

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



“Desarrollo de dietas extruídas para juveniles de atún“

TESIS

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA
OBTENAR EL GRADO DE

LICENCIADA EN BIOTECNOLOGÍA EN ACUACULTURA

PRESENTA

Nathalee Ulloa Aragón

Ensenada, Baja California, México, Febrero del 2017

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
TESIS DE LICENCIATURA

“Desarrollo de dietas extruídas para juveniles de atún“

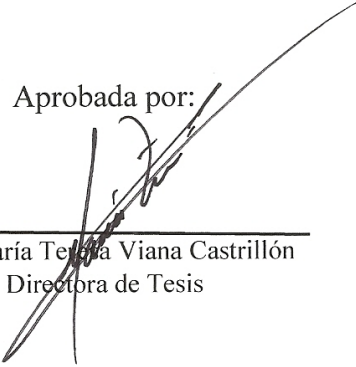
TESIS

Biotecnólogo en Acuicultura


PRESENTA

Nathalee Ulloa Aragón


Aprobada por:



Dra. María Teresa Viana Castrillón
Directora de Tesis



M en C. Fernando Barreto Curiel
Sinodal



Dr. José Antonio Mata Sotres
Sinodal

Dedicatoria

Todo el trabajo y tiempo invertido en este trabajo lo dedico de manera muy especial a Dios y a las personas más cercanas, mi familia (mamá, papá, abuela y hermana) y grandes amigos, quienes me han brindado su apoyo incondicional y cariño en todo este interesante proceso. Quiero que sepan todos ustedes, que recibí de manera muy especial, su amor y buena energía en todo momento, lo que me inspiró a llegar feliz hasta el final.

Agradecimientos

Dra. María Teresa Viana gracias por invitarme para la realización de esta tesis, durante todo este tiempo me ha brindado su apoyo en todos los sentidos, fue comprensiva y paciente conmigo. Siempre estuvo ahí para lo que necesitara, estando en su oficina, en alguna parte del país o fuera de este. Quiero que sepa que la admiro y que realmente es una gran persona la cual deja huella en mi carrera profesional y en lo personal.

Muchas gracias al M.C. Fernando Barreto Curiel estoy sin palabras eres un gran maestro para mí. Mucho del conocimiento para la realización de este trabajo es gracias a ti eres un gran ejemplo de perseverancia, responsabilidad y disciplina. Por todo tu apoyo y dedicación, gracias.

Mis agradecimientos al Dr. José Antonio Mata Sotres por las horas dedicadas a ayudarme y brindarme su apoyo, muy buen trabajo.

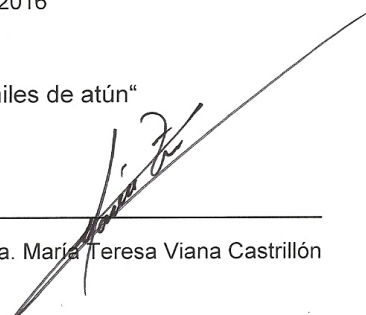
Juan Pablo Garza Mouriño estoy muy agradecida por el video para la presentación que realizaste para el presente trabajo. Dr. Hernández: por prestarme el equipo para medición de dureza por su paciencia y apoyo muchas gracias.

A todo el equipo de trabajo del laboratorio de nutrición y fisiología del IIO por toda su ayuda y apoyo, gracias.

RESUMEN de tesis para obtener el grado de Licenciada en Biotecnología en Acuicultura que presenta **Nathalee Ulloa Aragón** como requisito parcial para su titulación en la Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada, Baja California, México. Octubre 2016

“Desarrollo de dietas extruídas para juveniles de atún“

Resumen aprobado por:



Dra. María Teresa Viana Castrillón

El presente proyecto presenta la base del desarrollo hacia la formulación de dietas para atún que sustituyan a la sardina fresca u otros pelágicos menores. Actualmente en México, el cultivo de atún se basa exclusivamente en pelágicos menores como alimento para el atún, práctica que resulta riesgosa y no sostenible. Se calcula que la cantidad de sardina para incrementar un kg de peso en atún puede llegar a ser hasta los 25 kg dependiendo de la calidad de la sardina o de cualquier otro pelágico menor. Como es de esperarse, el uso indiscriminado de éstos resulta en una práctica poco sostenible y se augura que en un futuro cercano, incluso pueda llegarse a prohibir. Por parte de los productores existe la creencia de que el atún no podrá recibir otro tipo de alimento que no sea pescado fresco o congelado. Creencia que se basa en la renuencia por parte del atún cuando se le cambia de estrategia de alimentación con distintos tipos de peces. Es así que aquí se presentan distintas estrategias para la elaboración de pelets húmedos utilizando distintos ingredientes y procesos en la extrusión. A partir de una formulación base para pez carnívoro, se fueron agregando distintos aglutinantes tales como: grenetina, almidón crudo y maizena (™CONOPCO Inc) goma, Precisa cling y Firmtex (pertenecientes a ™ Ingredión de México SA de CV). Se evaluó a los pelets de acuerdo a su comportamiento en flotabilidad, dureza, expansión y durabilidad en el agua. Los resultados obtenidos indicaron que en el secado del pelet se incrementa la dureza, de tal manera que sólo en húmedo presentaron características apropiadas. Se observó que a la salida del extrusor podían contener 20% de humedad, misma que al secarse llegaban hasta un 8-10%, lo cual representa un impacto negativo. También se observó que el uso de la goma y Firmtex ayuda a tener una mayor expansión, la cual al estar en contacto con el agua le da flotabilidad. En este trabajo se concluye que es posible elaborar dietas húmedas hasta con un 20% de humedad sin perder sus características de dureza. El uso de la goma y Firmtex les confirió una propiedad positiva en la dureza siempre y cuando éstas no fueran secadas. Se recomienda seguir investigando en fórmulas que puedan guardar la humedad durante más tiempo. Si bien, no era la intención del trabajo, algunas de las dietas fueron ofrecidas a atunes de las granjas observando su aceptación.

Tabla de contenido

Introducción	1
Biología del atún	5
Distribución	6
Producción	7
Los ranchos atuneros en México	7
Extrusión	9
Partes del equipo – Extrusor	9
Procesos complementarios en el proceso de extrusión	12
Alimentos Extruídos	16
Ingredientes para la elaboración de extruídos y sus propiedades funcionales.....	18
Fuentes Proteicas.....	19
Fuentes lipídicas.....	19
Carbohidratos	20
Micronutrientes	20
Vitaminas.....	21
Minerales	21
Hipótesis.....	22
Objetivo general.....	23
Objetivos específicos	23
Materiales y Métodos.....	24
Diseño experimental.....	24
Secado.....	25
Recubrimiento (“ <i>Coating</i> ”)	25
Enfriamiento.....	26
Generalidades en la preparación.....	26

Preparación en húmedo (Dieta Húmeda).....	28
Extrusión con alimentos en seco (Dieta Seca).....	28
Extrusión de alimentos semi-húmedos con SLURRY añadido (Dietas Ácido, Aceite, Glicerina)	29
Variables de respuesta.....	31
Flotabilidad	31
Dureza	32
Análisis Proximales.....	32
Análisis estadísticos	34
Resultados.....	35
Capacidad de absorción de aceite	35
Flotabilidad.....	35
Dureza	36
Análisis proximal	37
Discusión	38
Bibliografía Citada	42

Índice de Cuadros

Cuadro I. Ingredientes para la formulación de las cinco dietas utilizadas.....	30
Cuadro II. Ingredientes utilizados para la formulación del "slurry"	31
Cuadro III. Resultados del análisis proximal dado en peso seco de las cinco dietas experimentales. La Humedad se reporta como aquella contenida en las dietas finales.	37

Índice de Figuras

Figura 1. Atún aleta azul (<i>Thunnus orientalis</i>)	5
Figura 2. Localización geográfica de distribución del Atún Aleta Azul	6
Figura 3. Diagrama de un extrusor (Guillaume <i>et al.</i> , 2001)	12
Figura 4. Esquema simplificado de un secador	13
Figura 5. Inserto diseñado para la extrusión de alimento para Atún	25
Figura 6. Diagrama de flujo para la elaboración de las distintas dietas	27
Figura 7. Tiempo de flotabilidad (min) de las cinco dietas experimentales	35
Figura 8. Niveles de dureza presentes en las distintas dietas	36

Introducción

La acuicultura es el conjunto de actividades que tienen por objeto la producción y comercialización de organismos acuáticos como micro y macroalgas, larvas y juveniles de moluscos, crustáceos y peces, con el control del ecosistema naturales y artificial, para su producción (Herrero *et al.*, 1991; Brown *et al.*, 1997). En la actualidad la acuicultura es uno de los sectores que produce alimento para consumo humano con un alto crecimiento, y un potencial elevado para generar empleos y divisas en nuestro país (Lazo, 2000; Avilés Quevedo y Castelló Orvay, 2004; del Moral-Simanek y Vaca, 2009; del Moral-Simanek *et al.*, 2010; Martínez-Montaña *et al.*, 2010)

De la producción mundial de organismos acuáticos en el 2002, la pesca representó el 69.7 % del suministro de estos organismos, mientras que el 30.2 % se originó de la acuicultura (FAO, 2006). Para el año 2012, la producción pesquera y acuícola mundial alcanzó los 158.0 millones de toneladas métricas (TM), incrementándose el cultivo de organismos acuáticos hasta un 42.17% de la producción total con 66.6 millones de TM. En particular la maricultura ha crecido a una tasa anual del 11 % desde 1984, siendo la producción de peces marinos una actividad con un gran potencial económico en relación a los niveles de producción obtenidos, alcanzando niveles de 24.7 millones de TM para 2012 (FAO, 2014)

Los túnidos son una familia de peces con un alto valor comercial, siendo el atún aleta azul (*Thunnus orientalis*; AAA) la especie que mejor se cotiza en el mercado (Matus de la Parra *et al.*, 2007; del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez, 2009). Lo anterior se debe no sólo por su interés económico y aceptación en los mercados internacionales, sino también por su contenido alto en nutrientes esenciales como ácidos grasos, omega-3, vitaminas y minerales (Luchini, 2010). Su carne tiene buen sabor y es baja en grasas saturadas (del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez, 2009).

Actualmente el AAA producido en México tiene una gran demanda. Sobre todo en países asiáticos, en donde el AAA se consume crudo en platillos típicos de esa región como lo es el sushi y sashimi (Matus de la Parra *et al.*, 2007; del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez, 2009). Hoy en día el AAA se comercializa, fresco o congelado, mientras que el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) se distribuye principalmente enlatado para venta nacional (Del Moral-Simanek *et al.*, 2010).

Desde las épocas de los 70, ocurrió un embargo orquestado por la organización no gubernamental (ONG), "Green Peace", argumentando que la captura del atún daba lugar a la captura incidental del delfín. Lo anterior ocasionó el inicio de campañas en contra de la comercialización del atún mexicano enlatado, dando lugar al colapso de la industria atunera mexicana. Pese a que el embargo atunero fue levantado en el año de 1986, las exportaciones mexicanas fueron bloqueadas y la industria atunera no pudo recuperarse (del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez, 2009; del Moral-Simanek *et al.*, 2010).

Sin embargo, tratando de innovar, y con el ejemplo de los ranchos atuneros en Australia, México trató de dirigir su captura a la engorda en encierros para poder vender el producto con la calidad más alta en el mercado, en fresco. El atún en fresco tenía como objetivo cambiar la estrategia de la venta en lata. En donde ésta era elaborada a partir de peces capturados y congelados en alta mar. Peces que en la mayoría de los casos permanecían a bordo de embarcaciones grandes, durante varios meses, hasta llegar a las plantas enlatadoras (del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez, 2009). Es así que inicia la actividad de cultivo de AAA a partir de 1996 con juveniles para ser engordados en jaulas marinas en las cercanías a Ensenada BC (Zertuche-González *et al.*, 2008; del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez, 2009; del Moral-Simanek *et al.*, 2010).

La engorda del AAA, se basa en alimentar a los peces principalmente con la sardina de Pacífico (*Sardinops sagax*), aunque ocasionalmente se alimenta con pelágicos menores como lo son la macarela y calamar (del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez,

2009; Martínez-Montaño *et al.*, 2010). Si bien la mayoría de los ranchos poseen sus propias embarcaciones para la pesca de sardina, la sostenibilidad de este recurso se encuentra en riesgo, debido a los grandes volúmenes que se necesitan en los ranchos atuneros. A consecuencia de que el AAA posee una conversión alimenticia entre 15 a 20 por 1; es decir, 15 a 20kg de sardina para subir un kg de peso, siendo cuatro veces mayor a lo que se reporta como el promedio para los peces carnívoros (Zertuche-González *et al.*, 2008; Martínez-Montaño *et al.*, 2010). Por lo tanto, la pesquería de pelágicos menores es actualmente uno de los principales obstáculos en el cultivo del AAA.

Actualmente la sostenibilidad de la sardina es preocupante. La cantidad que existe contrastada con la que se requiere para alimentar al AAA, no permitirá el crecimiento del cultivo, ni abastecer el mercado para consumo humano (del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez, 2009). Por lo tanto, es indispensable que se desarrollen dietas formuladas capaces de cubrir los requerimientos del AAA (Martínez-Montaño *et al.*, 2010) lo que se reflejará en una importante disminución en la presión de la pesquería de la sardina.

Si bien, las perspectivas de captura de atún también se ven en riesgo. En un estudio reciente hecho por Mullon *et al.* (2016), establecen a través de modelos matemáticos que calculan la sostenibilidad entre pesca, mercados, etc., calibrando su modelo con el cambio global como una alternativa para salvar la pesquería. De tal manera que el poder desarrollar dietas formuladas para el atún y contribuir a la sostenibilidad, harán que de una manera más fácil se pase de la engorda en cautiverio a producción en ciclo completo del atún. Lo anterior ayudará a la sostenibilidad de ambos recursos y se podrá continuar eficientemente su cultivo.

En el caso de la captura para engorda, el desarrollo de dietas novedosas, formuladas para alimentar AAA, se podrá lograr mediante procesos de elaboración como la extrusión, en donde al alimento se le pueden otorgar características como forma, sabor

y características fisicoquímicas específicas (Fan *et al.*, 2013). Lo anterior, se podrá reflejar en una reducción en el costo de producción del AAA debido a la facilidad de manejo y conservación del alimento en comparación con el uso de sardina congelada (Moral and Vaca, 2009; del Moral-Simanek *et al.*, 2010).

Pese a haber una serie de estudios relacionados con la fisiología digestiva del AAA (Matus de la Parra *et al.*, 2007; Martínez-Montaña *et al.*, 2010; Murashita *et al.*, 2014), no se ha podido desarrollar un alimento formulado con las características físico-químicas necesarias para ser poder ser ingerido por los organismos durante la etapa de engorda en los ranchos atuneros en México.

Biología del atún

Los túnidos son considerados como uno de los depredadores por excelencia de los sistemas pelágicos. El AAA posee un cuerpo fusiforme y robusto perfectamente adaptado para la natación (Fig. 1). Se trata de una especie altamente migratoria que puede llegar a alcanzar una velocidad media de 5.9 km/h y una máxima de entre 13 y 31 km/h (Graham and Dickson, 2004; Varela Fuentes, 2012).

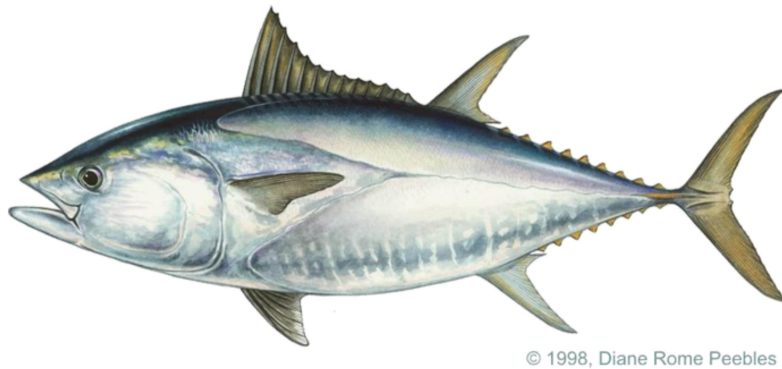


Figura 1. Atún aleta azul (*Thunnus orientalis*)

Una de las principales características de esta especie, que comparte con algunos de sus congéneres y con ciertos escualos, es su capacidad para elevar y mantener la temperatura corporal por encima de la temperatura ambiente, en ocasiones más de 10 °C (Graham and Dickson, 2004). Esto se consigue mediante un sistema de intercambio de calor por contracorriente, la "*rete mirabile*", formada por una red de vasos sanguíneos en dirección opuesta, formada por una serie de capilares que, además de generar calor por la fricción, impiden que el calor metabólico se escape. Por lo tanto, el pez puede mantener un metabolismo elevado y constante parecido al de los homeotermos. Además, le permite

habitar zonas del océano con un rango de temperaturas muy amplio (Graham and Dickson, 2004).

Distribución

El AAA se localiza geográficamente a través del Pacífico Norte con una amplia distribución (Fig. 2). En América desde el Golfo de Alaska hasta el sur de Baja California, mientras que en Asia del mar de Ojotsk al norte de Filipinas (del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez, 2009).

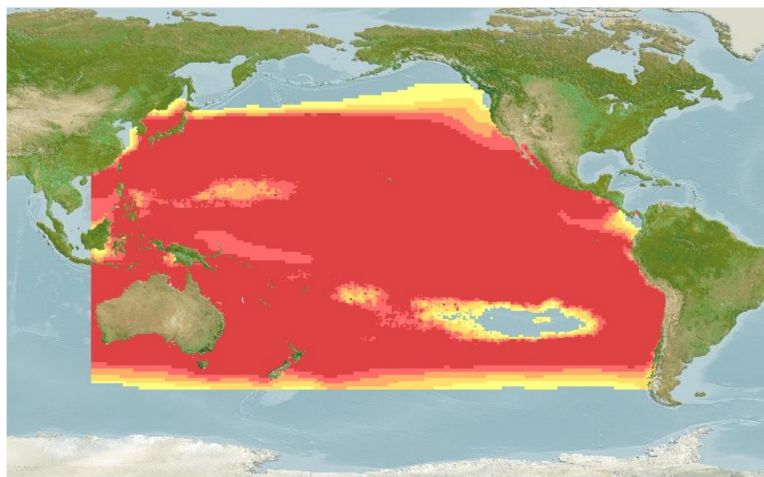


Figura 2. Localización geográfica de distribución del Atún Aleta Azul

El AAA comparte la pesquería con Estados Unidos, Canadá, Japón, Corea del Sur y Taiwán. Con quienes conforman una tratado para cuidar de la pesquería a través de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT), la cual regula las capturas mediante el establecimiento de cuotas (del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez, 2009). Entre estos países, Japón opera la mayor parte de la pesquería comercial, seguido por México, mientras que en Estados Unidos está destinada a la pesca deportiva a diferencia de

Corea y Taiwán como pesca incidental en barcos destinados a otras especies (del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez, 2009).

Producción

La engorda del AAA en los ranchos de engorda se basa en la captura y remolque de organismos vivos hasta sus corrales, en donde son mantenidos hasta llegar a la talla comercial. El producto final es vendido directamente en fresco, alcanzando precios promedios en Japón entre 181 y 394 dólares estadounidenses por kilo al mayoreo y supermercado respectivamente, en donde se consume en platos tradicionales como lo son el sushi y el sashimi (del Moral-Simanek *et al.*, 2010).

De esta manera, los ranchos atuneros se justifican como una opción viable para aprovechar un recurso de manera aparentemente sustentable. Ya que disminuyen la presión sobre la pesquería aportando mayores beneficios económicos con un menor volumen de extracción de recurso (SEMARNAT, 2005).

Los ranchos atuneros en México

La península de Baja California, está considerada como un lugar privilegiado por contar con una amplia variedad de especies de túnidos a distancias razonablemente cercanas a la costa. Entre las especies que destacan está el AAA, atún aleta amarilla y jurel. Adicionalmente, existen lugares en los que las características físicas y químicas del agua (temperatura, transparencia, corrientes, oxigenación, oleaje), facilitan el desarrollo de la maricultura (SEMARNAT, 2005).

El primer cultivo de atún aleta azul se llevó a cabo en 1997 en la Isla de Cedros, B. C. En tres años se lograron producir 64 toneladas de atún vivo. Para finales de 2003 el estado de Baja California ya contaba con 5 empresas y concesiones para poner otras

siete empresas de engorda de AAA en la zona (del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez, 2009).

Hace casi 20 años, cuando se instaló el primer rancho en Baja California, la engorda del AAA era una industria incipiente en el mundo, siendo en los países mediterráneos y asiáticos donde más ha crecido esta actividad (del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez, 2009). A raíz de que se instalaron los primeros ranchos, se abrió un mercado hacia Japón lo que ayudó a una tendencia al alza de los precios. Lo que favoreció el impulso de esta industria innovadora (del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez, 2009).

Extrusión

La extrusión es un proceso, que consiste en una cocción rápida, homogénea y continua. El cual se lleva a cabo de forma mecánica y con inducción de energía térmica. Este es utilizado en una gran variedad de materias primas como metales, plásticos, etc. En este caso es aplicada a los alimentos, que son expuestos a presión y temperatura altas, durante un periodo de tiempo corto (Bouvierand and Campanella, 2014) y así obtener alimentos cocidos, y con características de flotabilidad y formas específicas como lo requiera la industria. La extrusión opera de forma continua, con rendimiento alto y gran versatilidad. Dentro de la industria alimenticia se utiliza para preparar harinas vegetales con el fin de eliminar factores antinutricionales, así como para conformar productos alimenticios como cereales, botanas, etc. (Ecured, 2016).

Partes del equipo – Extrusor

Tolva

Es la primera parte del equipo, se utiliza para la introducción de las harinas hacia el equipo. Cuenta con un tornillo que proporciona un flujo constante de material hacia la zona de alimentación (acondicionador). Aquí las harinas deben de permanecer secas y con un tamaño de partícula mucho menor al dado por los dados de salida o moldes, evitando que la salida se tape.

Pre-acondicionador

Es la zona del extrusor en donde se lleva a cabo el acondicionamiento. Constituye el proceso el cual se encarga de calentar, hidratar y mezclar las materias primas secas antes de proceder a la extrusión. En este proceso se adiciona humedad y temperatura al

alimento en forma de vapor caliente.

Barril

Se refiere a la camisa hermética o chaqueta, que contiene al tornillo y cuenta con entradas de vapor y agua fría para regular la temperatura del alimento durante su paso, en su interior. Puede ser simple o compuesto en varias secciones, dependiendo de la marca. Cada sección es independiente en la circulación de vapor o agua fría para crear distintas condiciones a través de su paso. El barril contiene al tornillo en donde al girar genera una fuerte fricción contra él. El Barril termina con un dado en donde se pueden colocar insertos con los moldes en donde la masa es expulsada y cortada. El juego de cuchillos es adaptado al dado de salida para hacer los cortes.

En el barril, pueden distinguirse tres secciones principales: La zona de alimentación en donde ingresa la masa e inicia el proceso de cocción; la zona de compresión en donde el alimento ya sufre de cocción debido a la presión y calentamiento de la masa y por último, la zona de fusión. En esta última es la zona en donde una mayor presión es ejercida sobre la masa debido a la presión y resistencia que se ejerce sobre el dado de salida (Fig. 3).

Tornillo

El tornillo, al igual que el barril, puede ser simple o segmentado de acuerdo a la marca y tipo de extrusor. Este es el encargado de transportar el alimento a lo largo del extrusor. Se encuentra dentro del barril hermético con un espacio milimétrico entre ambos. La fricción producida entre el alimento y el barril, a su vez entre el alimento con el

tornillo es la causante de la cocción - aglutinación de la masa. Cuando el equipo cuenta con tornillos segmentados, éstos pueden ser colocados generando configuraciones únicas que aceleren o desaceleren el paso de la masa, incluso generando áreas de retorno para lograr una mayor cocción.

Dados

Los dados o moldes se encuentran en la parte final del extrusor y son los encargados de dar la forma al alimento. El dado es un elemento importante en donde se genera la presión final en sentido opuesto al flujo, lo cual influye en el incremento de la temperatura y presión dentro del extrusor, ocasionando directamente la expansión para los alimentos flotantes. En el caso de alimentos no flotantes, como para el camarón, al final del barril se puede adaptar una sección extra sin tornillo en donde se disminuye la presión de salida favoreciendo la compactación del producto, lo que ayuda a su densificación.

Cuchillas de corte

Son utilizadas para cortar el producto final del proceso de extrusión una vez que pasa por los dados. Dependiendo del tipo de alimento, pueden ser flexibles, rígidas o incluso estar compuestas por un hilo de acero en el caso de productos con un alto contenido de humedad. El tamaño de los pelets dependerá tanto de la velocidad del tornillo como de la velocidad de corte.

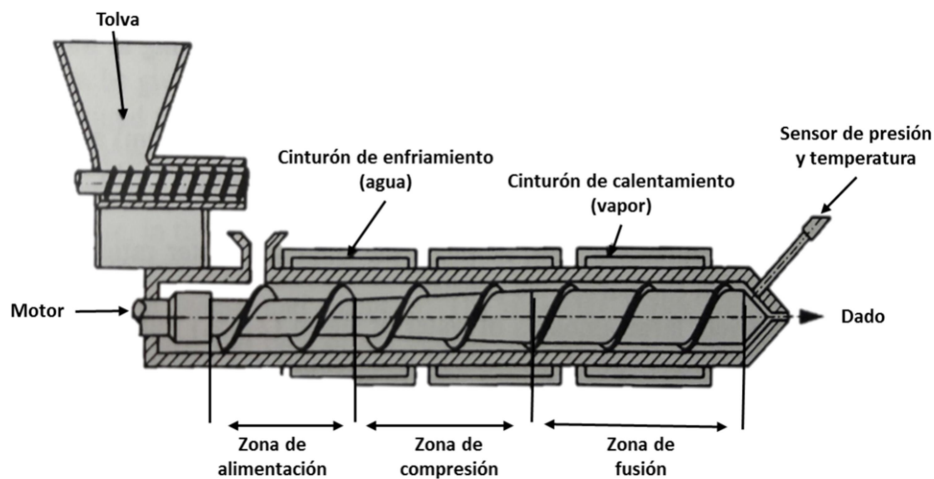


Figura 3. Diagrama de un extrusor (Guillaume *et al.*, 2001)

Procesos complementarios en el proceso de extrusión

Preparación de las harinas

Molienda

La mayoría de los ingredientes son producidos con una gran variedad de formas y tamaños de partícula, por lo que necesitan ser triturados o pulverizados para obtener partículas de un tamaño uniforme y necesario de acuerdo al proceso que se requiera. La molienda resultará en una posterior mezcla más homogénea de los ingredientes, además de depender del tamaño del pellet final. Al moler los ingredientes es preferible hacerlo de manera individual y con un tamaño de partícula no mayor a las 500 μ m, sobre todo cuando se pretende elaborar alimentos con un tamaño final de 1 a 2 mm de diámetro (Guillaume *et al.*, 2001; Hardy and Barrows, 2002).

Mezclado

El segundo paso en la elaboración de alimentos es la homogenización de los ingredientes, para producir una mezcla uniforme de los compuestos de la dieta. Si los ingredientes no se mezclan por una cantidad de tiempo suficiente, o si se mezclan por demasiado tiempo, se puede presentar una segregación de las partículas, lo que resultará en una mezcla no homogénea. El proceso de mezcla debe resultar en que cada uno de los pelets contenga la misma proporción de los ingredientes que fueron calculados en el momento de la formulación (Guillaume *et al.*, 2001; Hardy and Barrows, 2002).

Secado

Los pelets extruídos contienen una gran cantidad de humedad, por lo cual deben de ser secados para reducir la humedad a un 10 % o menos. Los secadores (Fig. 4) están constituidos por hornos grandes por los cuales los pelets son transportados a través de una banda donde el aire caliente es soplado sobre y a través del alimento. El secado es un proceso que toma aproximadamente entre 10 a 30 min. dependiendo del contenido de humedad y tamaño del pelet (Hardy and Barrows, 2002).

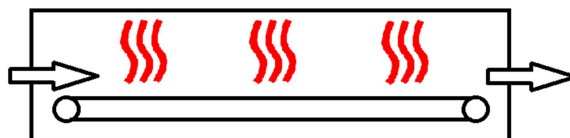


Figura 4. Esquema simplificado de un secador

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue el diseñar un alimento extruído que al menos presente las características organolépticas como textura, humedad, estabilidad y consistencia adecuada para ser ingeridos por el AAA bajo condiciones de cultivo.

Antecedentes

Alimentación

La engorda del AAA, se basa en alimentarlo con sardina fresca principalmente de la pesquería local. El AAA posee una conversión alimenticia de hasta 20 a 1, es decir, 20 kg de sardina para subir un kg de peso, siendo cuatro veces mayor a lo que se reporta como el promedio para los peces carnívoros (Zertuche-González *et al.*, 2008; Martínez-Montaña *et al.*, 2010).

El cálculo de la cantidad diaria de sardina que se debe arrojar diariamente en los encierros es con base en la estimación de la biomasa de cada corral, a razón del 5 por ciento de la biomasa total (del Moral-Simanek *et al.*, 2010). Además, debido al incremento de temperatura del agua, por el calentamiento global, el contenido de grasa en la sardina ha disminuido substancialmente (FAO, 2014). Esto da lugar a que el atún tenga que ingerir mayores cantidades de sardina para cubrir sus requerimientos energéticos diarios de proteína y grasa, pudiendo subir su conversión alimenticia hasta 25 kilos de alimento por kilogramo de biomasa (M. Gutiérrez¹, comunicación personal).

Es por esto que la sostenibilidad de la sardina es preocupante para poder seguir abasteciendo al mercado tanto para alimento del AAA como para consumo humano (del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez, 2009).

Una de las soluciones a las que se ha recurrido como medidas de emergencia ha sido importar sardina congelada de otros países, lo cual es poco rentable por los elevados gastos de transporte y conservación a temperaturas tan bajas. Además de que no resuelve el problema de la sostenibilidad de la pesquería de los pelágicos menores (sardina, anchoveta y macarela) (del Moral-Simanek and Vaca-Rodríguez, 2009; del

¹ M. Gutierrez, Baja Aquafarms S a de CV, Ensenada Baja California

Moral-Simanek *et al.*, 2010).

Estudios previos han probado la viabilidad del uso de alimento formulado para alimentar AAA en diversas etapas de desarrollo (Biswas, 2010). El desarrollo de dietas formuladas para alimentar al AAA, se podrá lograr mediante procesos de elaboración como lo son la extrusión, en donde al alimento se le puedan otorgar características como firmeza, forma, textura, densidad, humedad (Fan *et al.*, 2013). Lo anterior se reflejará en la sostenibilidad del recurso al no utilizar sardina fresca así como el gasto generado por la conservación de la misma. El alimento formulado se prevé que pueda ser almacenado a temperatura no mayor a los 15°C y no de congelación. A comparación de los costos de almacenamiento de la sardina congelada (del Moral and Vaca, 2009; del Moral-Simanek *et al.*, 2010).

En la Universidad de Kinki en Japón desde el 2002 se logró el desarrollo del ciclo completo del AAA, en donde se logró la aceptación de alimento formulado en todas las etapas, con buenos resultados de crecimiento en organismos cultivados. (Guillaume *et al.* 2001). Si bien el AAA puede ser adaptado a condiciones de cultivo dentro de un ciclo completo, existe el reto de adaptar a los atunes silvestres a dietas formuladas en vez de pelágicos menores. Periodo de adaptación que podrá variar de especie a especie y requerirá de una investigación más profunda, sobre todo de las silvestres.

Alimentos Extruídos

La preparación de alimentos formulados para peces implica el uso de una variedad de materias primas, para producir alimento, con ciertas especificaciones que cubran las necesidades de los organismos. Aparte de cubrir los requerimientos nutricionales, es necesario conocer las propiedades fisicoquímicas de los ingredientes para lograr una masa adecuada con propiedades viscoelásticas que permitan la formación de un pelet

estable, flotante y con la dureza adecuada (Thomas and van der Poel, 1996). Propiedades que pueden ser ajustadas durante la extrusión, con la humedad proporcionada a la masa, fricción y temperatura en el proceso de preparación (Singh *et al.*, 2007; Fan *et al.*, 2013). La humedad, temperatura, tiempo de retención, presión y fuerza de fricción durante la extrusión son determinantes para el proceso. Dichas propiedades se basan en la formación de complejos entre lípidos y carbohidratos que mejoran la textura de los pelets. Por otro lado, ayuda a desnaturalizar e inactivar ciertos factores antinutricionales que mejoran significativamente el desempeño de los animales. Si bien en el caso de atún no exista este problema, ya que las dietas no deberán contener ciertos ingredientes vegetales, como la soya, que frecuentemente resultan en propiedades negativas (Campos, 2011). Por último, la extrusión ayuda en la destrucción de patógenos que pudieran venir en su estado natural en las presas como la sardina (Bouvier and Campanella, 2014).

La cocción por extrusión es un proceso en el que de manera simultánea se mezclan, humedecen y texturizan los ingredientes (Guillaume *et al.*, 2001). Durante el proceso, los almidones y/o los materiales proteicos son gelatinizados y cocinados a través de un tornillo que pasa dentro del barril o chaqueta, expuestos a una combinación de humedad, presión (30 a 120 barómetros), temperatura (90 a 180 °C) y corte mecánico. Lo anterior resulta en reacciones químicas del alimento en un periodo muy corto de tiempo (menos de 30 segundos) que da lugar a las transformaciones del alimento.

Debido a que la mayoría de las harinas presentan una baja difusión térmica y alta viscosidad, es necesario trabajarlos en una capa delgada usando un tornillo que transportara el alimento a lo largo del extrusor. El agua ingresa desde el pre-acondicionador a través de vapor caliente, la cual es convertida a estado líquido bajo una gran presión y temperatura. A través de su tránsito en el tornillo a alta fricción y

temperatura, gran parte de esta agua se convierte en vapor al pasar por los dados y entrar en contacto con la presión atmosférica. Esta rápida transformación del agua crea pequeñas cápsulas de vapor en el alimento, lo que se refleja en un proceso de expansión por parte del alimento (Guillaume *et al.*, 2001; Hardy and Barrows, 2002).

Al salir del extrusor el alimento es cortado por unas cuchillas rotatorias automatizadas, las cuales darán el tamaño deseado dependiendo de la velocidad de giro de las cuchillas. Posteriormente los pelets son secados para reducir su humedad a un 10 – 12 % y finalmente es enfriado (Guillaume *et al.*, 2001; Hardy and Barrows, 2002).

Ingredientes para la elaboración de extruídos y sus propiedades funcionales

El deterioro de la calidad nutricional, debido a las grandes temperaturas, es uno de los principales retos en los métodos de cocción tradicionales. La cocción por extrusión es preferible a otros métodos de cocción de alimento debido a que el alimento permanece durante menor tiempo a altas temperaturas en comparación a otros procesos como la peletización. Además el hecho de que la presión sea uno de los atributos de la extrusión, hace que se lleguen a estados de mayor cocción en menor tiempo (Singh *et al.*, 2007).

En el proceso de extrusión las características propias de los ingredientes son muy importantes para lograr un alimento con las propiedades deseadas ya que éstas influyen significativamente en la capacidad calorífica, concentración de humedad (propiedades higroscópicas) fricción, gelatinización y expansión. Por ejemplo, las mezclas con un alto nivel de lípidos reducen significativamente la fricción entre los componentes de la dieta, por lo que se recomienda usar una menor cantidad de éstos en el alimento, y se recomienda hacer un recubrimiento final con los lípidos mediante aspersiona la dieta (Hardy and Barrows, 2002).

Fuentes Proteicas

Todos los animales deben tener una fuente adecuada de proteína para poder realizar las funciones de crecimiento o mantenimiento. Las proteínas son un grupo de compuestos químicos altamente complejos, compuestos por una secuencia de aminoácidos. Existen veinte aminoácidos más comunes que conforman la mayoría de las proteínas, como por ejemplo; isoleucina, leucina, lisina, metionina, alanina, fenilalanina, treonina, histidina, triptófano, y valina, los cuales son considerados como aminoácidos esenciales. El valor nutricional de las proteínas depende, no sólo de la cantidad, sino de la digestibilidad y la disponibilidad de aminoácidos esenciales (Singh *et al.*, 2007).

Fuentes lipídicas

Los lípidos son un grupo de moléculas de origen natural que incluyen grasas, ceras, esteroides, monoglicéridos, diglicéridos, triglicéridos, fosfolípidos, entre otros. Las principales funciones biológicas de los lípidos incluyen: el almacenamiento de energía, señalización, y son además componentes estructurales de las membranas celulares (Singh *et al.*, 2007).

La extrusión de materiales con alto contenido de grasa (mayores al 5 – 6 %) no es recomendable si se busca una alta expansión para producir pelets flotantes. Ya que debido al alto contenido en grasas, se reduce la fricción lo que reduce la presión dentro del barril lo que se refleja en un proceso de expansión deficiente (Singh *et al.*, 2007).

Carbohidratos

Son biomoléculas compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno, con la función principal de brindar energía inmediata. Comprenden un grupo de compuestos complejos y diversos, que incluye azúcares, almidón y fibra (celulosa, hemicelulosa y pectina). Los sacáridos se dividen en cuatro grupos principales: monosacáridos, disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos (Morrison and Boyd, 1998; Jobling, 2001).

Uno de los carbohidratos que más se favorecen el proceso de extrusión es el almidón, el cual es un polisacárido compuesto de unidades de glucosa unidas entre sí para formar largas cadenas. En la extrusión, las moléculas del almidón contribuyen a la formación de gel dando viscosidad al alimento (Singh *et al.*, 2007). Para un alimento flotante se requiere que el almidón se encuentre en un mínimo del 7% (Bouvier and Campanella, 2002) aunque es deseable más, sobre todo si las harinas utilizadas son de alta densidad (grasosas y con alta cantidad de proteína).

Micronutrientes

Se les llama micronutriente a todos aquellos elementos o sustancias que son utilizados en pequeñas cantidades por el organismo, siendo principalmente a las vitaminas; y minerales, además de los aditivos alimenticios que se utilizan para conservar el alimento, como antioxidantes, y antimicrobianos.

Vitaminas

Las vitaminas se definen como complejos orgánicos que se requieren para un metabolismo normal, pero que no se pueden sintetizar por el organismo. Las vitaminas son un grupo mixto de compuestos que no están estrechamente relacionadas entre ellas químicamente, por lo que ha sido relativamente fácil agruparlas en dos grandes grupos de acuerdo a su solubilidad: vitaminas liposolubles y vitaminas hidrosolubles. Las vitaminas liposolubles se absorben en el tracto digestivo junto con los lípidos y tienden a ser almacenados en el cuerpo, mientras que las vitaminas hidrosolubles no son almacenadas en cantidades considerables ya que son almacenadas por el cuerpo (Jobling, 2001).

Minerales

Los minerales se pueden definir como sustancias inorgánicas homogéneas, los cuales no pueden ser descompuestos o sintetizados por reacciones químicas (Campos *et al.* 2011). . Aunque los elementos minerales representan una porción menor de la composición de los alimentos, desempeñan papeles esenciales en la química de los alimentos y la nutrición. La mayoría de los minerales sirven como componentes estructurales de tejidos, intervienen en funciones del metabolismo celular y tienen un papel importante en los procesos de osmorregulación (Jobling, 2001; Singh *et al.*, 2007).

Hipótesis

El uso de distintas gomas y condiciones de proceso como humedad y temperatura, nos permitirá contar con un alimento que presente una textura firme con la flexibilidad necesaria para que sea atractiva para el atún aleta azul (*Thunnus orientalis*).

Objetivo general

Desarrollar una fórmula para atunes de engorda utilizando distintos tipos de goma y almidón, buscando las mejores características de textura y densidad que asemejen su alimento natural como lo son los pelágicos menores.

Objetivos específicos

- Medir el efecto de las distintas gomas en la textura de dietas con alto contenido de proteína y grasa en alimentos para el atún, contrastándolo con una dieta húmeda sin extraer.
- Medir el efecto del almidón en la textura de dietas para el atún.
- Evaluar el efecto de las gomas y dietas contenidas en el alimento para atún sobre la flotabilidad y estabilidad en el agua.
- Medir el efecto de la adición de una mezcla de ácido con glicerina sobre la textura de las dietas para atún.

Materiales y Métodos

Diseño experimental

La extrusión de los diferentes tipos de alimentos se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Alimentos para la Acuicultura (LINDEAACUA) del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma del Estado de Baja California (UABC), campus Sauzal, Ensenada Baja California.

Se utilizó una extrusora de tornillo segmentado (Extrutech Inc., E-325, Kansas, USA). Las distintas mezclas de los ingredientes secos, para cada una de las fórmulas, fueron colocadas en la tolva de alimentación y esta misma fue mantenida a una velocidad de flujo constante de $50 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$. Para el proceso de acondicionamiento se agregó agua por aspersion a una tasa constante de $16 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ y vapor de agua hasta obtener una masa visco-elástica homogénea.

Los distintos tratamientos se llevaron a cabo bajo condiciones diversas de extrusión para medir el desempeño de los diferentes alimentos producidos. Así como con el uso de distintos aglutinantes o gomas, así como bajo la presencia de un "Slurry". El desempeño se obtuvo al estimar través de su flotabilidad, expansión, y textura. Cada una de las diferentes características antes mencionadas fueron consideradas para apreciar el desempeño de cada uno los extruídos, los cuáles fueron comparados entre las diferentes formulaciones para su evaluación.

Los extruídos se produjeron con una temperatura del barril de $98 \text{ }^\circ\text{C}$ con una velocidad del tornillo de 180 rpm. Se utilizó una construcción de tornillo e inserto o molde diseñado especialmente para alimento de juveniles de atún (Fig. 5). El cual produce extruídos huecos con forma de "macarrón" para lograr un secado uniforme. Estos

alimentos extruídos pueden ser cortados acuerdo al tamaño del juvenil que se quiera alimentar pudiendo variar de 1 a 6 cm de longitud.

Varias pruebas fueron llevadas a cabo para determinar el tipo de partícula extruída que se buscaba de acuerdo a los ingredientes utilizados.



Figura 5. Inserto diseñado para la extrusión de alimento para Atún

Secado

Una vez salido del extrusor, el alimento fue transportado por medio de una banda elevadora vertical a un secador horizontal (Extru Tech modelo E325 Serie 11100-1) a una temperatura 120 °C. Debido a que el alimento extruído contenía una humedad del 30 %, se determinó que 15 min de secado serían suficientes para lograr reducir la humedad del alimento a un 6 %.

Recubrimiento (“Coating”)

Una vez secado el alimento se le adicionó una capa de aceite a los pelets mediante aspersión. Para asegurar una distribución homogénea en los pelets el aceite se

rocía dentro de un mezclador industrial Kushlan. Aquí se midió la capacidad de absorción del aceite en los pelets.

Enfriamiento

Para la producción de los extruídos se requiere de alta temperatura tanto en la extrusión como secado. Por lo que a su salida deben enfriarse para poder continuar con el resto del procedimiento. En este caso se utilizó un contenedor con aire en el fondo para secar en contra del flujo.

Generalidades en la preparación

Con el fin de desarrollar una fórmula con alto contenido en grasa y proteína, se presentan a manera de diagrama de flujo que muestra las diferentes pruebas que se desarrollaron a lo largo de este trabajo. Por lo tanto se presentan cuatro alternativas en la búsqueda de un alimento estable, flexible y con aceptación por los juveniles de AAA (Fig. 6)

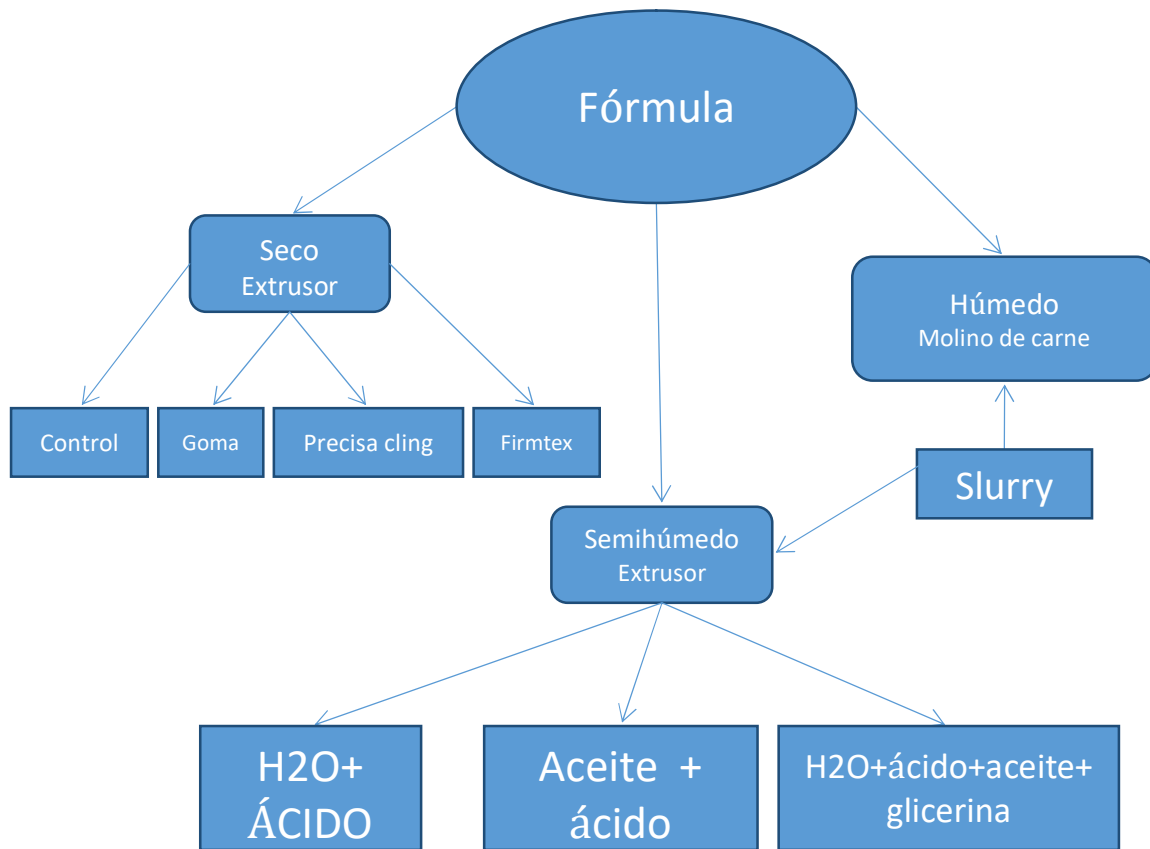


Figura 6. Diagrama de flujo para la elaboración de las distintas dietas

Preparación en húmedo (Dieta Húmeda)

Esta dieta se realizó como dieta base para comparar los beneficios de la extrusión. Para este fin, los ingredientes fueron pasados por un molino de carne sin pasar por el extrusor como a continuación se describe: Todos los ingredientes fueron pesados en una báscula industrial (TOR-REY EQ-10/20, México) (Cuadro 1). Posteriormente se homogenizaron en una mezcladora eléctrica (Robot Coup, R60) por 5 minutos junto con el slurry (Cuadro 2).

La mezcla fue colocada en un molino de carne (TOR-REY, 307), para obtener un alimento del diámetro deseado. Finalmente el alimento fue cortado a la longitud deseada con ayuda de un cuchillo de uso casero.

Se utiliza el término “*Slurry*” para definir un compuesto acuoso que contiene ingredientes específicos que se mezclaran directamente con el resto del alimento durante el proceso de extrusión.

Extrusión con alimentos en seco (Dieta Seca)

Se pesaron por separado los ingredientes que se utilizaron en cada una de las distintas dietas en una balanza industrial (TOR-REY, EQB-W). Los ingredientes fueron homogenizados por 5 minutos en una mezcladora eléctrica (Kushlan Products, LLC.) y almacenados para su posterior extrusión.

Los diferentes tipos de alimento fueron sujetos a las mismas condiciones de extrusión, secado y corte mencionadas anteriormente. La formulación de ésta dieta se encuentra en el Cuadro1.

Una vez finalizado el proceso de extrusión para cada una de las dietas, se almacenaron en costales, para su posterior utilización en los cultivos de atún. Durante el

proceso de extrusión, se tomaron muestras de cada uno de los tratamientos para determinar las variables fisicoquímicas de los pelets.

Extrusión de alimentos semi-húmedos con SLURRY añadido (Dietas Ácido, Aceite, Glicerina)

Estos alimentos fueron extruídos bajo las mismas condiciones mencionadas en las secciones anteriores. Sin embargo, el Slurry utilizado fue introducido directamente en el acondicionador del extrusor mediante la ayuda de una bomba peristáltica (Thermo Fisher Scientific, 75211-30). La formulación de ésta dieta se encuentra en elCuadro1.

Tres diferentes tipos de Slurry fueron utilizados en las diferentes dietas (Cuadro2)

- **Dieta con Ácido:**
 - Agua + 8 %ácido fosfórico.
- **Dieta con Aceite:**
 - Aceite + 8 % ácido fosfórico
- **Dieta con Glicerina:**
 - 8% ácido fosfórico en agua + 2 %glicerina.

Cinco dietas fueron formuladas para la realización de este experimento. A continuación se presenta los diferentes ingredientes utilizados para la preparación de cada una de las dietas.

Cuadro I. Ingredientes para la formulación de las cinco dietas utilizadas

	HÚMEDO	SECO	ÁCIDO	ACEITE	GLICERINA
Soya			30.0		
Harina de pescado	52.9	45.1	32.6	80.7	37.7
Harina de ave	20.5	17.1	25.8		31.1
Harina de trigo	17.5	15.1		5.7	15.9
Almidón de maíz			6	3.8	6.1
Firmtex¹		10	3	2.5	
Precisa cling¹		10			
Goma¹		0.5			1
Grenetina²	6			5	6
Rovimix	1	1	1.2	1	1
Stay C	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Benzoato de sodio	0.9	0.9	0.9	0.2	0.4
Cloruro de colina	0.23	0.23	0.2	0.4	0.2
BHT	0.09	0.09	0.1	0.2	0.2
Total en peso seco	99.32	100.2	100	99.7	100.2
Slurry (%)	28.9		5.2	40.5	40.5

¹Donados por la Compañía Ingredion SA de CV, México

²Grenetina compuesta por colágeno de res

Las dietas fueron enriquecidas con una serie de ingredientes a manera de “*slurry*”.

A Continuación se muestra la formulación de los diferentes “*slurrys*” utilizados en el presente experimento

Cuadro II. Ingredientes utilizados para la formulación del "slurry"

	HÚMEDO	SECO	ÁCIDO	ACEITE	GLICERINA
Aceite de pescado	12	3.2		10.8	9
Ácido fosfórico al 75%	8		2.5	2.5	2.5
Glicerina	10				2
Agua	78		97.5	86.7	27
TOTAL	100		100	100	

Variables de respuesta

Debido a que en la presente tesis se quiere desarrollar una dieta que sea consumida por el AAA en condiciones reales de cultivo (granjas), se puso especial atención en medir la dureza y la flotabilidad como variables de respuesta.

Capacidad de absorción de aceite después del secado (dietas secas)

Los pelets después del secador se les agregó el "coating" o recubrimiento de aceite para medir la capacidad de absorción. Esto se determinó por peso.

Flotabilidad

La flotabilidad se determinó mediante el porcentaje de partículas que se mantuvieron en la superficie después de permanecer 5 min en el agua de acuerdo a

Panoja *et al.* (2011). Con este fin se utilizaron vasos de precipitado de 2L en donde se pusieron 10 pelets en cada prueba. Utilizando agua de mar a 25 °C.

Dureza

La dureza se determinó mediante la fuerza necesaria para causar la fractura de la partícula de alimento (Thomas and van der Poel, 1996). Con este fin, pelets recién humedecidos (1 min) fueron sometidos a un texturómetro (HUMBOLDT MFG. CO.) Este último consiste en un péndulo que se lanza con una fuerza definida y mide los mm de penetración. La fuerza puede variarse y se determina la fuerza necesaria para romper la partícula. Este procedimiento estima la dureza de un pelet. Esta prueba se realizó utilizando 2 partículas de cada uno de los alimentos elaborados

Análisis Proximales

Para asegurarnos que las propiedades de las dietas elaboradas eran las apropiadas para el AAA y la formulación que se realizaron fueron formuladas de manera exitosa, se realizaron análisis proximal a las dietas terminado su respectivo proceso de elaboración.

Mediante estos análisis se determinó contenido de humedad, proteína cruda (nitrógeno total), lípidos, cenizas y extractos libre de nitrógeno (E.L.N.). Los análisis proximales se desarrollaron de acuerdo a lo establecido por la AOAC (1990). Todos los análisis fueron realizados por triplicado y obtenido un valor promedio.

El contenido de proteína cruda se determinó con el método de micro-Kjeldahl, (con un factor de 6.25 al contenido de nitrógeno). La humedad se estimó gravimétricamente por diferencia en peso entre la muestra inicial y la deshidratada a 100 °C por 24 horas a

peso seco constante (AOAC, 1990).

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = 100((B-A) - (C-A))/(B-A)$$

En donde:

A = Peso de la navecilla seca y limpia (g)

B = Peso de la navecilla + muestra húmeda (g)

C = Peso de la navecilla + muestra seca (g)

Los lípidos totales fueron cuantificados utilizando el método de Soxhlet utilizando éter de petróleo como solvente extractor.

$$\text{Contenido de lípidos crudos (\%)} = 100((B - A)/C)$$

En donde:

A = Peso del matraz limpio y seco (g)

B = Peso del matraz con grasa (g)

C = Peso de la muestra (g)

Finalmente, las cenizas se calcularon mediante la incineración de la materia orgánica a una temperatura de 500 °C por 6 horas (AOAC, 1990).

$$\text{Contenido de Ceniza (\%)} = 100((A - B)/C)$$

En donde:

A = Peso del crisol con muestra (g)

B = Peso del crisol con ceniza (g)

C = Peso de la muestra (g)

Análisis estadísticos

Para determinar la existencia de diferencias significativas entre las distintas dietas extruídas se utilizó un análisis de varianza de una vía para muestras paramétricas (ANOVA), con un nivel de significancia de $p < 0.05$. En el caso de existir diferencias estadísticamente significativas, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el software estadístico SigmaStat 12.0.

Resultados

Capacidad de absorción de aceite

Ningún pelet seco logró incorporar más allá de un 2% de aceite.

Flotabilidad

Cada una de las diferentes dietas presentó un tiempo de permanencia diferente en la columna de agua (Fig. 7). La dieta FIRMTEX presentó un tiempo de flotabilidad significativamente mayor ($P < 0.05$) al resto de las dietas con 7.80 ± 0.2 min. La segunda dieta que presentó un mayor grado de flotabilidad, fue GOMA con 5.53 ± 0.4 min, mientras que la PRECISA y CONTROL se hundieron a los 3.76 ± 0.4 min. Mientras que tanto la dieta GLICERINA como ÁCIDA, se hundieron de inmediato ($P < 0.05$).

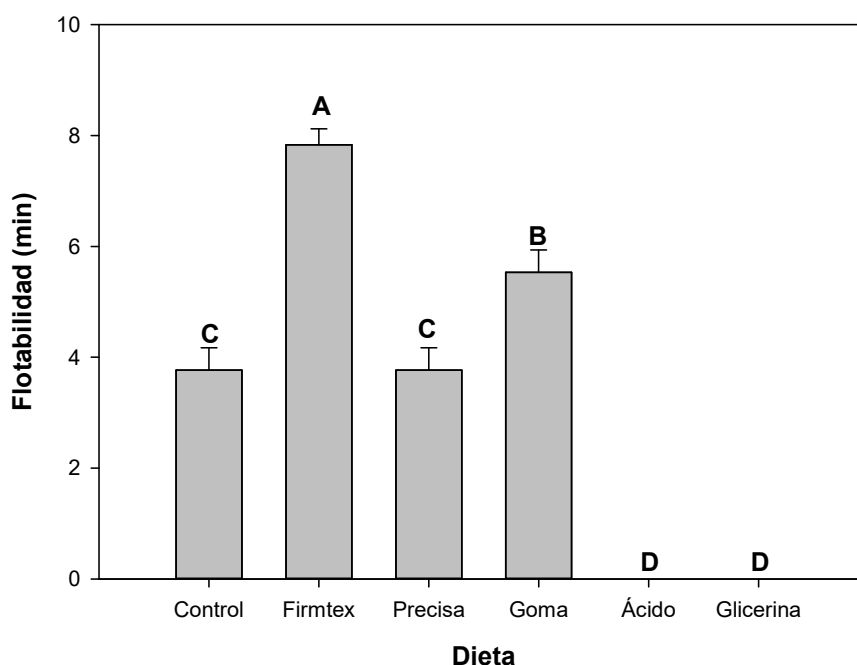


Figura 7. Tiempo de flotabilidad (min) de las cinco dietas experimentales

Dureza

La dureza de los pelets se modificó por las diferentes formulaciones. La dureza de las dietas está determinada por la penetración del péndulo en los pelets, siendo las dietas más duras las que presentan menor nivel de penetración. En las pruebas realizadas no se presentaron diferencias significativas (Fig. 8).

Sin embargo, los valores mayores se presentaron con la dieta FIRMTEX ($23.5 \pm 4.4 \text{ Kg / cm}^2$), seguida por la dieta Precisa ($29.7 \pm 7.2 \text{ Kg / cm}^2$) y H₂O+GL ($27.2 \pm 9.9 \text{ Kg / cm}^2$). Contrastando con la dietas GOMA ($34.6 \pm 12.2 \text{ Kg / cm}^2$), CONTROL ($32.2 \pm 6.5 \text{ Kg / cm}^2$) y Dietas Ácida y Glicerina ($31.0 \pm 4.6 \text{ Kg / cm}^2$) quienes presentaron la menor dureza.

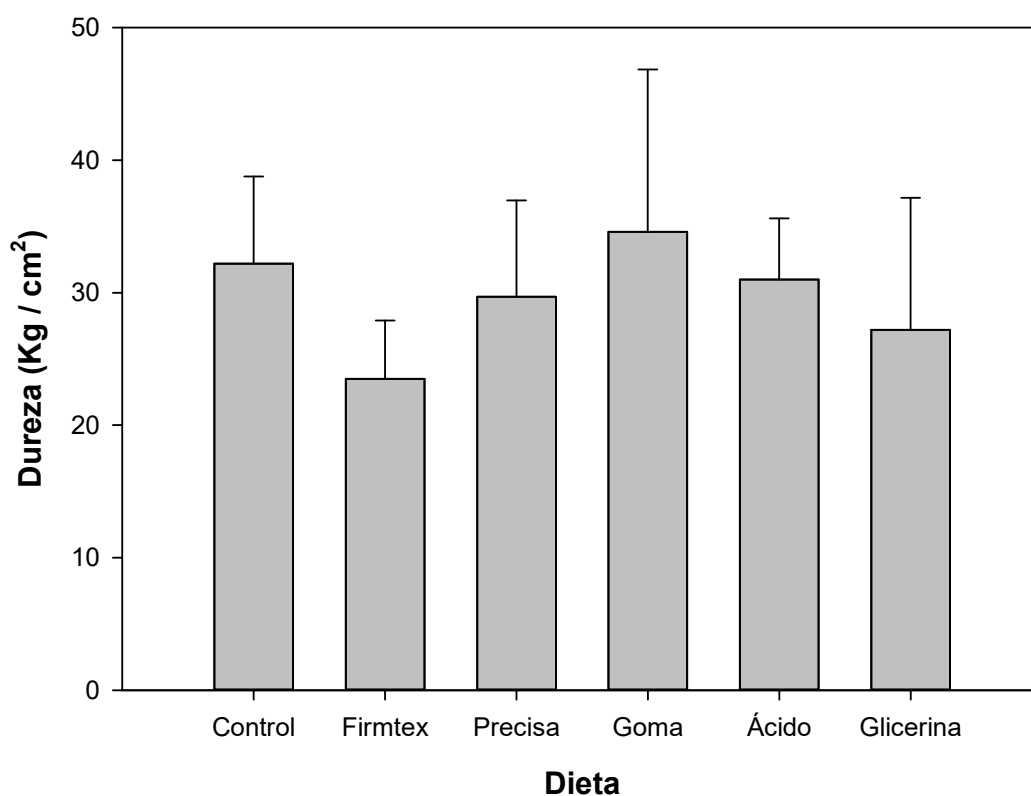


Figura 8. Niveles de dureza presentes en las distintas dietas

Análisis proximal

De las 5 dietas experimentales, la que presentó el mayor contenido de proteína fue la dieta HÚMEDA, mientras que la dieta GLICERINA fue la que obtuvo los niveles más bajos. Los niveles más altos de lípidos estuvieron presentes en la dieta ACEITE, mientras que la dieta ÁCIDO, fue la que obtuvo los valores más bajos (Cuadro 3).

Con relación al contenido de ceniza se obtuvo un resultado muy similar entre las distintas dietas que van de 5.37 hasta 10.7 (Cuadro 3). Las dietas HÚMEDA y ACEITE obtuvieron valores muy similares en humedad, siendo más elevados en comparación al resto de las dietas (Cuadro 3). El extracto libre de nitrógeno (E.L.N.) se encontró los niveles más altos en la dieta GLICERINA, contrastando con los bajos valores obtenidos con la dieta HÚMEDA (Cuadro 3).

Cuadro III. Resultados del análisis proximal dado en peso seco de las cinco dietas experimentales. La Humedad se reporta como aquella contenida en las dietas finales.

	Húmedo	Seco	Ácido	Aceite	Glicerina
Humedad	32.17	6.54	5.95	34.0	12.61
Proteínas¹	59.1	47.11	56.5	52.0	52.53
Lípidos¹	14.0	18.8	9.9	21.6	16.5
Cenizas¹	10.7	8.50	7.6	8.5	5.37
E.L.N.*¹	15.6	25.6	25.9	22.9	25.6
Total	99.4	100.0	99.9	100	100

*E.L.N. es el extracto libre de nitrógeno determinado por diferencia después de estimar la proteína, lípidos y cenizas (ELN= 100 – (PC + GC + C)

¹ Se presenta en base seca

Discusión

Si bien el presente trabajo tenía como objetivo el desarrollo de dietas alternativas para el atún aleta azul (*Thunnus orientalis*), los resultados aquí obtenidos muestran tan sólo un avance en este desarrollo. En este trabajo se utilizó el proceso convencional que se desarrolla en los laboratorios (molino de carne) para comparar el efecto de la extrusión. Se utilizó una fórmula para peces carnívoros con alta proteína y grasa, buscando las mejores cualidades de textura y densidad. Si bien se incorporó almidón, así como distintos tipos de enlazantes y gomas para favorecer la expansión, flotabilidad y textura, las distintas combinaciones nos dieron resultados parciales. Dentro de los distintos enlazantes y gomas se encuentran el almidón crudo, Firmtex, goma y precisa cling. La presencia de Firmtex fue la que dio mayor flotabilidad, pero al agregar el “slurry” para conformar los pelets con Ácido y Glicerina no se presentó flotabilidad alguna. Los atunes son carnívoros voraces y por tanto, la flotabilidad no es tan importante. Mientras que la textura si lo sea. Entre las distintas combinaciones obtenidas no se observaron diferencias significativas entre la dureza, probablemente por la alta variabilidad encontrada en las muestras.

La dureza es una variable de respuesta que puede ser medida de muchas maneras. En este trabajo se optó por medirla como la fuerza necesaria ejercida hasta causar la ruptura del pelet. Esta forma de medición, da de manera indirecta la dureza del pelet más que la flexibilidad o elasticidad. La textura puede ser también estimada en términos de elasticidad que se define como la propiedad que tienen ciertos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando son sometidos a una fuerza mecánica. para este trabajo, hubiera sido interesante estimar la elasticidad, el tipo de alimento obtenido no se prestó para este tipo de estimaciones, ya que en ningún caso logró deformarse el alimento para observar el retorno de la deformación. Características que nos podrían dar

más el parecido a una sardina fresca que a un pelet inerte.

El mecanismo de alimentación de los atunes consiste que al abrir la boca para ingerir su alimento presas completas; una serie de arcos braquiales colocados al interior se abren para dejar entrar a la presa. (Buentello *et al.*, 2016), De tal manera que al cerrar la boca lo retenga entre sus arcos braquiales y pase al esófago, impidiendo su salida. Sin embargo, cuando el atún rechaza el alimento vuelve a abrir la boca, abriendo nuevamente los arcos braquiales dejándola salir. De acuerdo a Buentello *et al.* (2016), el AAA se adapta a cualquier tipo de presa disponible. Sin embargo, cuando los peces no están acostumbrados a cierto tipo de alimento tienden a rechazarlo, volviendo a abrir la boca, y por ende expulsándolo hacia el agua, actividad que no es problema mientras se traten de distintas presas vivas. Por lo anterior, el contar con una textura adecuada el pelet es de importante para facilitar su acostumbamiento y consumo. En este trabajo se hicieron unas pruebas no formales, sin experimentación alguna, con el propósito de observar si los pelets eran comidos. Si bien sólo se probaron los primeros que se hicieron, si se observó claramente la ingestión de los mismos, lo cual da una amplia posibilidad para el éxito de este proyecto.

Al día de hoy, no existe una metodología exacta que sirva para ser aplicada a los pelets terminados para estimar su calidad de acuerdo a la textura. Los distintos equipos disponibles en la industria para evaluar la calidad de los pelets se basan en la determinación de dureza, flexibilidad, textura, así como eficiencia de corte. Otro tipo de medidas que estiman la extrusión y han sido utilizados para los pelets destinados a peces y mascotas, son la valoración de la densidad y expansión (Tyapkova *et al.*, 2016). En cuanto a la textura en este trabajo se utilizó el método recomendado que se basa en la capacidad de penetrar el producto, tal y como lo recomiendan diversos autores (Tyapkova *et al.*, 2016). Sin embargo, en la actualidad estos equipos se han ido modernizando con distintos aditamentos que permiten hacer mediciones más precisas, que aquí no fue

posible estimar.

El proceso de extrusión no estaba configurado para hacer pelets flotantes, y no se esperaba que éstos expandieran, sin embargo esta medición se lleva a cabo para valorar si un posible exceso en almidón pudiera estar causando algo de expansión. La expansión en pelets húmedos pudiera tener una cierta incidencia sobre la textura pero no cuando éstos están siendo evaluados en seco. Sin embargo, al humedecerse pudieran también cambiar su textura a una más suave. Este no fue el caso aquí presentado, pero sería probable recomendar el humedecer los pelets antes de entregarlos a los atunes.

La composición proximal obtenida es el reflejo de la formulación presentada en el Cuadro 1. Ya que estos pelets son densos, resulta imposible adicionar grasa (“*coating*”) después del secado. Este aceite es absorbido, sólo si el pellet se expande generando porosidad producto de las bolsas de aire formadas al salir del dado. Aquí se comprobó que en ningún caso los pelets secos fueron capaces de absorber más de un 2% de aceite. Por ésto, es recomendable agregar el aceite durante el proceso desde el pre-acondicionador y así asegurarse de la cantidad de aceite que se necesita. En los alimentos con “*slurry*” se les agregó aceite en el pre-acondicionador como se observa en el Cuadro 2. La baja capacidad de absorción del aceite indica la baja expansión de los pelets, los cuales de manera lógica no se logró debido al alto contenido en proteína y grasa.

Los procesos y combinaciones aquí presentadas conforman la base de futuros proyectos para el desarrollo de dietas para atún en donde se deberá poner más énfasis en la adición de la grasa para poder cubrir los requerimientos del atún en su forma de pelets húmedos con textura elástica.

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo, se concluye que para poder terminar un pelet con el nivel de grasa adecuada (hasta 20%) será necesario agregarla al proceso y no como recubrimiento. Esto, ya que los pelets al no presentar una

expansión pierden su capacidad de absorción de grasa. Si bien las gomas aportan cierta textura más suave, al secarse se pierde. Los alimentos cuando fueron probados en húmedo con el atún fueron ingeridos, lo cual crea un buen precedente.

Se recomienda seguir probando nuevas formulaciones con alto contenido de grasa en la masa, y de alguna manera tratar de retener lo más posible la humedad para que sean ofrecidos los pelets en forma semihúmeda.

Bibliografía Citada

- AOAC. 1990. Association of official analytical chemists. Agricultural chemicals; Contaminants; Drugs. Vol. 15 edition. 684 pp.
- Avilés Quevedo, A., Castelló Orvay, F. 2004. Manual para el cultivo de *Seriola lalandi* (pisces: Carangidae) en Baja California Sur, México. Instituto Nacional de Pesca. Dirección General de Investigación en Acuicultura. Secretaría de Acuicultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), México, D.F. 17-18.
- Biswas, B.K., Ji, S.C., Biswas, A.K., Seoka, M., Kim, Y.S., Kawasaki, K.I., Takii, K. 2009. Dietary protein and lipid requirements for the Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* juvenile. *Aquaculture*, 288, 114-119.
- Biswas, B.K. 2010. Establishment of formulated diet for rearing juvenile bluefin tuna. *Bull fish Lab Kinki Univ* 129, 71–129.
- Boouvier and Campanella. 2002. Extrusion processing technology Food and Non Food Biomaterials. isbn: 978-1-4443-3811-9. 530 pp.
- Brown, M.R., Jeffrey, S.W., Volkman, J.K., Dunstan, G.A. 1997. Nutritional properties of microalgae for mariculture. *Aquaculture* 151, 315–331.
- Buentello A., Benetti, D., Partridge G., 2015. Advances in tuna aquaculture from hatchery to market. Elsevier Science. 376 p.
- Campos M.P., Castillo U.P., Estudillo M., Guzman G., Lopez A., Navarro C., Ramirez S., Roman M. del P., Zenteno B.E. 2011. Guía de estudios para preparar examen extra de química 1. Universidad Nacional Autónoma de México. Colegio de Ciencias y Humanidades plantel sur. Área de ciencias experimentales. 35-37.
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., Métailler, R. 2001. Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans, 1st ed. Chichester, UK. A

- Campos M.P.,Castillo U.P.,Estudillo M.,Guzman G., Lopez A.,Navarro C., Ramirez s., Roman M. del P. y Zenteno B.E. 2011. Guia de estudios para preparar examen extra de quimica 1.Universidad Nacional Autonoma de Mexico. Colegio de ciencias y humanidades plantel sur.area de ciencias experimentales. 35-37.
- Ecured.conocimiento para todos. 23 de noviembre 2016. alimentos extruidos.informacion en linea (https://www.ecured.cu/Alimentos_extruidos).
- del Moral, R.J., Vaca, J. 2009. Administración de la pesquería del atún aleta azul en Baja California, Una visión global. *Front. Norte* 21, 151–175.
- del Moral-Simanek, R.J., Vaca-Rodríguez, J.G. 2009. Captura de atún aleta azul en Baja California, México : ¿pesquería regional o maquiladora marina? *Región y Soc.* XXI, 159–190.
- del Moral-Simanek, R.J., Vaca-Rodríguez, J.G., Alcalá Álvarez, M. del C. 2010. Análisis socioeconómico e interrelación de las pesquerías de sardina y atún aleta azul en la región noroeste de México. *Región y Soc.* 22, 9–29.
- Fan, F.H., Ma, Q., Ge, J., Peng, Q.Y., Riley, W.W., Tang, S.Z. 2013. Prediction of texture characteristics from extrusion food surface images using a computer vision system and artificial neural networks. *J. Food Eng.* 118, 426–433.
- FAO, 2006. El estado mundial de pesca y la acuicultura. Dirección de politicoas y planificación pesqueras ISBN:9789253055685-ISSN:1020-5500.
- FAO, 2014. The State of World Fisheries and Aquaculture 2014, Food and Agriculture Organization of the United Nations.<http://www.fao.org/3/a-i3720e.pdf>
- Graham, J.B., Dickson, K.A. 2004. Tuna comparative physiology. *J. Exp. Biol.* 207, 4015–4024.
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., Métailler, R. 2001. Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans, 1st ed. Chichester, UK. 391 p.

- Hardy, R., Barrows, F. 2002. Diet Formulation and Manufacture, in: Halver, J., Hardy, R. (Eds.), Fish Nutrition. San Diego, California, USA, pp. 506–596.
- Herrero, C., Cid, A., Fabregas, J., Abalde, J. 1991. Yields in biomass and chemical constituents of four commercially important marine microalgae with different culture media. *Aquac. Eng.* 10, 99–110.
- Jobling, M., 2001. Feed composition and Analysis, In: Houlihan, D., Boujard, T., Jobling, M. (Eds.), Food Intake in Fish. Oxford, U.K., pp. 398–400.
- Luchini L. 2010. BENEFICIOS NUTRICIONALES Y DE SALUD DEL PRODUCTO “PESCADO”. Paginas. 2.
http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos//101210_Beneficios%20nutricionales%20y%20de%20salud%20del%20producto%20pesca%20do.pdf.
- Lazo, J.P. 2000. Conocimiento actual y nuevas perspectivas en el desarrollo de dietas para larvas de peces marinos, En: Cruz-Suarez, L.E., Rique-Marie, M., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M.A., Civera-Cerecedo, R. (Eds.), Avances En Nutrición Acuicola. Memorias Del V Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. Mérida, Yucatán. México, pp. 300–312.
- Martínez-Montaña, E., Peña, E., Focken, U., Viana, M.T. 2010. Intestinal absorption of amino acids in the Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*): In vitro uptake of amino acids using hydrolyzed sardine muscle at three different concentrations. *Aquaculture* 299, 134–139.
- Matus de la Parra, A., Rosas, A., Lazo, J.P., Viana, M.T. 2007. Partial characterization of the digestive enzymes of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* under culture conditions. *Fish Physiol. Biochem.* 33, 223–231.
- Morrison, R.T., Boyd, R.N. 1998. Química Orgánica. Addison Wesley Longman de México, SA de CV. 1472 p.

- Mullon, C., Guillotreau, P., Galbraith, E.D., Fortilus, J., Chaboud, C., Bopp, L., Aumont, O., Kaplan, D. 2016. Exploring future scenarios for the global supply chain of tuna. Deep-Sea Research II. doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.08.004.
- Murashita, K., Matsunari, H., Kumon, K., Tanaka, Y., Shiozawa, S., Furuita, H., Oku, H., Yamamoto, T. 2014. Characterization and ontogenetic development of digestive enzymes in Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* larvae. Fish Physiol. Biochem. 40, 1741–1755.
- Pantoja J. O., Sanchez S. M., Hoyos J. L. Obtención de un alimento extruido para tilapia roja (*Oreochromis spp*) utilizando ensilaje biológico de pescado. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Vol. 9, 178-187.
- SEMARNAT.2005. Engorda y comercialización de atun aleta azul en Bahía Salsipuedes, B.C. Manifestación de impacto ambiental. paginas. 3 información en línea (<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/bc/estudios/2005/02BC2005P0004.pdf>).
- Singh, S., Gamlath, S., Wakeling, L. 2007. Nutritional aspects of food extrusion: A review. Int. J. Food Sci. Technol. 42, 916–929.
- Thomas, M., and van der Poel, A.F.B. 1996. Physical quality of pelleted animal feed 1. Criteria for pellet quality. Anim. Feed Sci. Technol. 61, 89–112.
- Typkova, O., Osen, O., Wagenstaller, M., Baier, B. 2016. Replacing fishmeal with oilseed cakes in fish feed - A study on the influence of processing parameters on the extrusion behavior and quality properties of the feed pellets. Journal of Food Engineering 191, 28-36.
- Varela Fuentes, J.L. 2012. Biología Trófica del Atún Rojo (*Thunnus thynnus*) en el Atlántico Oriental y Mediterráneo. Universidad de Cádiz.
- Zertuche-González, J.A., Sosa-Nishizaki, O., Vaca Rodríguez, J.G., Yarish, C. 2008. Marine Science Assessment of Capture-Based Tuna (*Thunnus orientalis*) Aquaculture

in Ensenada Region of Northern Baja California, México. Final Rep. Binatl. Sci. Team to Packard Found. Los Altos, C.A. 50-51.

Zhao, X., Wei, Y., Wang, Z., Chen, F., Ojokoh, A.O. 2011. Reaction kinetics in food extrusion: methods and results. *Crit. Rev. food* . 51, 37–41.