Adicionalmente, los autores atribuyen los bajos valores de digestibilidad en ambas temperaturas, al método de recolección de heces que utilizaron (disección), ya que es probable que la quilo recogida en el intestino posterior por medio de la disección no estaba completamente digerida. Tomas *et al.* (2005) estudiaron el CDA de la proteína en *S. dumerili*, y reportan valores más altos, de 84-86%, donde las heces se recogieron por sedimentación después de ser expulsadas por el organismo.

Así mismo, Miegel *at al.* (2010) encontraron que en el jurel, la temperatura del agua tiene un efecto significativo en la duración del tránsito intestinal, determinando que a temperaturas de 12.6°C (invierno) el paso del alimento por el intestino toma de 36 a 48 horas mientras que a temperaturas de 20.8°C (verano) se reduce a un periodo de

12 a 16 horas. Además, en las temperaturas del agua más bajas se reduce el apetito del jurel, por lo que los nutrientes disponibles probablemente también se reduzcan.

En el jurel japonés se ha reportado que la digestibilidad aparente de las proteínas disminuyó de 84 a 69% cuando la temperatura del agua se reduce de 25 a 14°C. Sin embargo, con la misma disminución de la temperatura, la digestibilidad aparente de la proteína de peces alimentados con un alimento de mayor calidad no difirió significativamente y se mantuvo entre 85 a 90% (Sato *et al.*, 2004). Esto sugiere que el efecto de la temperatura sobre la digestibilidad de las proteínas es mayor cuando las proteínas no son de alta calidad. Sin embargo en el presente estudio no se evaluó el efecto de la calidad de la proteína y se utilizó la misma dieta para los tratamientos.

Por otra parte Bowyer *et al.* (2013b) evaluaron el coeficiente de digestibilidad aparente de las proteínas en juveniles de jurel cola amarilla (*S. lalandi*) a dos temperaturas 18 y 22°C y obtuvieron un CDA de la proteína significativamente mayor a 18 que a 22°C, de 77 y 72.1% respectivamente. A diferencia del presente estudio en el cual a una temperatura de 22°C se registró un CDA de 58.1% para la proteína. Los autores atribuyen la disminución del CDA al efecto negativo de las bajas temperaturas del agua sobre el consumo de alimento del jurel, pero la digestibilidad de las dietas puede haber aumentado debido al período prolongado de exposición del alimentos a la acción de las enzimas digestivas y al tiempo de absorción, a pesar de la reducción de la actividad enzimática como en el estudio de Miegel *et al.*, 2010.

Bowyer *et al.* (2013a) en un estudio similar evaluaron el coeficiente de digestibilidad aparente de las proteínas en juveniles de jurel cola amarilla (*S. lalandi*) pero utilizaron distintas inclusiones de extracto de soya (contenido: 50% de proteína y 12% de lípidos) y obtuvieron una mayor digestibilidad de la proteína a 22°C que a 18°C, con valores de CDA de 77.5 y 76.8% respectivamente, sin embargo no se registraron diferencias significativas. Estos datos son reportados para la dieta cuya fuente de proteínas fue únicamente la harina de pescado.

En el salmón del atlántico (*Salmo salar*) se ha reportado la digestibilidad de la proteína a 2 y 8°C, siendo significativamente mayor a 8°C con valores de CDA de 93% (Bendiksen *et al.*, 2003). Los autores mencionan que el bajo coeficiente de

digestibilidad a 2°C, se debe a la reducción de la actividad de las enzimas digestivas a bajas temperaturas. Sin embargo, Torrissen *et al.* (1992) identificaron isoenzimas de tripsina en el intestino del salmón del atlántico, las cuales tienen un mejor funcionamiento a bajas temperaturas por lo que el crecimiento, digestión y uso de las proteínas puede mejorar a temperaturas bajas.

6.4. Actividad enzimática digestiva

6.4.1 Pepsina

En el presente estudio la actividad específica de la pepsina se vio afectada por la temperatura, resultando una actividad significativamente mayor a 25°C, mientras que a 28°C la actividad se redujo. Para esta misma especie no se ha reportado la actividad de la pepsina evaluada a diferentes temperaturas. Sin embargo, en *Seriola quinqueradiata* se ha reportado una actividad de la pepsina significativamente mayor a 22-25°C comparada con los peces cultivados a 16-18°C (Morimoto, 2005). Los autores sugieren que a temperaturas bajas, un aumento de la secreción de pepsina en el estómago a temperaturas bajas puede mejorar la digestibilidad de la proteína y el crecimiento de los peces durante la temporada de invierno.

6.4.2 Tripsina

La actividad total ($U \text{ Larva}^{-1}$) y específica ($U \mu\text{g}^{-1}$ de proteína) de la tripsina en el presente estudio fue significativamente mayor a 28°C en ambas regiones del tracto digestivo medio (i.e., el intestino y ciegos pilóricos). Estos resultados concuerdan con los de otras investigaciones en el jurel cola amarilla, como el de Bowyer *et al.* (2012) reportan que en *S. lalandi* cultivado a 18 y 22°C, la actividad específica de la tripsina fue significativamente más baja a 18°C en los ciegos pilóricos, mientras que en el intestino la actividad no se vio afectada por la temperatura. Los autores mencionan que la actividad de la tripsina tiene una relación lineal positiva respecto al consumo de alimento. Como ya se había mencionado anteriormente, en general la tasa de consumo aumenta a temperaturas mayores, por lo que entre más alimento y proteína se encuentren en el organismo puede haber una mayor producción de enzima alcalina encargada de digerirla.

En contraste Bowyer *et al.* (2013b) reportan que la actividad de la tripsina en los ciegos pilóricos no fue afectada significativamente por la menor temperatura, pero si en el intestino a 18°C, donde la actividad fue significativamente mayor. Estos autores mencionan que la frecuencia de alimentación (2 veces al día), es un punto importante a tomar en cuenta, ya que la secreción de enzimas pancreáticas inicia cuando el alimento llega a los ciegos pilóricos o a el intestino por lo que la secreción de tripsina se inicia después de la ingestión del alimento. Esto sugiere que el pez podría producir más tripsina si se aumenta la frecuencia de alimentación. En el presente estudio se utilizó una frecuencia de alimentación similar a la de Bowyer *et al.* (2013b). Otro factor por el cual puede diferir la actividad es el momento del día en el que se tomó la muestra para hacer las extracciones enzimáticas. Por ejemplo, Morimoto *et al.* (2005) reporta un aumento significativo de la actividad total de la tripsina en peces con 48 horas de ayuno en comparación con peces que sólo tenían 24 horas sin alimentar, indicando que la capacidad para producir y secretar tripsina no estaban completamente restaurados a las 24 horas después de la alimentación. Lo que sugiere que hay un periodo donde los niveles de síntesis y almacenamiento de la enzima pueden ser más bajos, por lo que se podía haber encontrado una mayor actividad con un periodo de ayuno más prolongado y que la síntesis de tripsinógeno se haya completado.

En el jurel cola amarilla, Bowyer *et al.* (2013d) evaluaron la actividad enzimática de la tripsina del tracto digestivo completo a 21, 24 y 27°C, y resultó significativamente mayor a 24°C. Esto contrasta con el presente experimento en el cual la mayor actividad se registró a 28°C en los ciegos pilóricos y en el intestino se registró una actividad significativamente menor a 22 y 25°C. Lo que sugiere que la mayor parte de la digestión por parte de la tripsina en esta especie es llevada a cabo en los ciegos pilóricos y ésta se ve afectada por la temperatura. Es probable que en el estudio de Bowyer *et al.* (2013d) no se vio reflejada esta diferencia debido a que los análisis fueron realizados utilizando el tracto digestivo completo y una región pudo enmascarar a la otra.

Por otra parte, Miegel *et al.* (2010) trabajando con esta misma especie reportaron una mayor actividad de las proteasas en el intestino en temperaturas más frías (12.6°C). Los autores sugieren que la actividad enzimática intestinal puede ser mayor durante los meses más fríos, debido al lento movimiento del alimento a través

del tracto digestivo, que permite que las enzimas del intestino este un mayor tiempo en contacto con el alimento. En invierno, cuando los peces están bajo estrés nutricional debido a la reducción en el consumo de alimento, la actividad enzimática puede aumentar para compensar y aumentar la digestión y la absorción de nutrientes.

En el caso de otra especie similar al jurel cola amarilla, como *Seriola quinqueradiata* se ha reportado una actividad enzimática similar a la descrita en el presente estudio, ya que Morimoto (2005) reporta una menor actividad de la tripsina a bajas temperaturas (16-18°C vs 22-25°C).

6.4.3 Lipasa dependiente de sales biliares

La lipasa dependiente de sales biliares es una enzima relacionada en la digestión de los lípidos neutros en varias especies de peces; tales como anchoa, lubina listada, salmón, trucha arcoiris, bacalao y dorada, japonesa.

En el presente estudio, la actividad de la lipasa no se vio afectada significativamente por la temperatura en ciegos pilóricos, ni en el intestino. Para esta misma especie, Miegel *et al.* (2010) reportan que la actividad de la lipasa en el intestino no se ve afectada por la temperatura del agua, pero se observan una mayor actividad en temperaturas bajas (12.6°C). Esto lo atribuyen al aumento del tiempo de tránsito intestinal en temperaturas del agua más frías, lo que permitió un mayor tiempo de interacción de las enzimas para estar en contacto con el alimento.

En contraste, los valores reportados por Bowyer *et al.* (2012); Bowyer *et al.* (2013a y b) para el jurel *Seriola lalandi*, expuestos a una temperatura de 18 y 22°C indican que la actividad de la lipasa se vio afectada negativamente por la temperatura encontrando valores significativamente menores a 18°C en los ciegos pilóricos y el intestino anterior. Bowyer *et al.* (2013d) amplió el rango de temperaturas que evalúa (21, 24 y 27°C), y observó que la actividad de la lipasa fue significativamente mayor a 24°C, seguida por 21°C y posteriormente 27°C. Lo que sugiere que el aumento de la temperatura incrementa la actividad enzimática hasta cierto punto crítico y después disminuye. Fountoulaki *et al.* (2005) sugieren que la capacidad digestiva de un pez depende tanto de la actividad enzimática, así como tiempo de tránsito intestinal.

Ahmad *et al.* (2014) reportan que en el bagre marino *Clarias batrachus* cultivado a temperaturas de 10 hasta 35°C, la actividad de la lipasa fue significativamente más alta en los peces expuestos a una temperatura de 30°C. Lo que también sugiere que la actividad enzimática aumenta con la temperatura, sin embargo esta relación no es infinita, la cantidad de enzima alcanza su máximo a cierta temperatura y comienza a disminuir a temperaturas más altas.

De acuerdo a Lundstedt *et al.* (2004) en el surubí pintado *Pseudoplatystoma corruscans* cultivado a una temperatura de 23.5°C se ha reportado la actividad de la lipasa en extractos crudos en cada sección del tracto gastrointestinal; detectaron valores significativamente más altos en el intestino medio. Estos autores concluyen que probablemente en esta especie es en esta sección del intestino donde se lleva a cabo gran parte de la digestión lipídica. Los autores mencionan que la actividad de la lipasa reportada en el tracto digestivo de los peces es lógica debido a que consumen alimentos ricos en grasa y la hidrólisis de éstos es llevada a cabo mayormente en la parte media del intestino.

6.4.4 Amilasa

Los peces carnívoros consumen alimentos ricos en proteínas y lípidos y con bajo contenido de hidratos de carbono. Es por esto que el papel de la actividad α -amilasa en especies de peces carnívoros es de menor importancia que en los peces herbívoros y omnívoros. (Hidalgo *et al.*, 1999).

En el presente estudio la actividad específica de la amilasa se incrementó conforme aumentó la temperatura y se encontró una actividad significativamente mayor a 28°C. Sin embargo no se encontraron diferencias significativas con respecto a la actividad total registrada. Bowyer *et al.* (2013d) reportaron la misma tendencia para la actividad específica, siendo la actividad de la amilasa significativamente mayor a 27°C. Por otra parte, Bowyer *et al.* (2012); Bowyer *et al.* (2013a y b) reportaron que la actividad de la amilasa en el intestino no se vio afectada por la temperatura del agua, pero fue significativamente menor en los ciegos pilóricos a 18°C comparada con 22°C. Dichos autores mencionan que la inclusión de carbohidratos en las dietas para peces marinos debe ser limitada, debido a su menor digestibilidad y la influencia sobre la actividad enzimática. En particular se ha observado que dos de

los principales compuestos de hidratos de carbono en las dietas para peces, los oligosacáridos y los polisacáridos no amiláceos (NSP), pueden afectar la digestión de otros nutrientes, particularmente la digestión de la proteína y de los lípidos. (Bureau *et al.*, 1998; Storebakken *et al.*, 1998).

Amin *et al.* (2006) reportan que la temperatura tuvo un efecto significativo en la actividad de la amilasa en la trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*), siendo superior en 15 que a 19°C, además de encontrar una interacción significativa de la temperatura de cultivo y el nivel de carbohidratos gelatinizados y la actividad de la amilasa en la trucha de arroyo, siendo esta interacción mayor en los peces alimentados con alto nivel de carbohidratos a 15°C. Lo que sugiere que de acuerdo a la cantidad de carbohidratos en la dieta, la actividad de la amilasa se verá afectada. En ese estudio, la utilización de nutrientes tales como la utilización de proteínas, lípidos y energía fue mayor a 15°C que a 19°C. Los autores sugieren que la temperatura del agua de verano (19°C) pueda reducir la utilización de los nutrientes en la trucha de arroyo, por lo que la mejor utilización de nutrientes a 15°C puede coincidir con aumento de la actividad de la enzima digestiva a temperaturas más bajas.

6.4.5 Diferencia entre regiones analizadas

En el presente estudio se encontraron diferencias significativas de la actividad específica ($U \mu g^{-1}$ de proteína) de las enzimas digestivas lipasa y amilasa entre el intestino y los ciegos pilóricos. Se cuantificó una actividad de la lipasa significativamente mayor en los ciegos pilóricos, mientras que la actividad de la amilasa fue significativamente mayor en el intestino. En la actividad de la tripsina no se detectaron diferencias entre las regiones analizadas. A 28°C la actividad de la lipasa en el intestino se redujo a 52%, con respecto los ciegos pilóricos. En contraste, la actividad de la amilasa en los ciegos pilóricos se redujo entre 71-77%, con respecto al intestino en todas las temperaturas evaluadas. Lo anterior sugiere que los juveniles de jurel llevan a cabo la mayor parte de la digestión alcalina de las proteínas y de los lípidos en los ciegos pilóricos, mientras que la digestión de los hidratos de carbono ocurre mayormente en el intestino.

En el jurel, se pueden citar diferentes ejemplos del efecto de la temperatura sobre la actividad enzimática, aunque existe una diferencia en el patrón del efecto de la temperatura sobre las distintas regiones del intestino. Bowyer *et al.* (2012) reportan que en *S. lalandi* cultivado a dos temperaturas (18°C y 22°C), que la actividad de la tripsina, lipasa y amilasa fue significativamente más alta en los ciegos pilóricos que en las distintas regiones del intestino analizado, por lo que en este caso la digestión se lleva a cabo mayormente en los ciegos pilóricos.

Con respecto a la actividad total (U pez⁻¹), se encontraron diferencias significativas entre el intestino y los ciegos pilóricos de las enzimas digestivas tripsina y lipasa. Se cuantificó una actividad de la tripsina y lipasa significativamente mayor en los ciegos pilóricos. La actividad de la amilasa fue similar entre las regiones analizadas. A 25°C la actividad de la tripsina en el intestino se redujo 82%, con respecto los ciegos pilóricos. En contraste, la actividad de la lipasa en intestino fue 72 a 76% más baja, con respecto a los ciegos pilóricos en todas las temperaturas evaluadas. Lo cual es similar a la actividad específica encontrada, lo que sugiere que los juveniles de jurel llevan a cabo la mayor parte de la digestión alcalina de las proteínas y los lípidos en los ciegos pilóricos.

6.5. Composición proximal del músculo

No se encontraron diferencias significativas en la composición proximal del músculo en cuanto al contenido de proteína, cenizas y humedad. Sin embargo, el porcentaje de lípidos en el músculo si se vio significativamente afectado por la temperatura. No se ha reportado el efecto de la temperatura en el nivel de lípidos en el músculo de *S. lalandi*, pero se ha reportado el contenido de lípidos (6.59% y 7.11%) en el organismo entero a dos temperaturas y no se han registrado diferencias significativas entre 18 y 22°C (Bowyer *et al.*, 2013a y b).

La temperatura afecta la fisiología de un organismo, tal vez el efecto biológico más familiar es su influencia en las tasas a las que se producen los procesos bioquímicos; como las tasas metabólicas, alimentación, crecimiento y la locomoción (Hochachka and Somero, 2002). Pero al mismo tiempo el aumento de la temperatura tiene un efecto importante sobre el requerimiento energético en los organismos, por

lo que es importante encontrar un balance adecuado entre el aumento en el metabolismo que se traduzca en crecimiento y los requerimientos energéticos necesarios para mantenerse a dichas temperaturas.

Es bien conocido que las variaciones de la temperatura afectan los costos de mantenimiento y los requerimientos de energía bruta de los peces y un aumento en la temperatura aumenta el requerimiento energético (Brett, 1979).

En el presente estudio los jureles se alimentaron con una dieta de 12.7% de lípidos y se encontró que al aumentar la temperatura disminuyó el porcentaje de lípidos en el músculo con una relación inversamente proporcional, donde el menor porcentaje de lípidos (4.60%) se registró a 28°C. Esto posiblemente se deba al aumento en la tasa metabólica a las temperaturas altas comparada con las otras, lo que aumenta el gasto energético de los peces. Los lípidos son compuestos altamente energéticos y proveen una gran parte de la energía requerida por los peces (NRC, 2011). En *Seriola quinqueradiata* se ha reportado que la cantidad de energía bruta (requerimiento por 100 g de peso ganado) que se requiere el organismo de acuerdo con la temperatura del cultivo, es de 1801 KJ a una temperatura de 19-22.4°C (Takeuchi, *et al.*, 1992), de 2310 KJ a 25°C (Sakamoto *et al.*, 1995), mientras que a 28°C el requerimiento se incrementa a 2938 KJ (Shimeno *et al.*, 1985). Lo que sugiere que el gasto energético de los peces aumenta considerablemente en relación directa con la temperatura.

Los organismos requieren una fuente constante de energía para realizar sus funciones vitales, para mantener su metabolismo basal (NCR, 2011). Los estudios con la lubina europea (*Lates calcarifer*), indican un incremento significativo en el metabolismo basal cuando la temperatura de cultivo es mayor a la temperatura óptima para esta especie (Bermudes *et al.*, 2010). Para la trucha arcoíris, un aumento en la temperatura de 7.5 a 20°C produce un incremento en el consumo de energía digerible (Cho y Slinger, 1980). Mientras que en el salmón del atlántico la tasa metabólica aumentó conforme la temperatura aumentó, siempre que esto ocurra dentro del intervalo de temperatura aceptable para la especie (Caulton, 1977). El bajo contenido de lípidos en el músculo de los jureles cultivados a 28°C en este trabajo, sugiere que el catabolismo de los ácidos grasos (particularmente los saturados y mono-insaturados) pueden ser una importante fuente de energía para

compensar el aumento en la actividad metabólica ocasionado por el incremento de temperatura. En contraste, los peces cultivados a 22°C con un metabolismo relativamente más bajo y por lo tanto menor gasto energético, acumularon más de los lípidos absorbidos en su tejido muscular.

Conclusiones

- El crecimiento del jurel cola amarilla no se ve afectado significativamente por las temperaturas evaluadas en el presente estudio.
- La temperatura de 28°C tiene un efecto negativo en la supervivencia, por lo que reduce la biomasa final, lo que puede afectar negativamente el cultivo comercial de esta especie.
- A 22°C se incrementa significativamente el porcentaje de lípidos en el musculo, lo cual resulta importante para la industria acuícola, ya que el contenido de lípidos en el musculo es una de las principales características de calidad del producto de la acuicultura y por la cual el mercado paga altos precios y hace que esta especie resulte altamente atractiva para su cultivo.
- La temperatura tiene un efecto importante en la cantidad de enzimas reportadas por la actividad total relativa de las enzimas digestivas. La actividad de la pepsina fue mayor a 25°C, mientras que para la tripsina y amilasa registraron su mayor actividad a 28°C.
- En cuanto a la actividad total de las enzimas digestivas, la temperatura sólo tuvo un efecto significativo sobre la actividad de la tripsina, registrando la mayor actividad a 28°C.
- No se encontraron diferencias significativas en la digestibilidad de la dieta y de la proteína.
- En los juveniles de jurel la digestión alcalina de las proteínas y lípidos se lleva a cabo principalmente en los ciegos pilóricos, mientras que la digestión de los hidratos de carbono ocurre mayormente en el intestino.

Recomendaciones

- Evaluar un intervalo de temperatura mayor (14 a 30°C) en el cual es probable encontrar diferencias significativas en el crecimiento.
- Es importante evaluar tallas menores y con un mayor número de organismos, con lo cual posiblemente sean más evidentes las diferencias en crecimiento.
- Monitorear los organismos con mayor frecuencia para observar posibles afectaciones como la infestación con parásitos y actuar de manera oportuna.
- Controlar la toma de muestras para que se realicen a la misma hora y en un estado alimenticio similar.
- Evaluar la búsqueda de isoenzimas para condiciones ambientales extremas.

Lista de referencias

- Abbink, W., Blanco Garcia, A., Roques, J. a. C., Partridge, G. J., Kloet, K., and Schneider, O. (2012). The effect of temperature and pH on the growth and physiological response of juvenile yellowtail kingfish *Seriola lalandi* in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*, 330-333, 130–135.
- Aguado, F., Martínez F.J., and García-García B. (2004). In vivo total phosphorous digestibility in Atlantic Bluefin Tuna (*Thunnus thynnus thynnus* Linnaeus, 1758) under industrially intensive fattening conditions in Southeast Spain Mediterranean coastal waters. *Aquaculture Nutrition*, 10(6), 413-419.
- Ahmad, T., Singh, S. P., Khangembam, B. K., Sharma, J. G., and Chakrabarti, R. (2014). Food consumption and digestive enzyme activity of *Clarias batrachus* exposed to various temperatures. *Aquaculture Nutrition*, 20(3), 265–272.
- Allan, G., Rowland S.J., Parkinson S., Stone D.A.J., and Jantrarotai, W. (1999). Nutrient digestibility for juvenile silver perch *Bidyanus bidyanus*: development of methods. *Aquaculture*, 170(2), 131–145.
- Amin, M. N., Barnes, R. K., and Adams, L. R. (2014). Effect of temperature and varying level of carbohydrate and lipid on growth, feed efficiency and nutrient digestibility of brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill, 1814). *Animal Feed Science and Technology*, 193, 111–123.
- Association of Official Analytical Chemists. (1990). Official methods of analysis of AOAC international. Arlington. Recuperado de <http://www.biblio.inti.gov.ar/manuales/131801.pdf>
- Avilés, A. y Castelló, F. (2004). *Manual para el Cultivo de Seriola lalandi (Pisces: Carangidae) en Baja California Sur, México*. Instituto Nacional de Pesca. 47 p.
- Barber, R. Mooers, C., Bowman, M y Zeitzschel, B. (1983). Osmoregulation in estuarine and marine animals. *Springer-Verlag*. 221 p.
- Bendiksen, E. Å., Berg, O. K., Jobling, M., Arnesen, a. M., and 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.
- Booth, M. a., Allan, G. L., and Pirozzi, I. (2010). *Seriola lalandi* Estimation of digestible protein and energy requirements of yellowtail kingfish using a factorial approach. *Aquaculture*, 307(3), 247–259.
- Bowyer, J. N., Booth, M. A., Qin, J. G., D'Antignana, T., Thomson, M. J. S., and Stone, D. A. J. (2013d). Temperature and dissolved oxygen influence growth and digestive enzyme activities of yellowtail kingfish *Seriola lalandi* (Valenciennes, 1833). *Aquaculture Research*.
- Bowyer, J. N., Qin, J. G., Adams, L. R., Thomson, M. J. S., and Stone, D. A. J. (2012). The response of digestive enzyme activities and gut histology in

yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) to dietary fish oil substitution at different temperatures. *Aquaculture*, 368, 19–28.

Bowyer, J. N., Qin, J. G., Smullen, R. P., Adams, L. R., Thomson, M. J. S., and Stone, D. A. J. (2013a). The use of a soy product in juvenile yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) feeds at different water temperatures: 1. Solvent extracted soybean meal. *Aquaculture*, 384, 35–45.

Bowyer, J. N., Qin, J. G., Smullen, R. P., Adams, L. R., Thomson, M. J. S., and Stone, D. A. J. (2013b). The use of a soy product in juvenile yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) feeds at different water temperatures: 2. Soy protein concentrate. *Aquaculture*, 410, 1–10.

Bowyer, J. N., Qin, J. G., Stone, and D. A. J. (2013c). Protein, lipid and energy requirements of cultured marine fish in cold, temperate and warm water. *Reviews in Aquaculture*, 5(1), 10–32.

Brett, J. R. (1979). Environmental factors and growth. *Fish Physiology*, 8, 599–675.

Bureau, D.P., Kaushik, S.J., and Cho, C.Y. (2002). Bioenergetics. *Fish nutrition*, 1-59.

Carta nacional acuícola (2012). Recuperado de: <http://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/2011/06062012%20SAGARPA.pdf>

Caulton, M.S. (1977). The effect of temperatura on routine metabolism in tilapia *rendalli boulenger*. *Journal of fish Biology*. 6, 547-553.

Chen, B. N., Qin, J. G., Kumar, M. S., Hutchinson, W. G., and Clarke, S. M. (2006). Ontogenetic development of digestive enzymes in yellowtail kingfish *Seriola lalandi* larvae. *Aquaculture*, 260(1), 264–271.

Cho, C.Y., and Slinger, S.J. (1980). Effects of temperature on energy utilization in *rainbrow trout* (Salmon gairdneri). En: Mount L.E. (ed). Energy metabolism, L.E. Mount Ed. EAAP Publication No.26, Butterworths, London, U.K., pp. 287-291.

Clark, T.D., and Seymour, R.S., (2006). Cardiorespiratory physiology and swimming energetics of a high-energy-demand teleost, the yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*). *Journal of Experimental Biology*, 209(19), 3940–3951.

Despatie, S.P., Castonguay, M., and Chabot, D. (2001). Final Thermal Preferendum of Atlantic Cod: Effect of Food Ration. *Transactions of the American Fisheries Society*. 130(2), 263-275.

Erlanger, B. F., Kokowsky, N., and Cohen, W. (1961). The propagation and proprieties of two new chromatogenic substrates of trypsin. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 95, 271-278.

Ernst, I., Whittington, I. D., Corneillie, S., and Talbot, C. (2005). Effects of temperature, salinity, desiccation and chemical treatments on egg embryonation

- and hatching success of *Benedenia seriolae* (Monogenea: Capsalidae), a parasite of farmed *Seriola* spp. *Journal of Fish Diseases*, 28(3), 157–64.
- FAO. (2012). Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Roma.
- Fernandes, M. and Tanner, J. (2008). Modelling of nitrogen loads from the farming of yellowtail kingfish *Seriola lalandi* (Valenciennes, 1833). *Aquacult. Res.* 39(12), 1328–1338.
- Fernández I., Moyano, F.J., Díaz, M., and Martínez, T. (2001). Characterization of α -amylase activity in five species of Mediterranean sparid fishes (Sparidae, Teleostei). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 262, 1-12.
- Folch, J., Lees, M. and Stanley, G. H. S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem*, 226(1), 497-509.
- Fowler, A.J., Ham, J.M., and Jennings, P.R. (2003). Discriminating between Cultured and Wild Yellowtail Kingfish (*Seriola lalandi*) in South Australia. *Report to PIRSA Aquaculture. SARDI Aquatic Sciences Publication No. RD03/0159.*
- Furné, M. (2008). *Diferentes estudios fisiológicos en el esturión *Acipenser naccarii*. Estudio comparado con la trucha *Oncorhynchus mykiss*.* Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- García Gómez, F.Y. (2007) *Evaluación de fuentes proteicas por medio de digestibilidad in vivo e in vitro para elaboración de dietas de juveniles de jurel, *Seriola lalandi dorsalis*.* Tesis de maestría en ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- Mesa, S. M. G. (2013). Investigaciones aplicables al desarrollo de la producción intensiva de Corvina (*Argyrosomus regius*). Editorial de la Universidad de Granada.
- Gisbert, E., Sarasquete, M. C., Willliot, P., and Castello-Orvay, F. (1999). Histochemistry of the development of the digestive system of Siberian sturgeon early ontogeny. *Journal of Fish Biology*, 55(3), 596-616.
- Gjellesvik, D. R., Lombardo, D., and Walther, B. T. (1992). Pancreatic bili salt dependent lipase from cold (*Gadus morhua*): purification and properties. *Biochim. Biophys. Acta* 1124, 123-134.
- Glass, H. J., Macdonald, N. L., Munilla-Morán, R., and Stark, J. R. (1989). Digestion of protein in different marine species. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part B: Comparative Biochemistry*, 94(3), 607-611.
- Hidalgo, M.C., Urea, E., and Sanz, A. (1999). Comparative study of digestive enzymes in fish with different nutritional habits. Proteolytic and amylase activities. *Aquaculture*, 170(3), 267–283.

- Hill, R.W. (2007). *Fisiología animal comparada*. Reverté. 920 p.
- Hochachka, P.W., and Somero, G.N. (2002). *Biochemical Adaptation: Mechanism and Process in Physiological Evolution*. Oxford University Press, New York, NY, USA.
- Hoehne-Reitan, K., Kjørsvik, E., Gjellesvik, D.R. (2001). Development of bile salt-dependent lipase in larval turbot. *Journal of fish Biology*, 58(3), 737-745.
- Hutson, K.S., Ernst, I., Mooney, A.J., and Whittington, I.D. (2007). Metazoan parasite assemblages of wild *Seriola lalandi* (Carangidae) from eastern and southern Australia. *Parasitology International*, 56(2), 95–105.
- Kofuji, P. Y. M., Akimoto, A., Hosokawa, H., and Masumoto, T. (2005). Seasonal changes in proteolytic enzymes of yellowtail *Seriola quinqueradiata* (Temminck & Schlegel; Carangidae) fed extruded diets containing different protein and energy levels. *Aquaculture Research*, 36(7), 696–703.
- Kristjansson, M. M. and Nielsen, H. H. (1992). Purification and characterization of two chymotrypsin-like proteases from the pyloric caeca of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 101(1), 247-253.
- Lazo, J.P., Mendoza, R., Holt, G.J., Aguilera, C. and Arnold, C.R. (2007). Characterization of digestive enzymes during larval development of red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture*. 265(1), 194-205.
- Lemieux, H., Blier, P., and Dutil, J.D. (1999). Do digestive enzymes set a physiological limit on growth rate and food conversion efficiency in the Atlantic cod (*Gadus morhua*) *Fish Physiology Biochemistry*, 20(4), 293-303.
- Martínez Montaña, E. (2007). *Digestibilidad proteica en el lenguado de california (paraichthys californicus): ontogénesis y comparación de dos métodos de evaluación in vitro*. Tesis de maestría en ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- Masumoto, T. (2002) Yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*, 131–146.
- Masumoto, t., Ruchimat, T., Ito, Y., Hosokawa, H., and Shimeno, S. (1996). Amino acid availability values for several protein sources for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Aquaculture*, 146(1), 109-119.
- Miegel, R. P., Pain, S. J., Van Wettere, W. H. E. J., Howarth, G. S., and Stone, D. A. J. (2010). Effect of water temperature on gut transit time, digestive enzyme activity and nutrient digestibility in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*). *Aquaculture*, 308(3), 145–151.
- Montaña-Vargas, J., Shimada, A., Vásquez, C., and Viana, M.T., 2002. Methods of measuring feed digestibility in the green abalone (*Haliotis fulgens*). *Aquaculture*, 213(8), 339–346.

- Montes Macías, R. A. (2007). *Caracterización de la actividad enzimática de larvas de jurel cola amarilla del Pacífico (Seriola lalandi dorsalis)*. Tesis Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- Morimoto Kofuji, P. Y., Hosokawa, H., and Masumoto, T. (2006). Effects of dietary supplementation with feeding stimulants on yellowtail *Seriola quinqueradiata* (Temminck & Schlegel; Carangidae) protein digestion at low water temperatures. *Aquaculture Research*, 37(4), 366–373.
- Murray, H. M., Gallant, J. W., Pérez-Casanova, J. C., Johnson, S. C., Douglas, S. E. (2003). Ontogeny of lipase expression in Winter flounder. *Journal Fish Biology*, 62(4), 816-833.
- Nakada, M. (2000). *Yellowtail and related species culture*. Encyclopedia of Aquaculture. Wiley, London, 1007–1036.
- Nakada, M. (2008). Capture-based aquaculture of yellowtail. Capture-based aquaculture. *Global overview. FAO Fisheries Technical Paper*, 508, 199–215.
- Nose, T. (1960). On the digestion of food protein by goldfish (*Carassius auratus L.*) and rainbow trout (*Salmo irideus G.*). *Bull. of Freshwater Fish Res. Lab.* 10(1), 23–28.
- NRC. (2011). *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. National Academies Press, Washington, DC.
- Orellana, J., Waller, U., and Wecker, B. (2013). Culture of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) in a marine recirculating aquaculture system (RAS) with artificial seawater. *Aquacultural Engineering*, 58, 20-28.
- Pirozzi, I., and Booth, M. A. (2009). The routine metabolic rate of mullet (*Argyrosomus japonicus*: Sciaenidae) and yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*: Carangidae) acclimated to six different temperatures. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Molecular & Integrative Physiology*, 152(4), 586–92.
- Rustad, T. (2003). Utilisation of marine by products. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 2(4), 458-463.
- Sabapathy, U. and Teo, L.H. (1993). A quantitative study of some digestive enzymes in the rabbit fish, *Siganus canaliculatus* and the Sea bass, *Lates calcarifer*. *Journal Fish Biology*, 42(4), 595-602.
- Sakamoto, H., Watanabe, T. and Takeuchi, T. (1995) Optimum levels of protein and lipid in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. *Suisanzosyoku* 43, 345–352 (in Japanese).
- Sanz, F. (2009). *La nutrición y la alimentación en la piscicultura*. Fundación observatorio español de acuicultura consejo superior de investigaciones científicas ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. Madrid.

- Sarath, G., de la Motte, R. S. and Wagner, F. W. (1989). Protease assay methods. *Proteolytic enzymes: a practical approach*, 3, 25-55.
- Sargent, J. R. and Henderson, R. J. (1995). Marine n-3 polyunsaturated fatty acids. *Developments in Oils and Fats. Blackie Academic and Professional*, 32-65.
- Satoh, K-I. Kimoto, K., and Hitaka, E. (2004). Effect of water temperature on the protein digestibility of extruded pellet, single moist pellet and oregon moist pellet. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 70(5), 758–763.
- Shiau, S.Y. (1988). Nutritional requirements of penaeid shrimps. *Aquaculture*, 164(1), 77-93.
- Shimeno, S., Hosokawa, H., Takeda, M., Kajiyama, H. and Kaisho, T. (1985) Effect of dietary lipid and carbohydrate on growth, feed conversion and body composition in young yellowtail. *Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries*, 51, 1893–1898.
- Smith, R.R. (1979). Methods for determination of digestibility and metabolizable energy of feedstuffs for finfish.
- SOFIA. (2012). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Informe del Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentos y la Agricultura. Roma.
- Stickney, R.R. (2000). *Encyclopedia of aquaculture*. Texas Sea Grant College Program.
- Takeuchi, T., Shiina, Y., Watanabe, T., Sekiya, S. and Imaizumi, K. (1992) Suitable protein and lipid levels for fingerlings of yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58, 1333–1339.
- Tomas, A., De La Gandara, F., Garcia-Gomez, A., Perez, L., and Jover, M. (2005). Utilization of soybean meal as an alternative protein source in the Mediterranean yellowtail, *Seriola dumerili*. *Aquaculture Nutrition*, 11(5) 333–340.
- Torrissen, K.R., Shearer, K.D., 1992. Protein digestion, growth and food conversion in Atlantic salmon and Arctic charr with different trypsin like isozyme patterns. *Journal of Fish Biology*, 41(3), 409-415.
- Zambonino-Infante, J. L. and Cahu, C. (1994). Development and response to a diet change of some digestive enzymes in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Fish Physiology and Biochemistry*, 12(5), 399-408.
- Zambonino-Infante, J.L., Cahu, C.L. (2001). Ontogeny of the gastrointestinal tract of marine fish larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 130(4), 477-487