

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



**DESARROLLO TECNOLÓGICO DE ALIMENTOS EXTRUÍDOS PARA
PECES EN ETAPA INICIAL**

TESIS

**QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA
OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

PRESENTA

PEREZ JULIO GADDUM

ENSENADA BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. JULIO 2015

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
POSGRADO EN OCEANOGRAFIA COSTERA

DESARROLLO TECNOLÓGICO DE ALIMENTOS EXTRUÍDOS PARA
PECES EN ETAPA INICIAL

TESIS

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

MAESTRO EN CIENCIAS

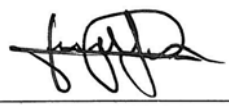
PRESENTA

PEREZ JULIO GADDUM

Aprobado por



Dra. María Teresa Viana Castrillón
Directora de Tesis



Dr. Juan Pablo Lazo Corvera

Sinodal



Dr. Asdrúbal Martínez Díaz
de León
Sinodal

RESUMEN de tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias que presenta **PEREZ JULIO GADDUM** como requisito para su titulación al posgrado de **OCEANOGRAFIA COSTERA**, con orientación en **NUTRICIÓN Y FISIOLOGÍA**.
Ensenada, Baja California, México. Julio 2015

DESARROLLO TECNOLÓGICO DE ALIMENTOS EXTRUIDOS PARA PECES EN ETAPA INICIAL

Resumen aprobado por:

Dra. María Teresa Viana Castrillón

Uno de los principales retos en la acuicultura es la producción eficiente de alimento balanceado con un diámetro menor a 2mm para peces en etapa inicial. La fabricación de alimento para peces se lleva a cabo, generalmente, mediante la extrusión; proceso que implica la cocción y expansión de los ingredientes a alta temperatura y presión. Los ingredientes responden de manera diversa a las distintas condiciones de proceso dependiendo de su naturaleza y contenido de nutrientes. Lo que resulta en productos finales con características físicas distintas, tales como: elasticidad, expansión, dureza, densidad y flotabilidad. Durante el proceso de fabricación puede haber dificultades de acuerdo a la elasticidad de la masa procesada lo cual puede resultar en partículas alimenticias que presentan distorsiones con lo que aglomeran el producto e impide su separación, sobre todo en los más pequeños en donde se utilizan matrices de salida con un gran número de orificios. El trigo es un material altamente elástico por su contenido de gluten, a diferencia del maíz cuya proteína presenta un comportamiento más rígido. En este trabajo, mediante un diseño experimental con tres niveles, de sustitución de la harina de trigo por harina de maíz (0, 50 y 100%) por triplicado, cuyo objetivo fue incrementar la eficiencia de corte al disminuir la elasticidad de la masa. Con tal fin se elaboraron tres dietas sustituyendo la fuente de carbohidratos incluida en un 13% quedando las dietas con un contenido de 13% trigo, otra con 6.5% trigo y 6.5% de maíz y la tercera con 13% de maíz, bajo las mismas condiciones de extrusión.

(Maíz0, Maíz50 y Maíz100). Después de elaborar los extruídos y evaluar las características físicas y de calidad de los tres tratamientos por triplicado (en lotes de 100kg), se concluye que si bien la proteína del maíz mejora las características la eficiencia de corte; la densidad y flotabilidad se vieron disminuidas. Se discute como las diferencias en el tipo de proteína (gluten o zeína) pueden influir sobre estas características físicas aún cuando su incorporación es baja (13% en la formulación). Dentro de las variables de respuesta obtenidas se mostró una eficiencia de corte del 70.3% en la dieta Maíz100 en comparación de y 50.7 y 45.9 % para los tratamientos Maíz50 y Maíz0. Sin embargo la estabilidad en agua a los 5 minutos de inmersión, así como la dureza en el extruído terminado no mostró diferencias significativas. La sustitución completa trigo (Maíz100) presentó un índice de expansión de 1.6 contra 1.8 y 1.9 para los tratamientos Maíz50 y Maíz0 mostrando diferencias significativas. La diferencia en el comportamiento de ambas harinas se atribuye a que la proteína contenida en ambas (gluten en el trigo vs zeína en el maíz) les confiere características distintas, probablemente por su estructura tridimensional. Se concluye que para obtener una mayor eficiencia de corte disminuyendo la distorsión de los extruídos es necesario evitar el uso de harinas de trigo o gluten de trigo sacrificando la expansión y/o flotabilidad de las partículas alimenticias.

Palabras clave: extrusión, gluten, zeínas, distorsión

ABSTRACT from the thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Oceanografía Costera with specialization in NUTRITION and PHYSIOLOGY, presented by Perez Julio Gaddum. Ensenada, Baja California, Mexico. July 2015.

TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF EXTRUDED FEED FOR FISH FINGERLINGS

One of the main challenges in aquaculture is the efficient production of feed particles smaller than 2mm for fish fingerlings at initial stage. Aquafeeds are usually manufactured by extrusion; a process that involves cooking and expansion of ingredients at high temperature and pressure. The ingredients however, will behave according to its chemical composition and amount of them in the formulation; resulting in extruded particles with different physical properties, such as: elasticity, expansion, hardness, density and buoyancy. During the process there are unwanted properties such as an excess of elasticity that can result in distortion of particles, a problem that is more evident when preparing small particles for starter fish (<2 mm) due to the outlet matrix from the extruder that usually contain far many holes to form the feeds. The elasticity will therefore influence the shear force to be inefficient. Wheat meal is a material highly viscous due to its content of gluten, whereas in corn meal the proteins (zein) are more rigid resulting in low viscosity. Thus, the aim of the present work was to test three different substitution levels of corn for wheat to study their properties when formulating aquafeeds containing high protein and fat for starter fish. A three level experimental design with triplicates was performed in order to reduce the elasticity of the mass during extrusion to improve the shearing efficiency. To achieve this, three treatments were produced, one with 13% wheat, another with 6.5%wheat and 6.5% corn and a third with 13% corn in batches of a 100 Kg under the same conditions of extrusion (Maiz0, Maiz50 and Maiz100). The resulting aquafeed particles were tested out for physical characteristics and quality from the experimental treatments. The results

indicated that corn improved shearing efficiency, whereas the wheat increases the floatability reducing their density due to higher expansion. A shearing efficiency of 70.3 % was obtained with the Maiz100 treatment in comparison to 45.9 and 50.7 % for the treatments and Maiz0 and Maiz50. The differences in the type of protein (Gluten or Zein) can influence largely on these physical characteristics even when its incorporation was only at 13% in the formulation. However, the water stability within the first 5 minutes of immersion, as well as the hardness in the extruded particles failed to show significant differences. The complete substitution of wheat (Maiz100) resulted in an expansion of 1.6 against 1.8 and 1.9 for the treatments and Maiz0 and Maiz50, a behavior that is attributed to the presence of proteins in corn seed called zeins, which are more rigid reducing the expansion and favoring the shearing efficiency. Whereas the proteins from wheat gluten allow a greater expansion which can be observed through larger difference in buoyancy. It is concluded that in order to get a better shearing efficiency in smaller particles, corn is important in the formulations, reducing the feed distortions in particles smaller than 2mm, scarifying the expansion and/or buoyancy of feed particles.

Keywords: extrusion, gluten, zeins, distortion

Agradecimientos

A Dios por la fuerza necesaria para lograr mis metas.

Al **CONACYT** por otorgarme una beca durante mi estancia en la ciudad de Ensenada B,C. para realizar mis estudios de maestría.

A la Dra. Teresa Viana por su paciencia, guía y esfuerzo durante mi carrera.

A mis compañeros de laboratorio Fernando Barreto y Daniel Badillo por su disponibilidad, conocimiento y amistad.

A mi familia por siempre estar conmigo, no importa la distancia.

A los miembros de comité de tesis Dr. Asdrúbal Martínez y Dr. Juan Pablo Lazo por apoyarme desarrollar conocimiento nuevo durante mi proyecto de tesis.

A mis amigos, la familia Duarte Pérez y todos que facilitaron mi estancia en Ensenada.

CONTENIDO

	PAGINA
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 REQUERIMIENTOS EN EL ALIMENTO PARA PECES	5
1.2 TIPOS DE ALIMENTO	15
1.3 EXTRUSIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTO	16
1.4 COMPONENTES DEL EXTRUSOR	20
1.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD FÍSICA DE ALIMENTO PARA PECES	27
1.5.1 DUREZA	27
1.5.2 ESTABILIDAD EN AGUA	28
1.5.3 EFICIENCIA DE CORTE	28
1.5.4 EXPANSIÓN	29
1.5.5 DENSIDAD Y FLOTABILIDAD	29
2 HIPÓTESIS	32
3 OBJETIVOS	
3.1 OBJETIVO GENERAL	33
3.2 OBJETIVOS PARTICULARES	33
4 MATERIALES Y MÉTODOS	34
5 RESULTADOS	44
6 DISCUSIÓN	47
7 CONCLUSIONES	54
8 RECOMENDACIONES	55
9 REFERENCIAS	56

LISTA DE CUADROS

CUADRO	DESCRIPCION	PÁGINA
I	Propiedades fisicoquímicos del maíz y trigo	12
II	Dietas formuladas, ingredientes y composición bioquímica	36
III	Características comunes de la corrida de extrusión: Plantilla de proceso utilizada para extruir las dietas experimentales por triplicado	38
IV	Características físicas de los extruídos formulados con harina de trigo; trigo/maíz y maíz como fuente de carbohidratos para elaborar dietas ricas en proteína y grasa con una matriz de 1mm.	45

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	DESCRIPCION	PAGINA
1	Matriz de salida del extrusor con diferentes insertos o moldes que permiten la producción de una gran la variedad de alimentos	18
2	Componentes del extrusor	20
3	Zonas del tornillo	23
4	Manómetros de presión en el barril que alberga el tornillo	24
5	Cabezal del extrusor con matriz de salida y cuchillas de corte	26
6	Ejemplos de distorsión en alimento extruído menor a 2mm	29
7	Flujos de entrada y salida de aire en el horno secador	37
8	Medición de flotabilidad y estabilidad en agua de los extruidos	40
9	Comparación alimento distorsionado y no distorsionado	46

1. INTRODUCCIÓN

Si bien en lo que concierne a la Acuicultura de peces, uno de los grandes retos es la producción de alimentos formulados que contengan todos los requerimientos necesarios para lograr un crecimiento sostenido, cuando se trata de etapas iniciales, el reto es aún mayor. Se busca que los alimentos formulados sean eficientes, es decir, que se traduzcan en un óptimo crecimiento con un mínimo de pérdida al ambiente, ya sea en forma de heces o amonio (Seymour & Berheim, 1991). Es importante ofrecer un alimento que no sólo contenga los requerimientos necesarios para su desarrollo óptimo y que promueva una salud adecuada (Halver, 2002; Singh et al., 2007; NRC, 2011), sino que también sea lo suficientemente atractivo y apetitoso para que sea seleccionado e ingerido con rapidez. En las etapas iniciales del cultivo de peces se requiere alimento particulado menor a dos milímetros, por lo que técnicamente es difícil, tanto por el mezclado de los ingredientes así como por la formación misma de las partículas. Ya que a nivel industrial un alimento de tamaño pequeño tiende a aglomerarse en la matriz de salida del extrusor al contener menor fuerza de rigidez y por ende menor resistencia al corte.

Existen un gran número de investigaciones reportadas sobre alimentos extruidos para peces (Venou et al., 2009) en donde se combinan las características nutricionales de los ingredientes además de establecer sus propiedades termoelásticas para facilitar la extrusión. La calidad de cada partícula de alimento (pelet o extruído), en cuanto a reunir los requerimientos nutricionales y sus propiedades físicas (textura, expansión, estabilidad, entre

otras), es uno de los retos más demandantes. Antiguamente el alimento se elaboraba mediante la peletización, proceso que implica el paso de los ingredientes a través de un tornillo terminando en una matriz con molde en donde una serie de cuchillas corta las partículas al tamaño deseado. Hoy en día se utiliza exclusivamente el proceso de extrusión por su capacidad de producir partículas flotantes.

La extrusión a diferencia de la peletización utiliza mayores temperaturas y fuerza de fricción que sirven para formar y moldear el material o masa forzándolo a través de un tornillo, ubicado en un barril hermético, hacia la matriz o dado hasta cortarlo en las formas y dimensiones requeridas. De acuerdo a Bouvier y Campanella (2014) el proceso de extrusión es una de las innovaciones más importantes del siglo XX, que consiste en la transferencia tecnológica “modelo” en donde fue posible procesar desde polímeros y plásticos hasta alimento para peces y mascotas, pasando también dentro de la industria del papel.

En la Acuicultura, el proceso de extrusión, ha revolucionado la industria de alimentos, debido a que se puede controlar la flotabilidad de acuerdo a la expansión que sufra la masa de la materia prima (Venou et al., 2009). A su vez, la extrusión produce alimentos particulados con tal grado de cocimiento que llegan a poseer una mayor estabilidad en el agua que sus contrapartes que fueron formados en equipos con menor fuerza de presión como es el caso de la peletización. Éstos últimos requieren de la utilización de aglutinantes para darle una mejor estabilidad, lo que incrementa el costo y no siempre presentan la

digestibilidad deseada (Volpe et al., 2012). Es así que los extruidos tienen la capacidad de que los nutrientes del alimento lleguen al organismo antes de que el alimento se desintegre. Adicionalmente se puede modular la densidad de los extruidos incrementando o disminuyendo la flotabilidad en la columna de agua de acuerdo al comportamiento de los organismos (alimentadores de superficie, fondo o pelágicos) durante más tiempo. El alimento debe cubrir ciertos requisitos como tamaño, textura y densidad apropiadas para ser aceptados (Bouvier & Campanella, 2014). Se sabe que cada tipo de ingrediente tendrá un comportamiento específico dentro de un extrusor, y que una combinación de ingredientes dentro de “la masa” para ser extruída dependerá de la combinación de estas características. Más adelante se verán cada una de las características con mayor detalle pero ahora es importante mencionar que la expansión ocurrida en la extrusión está principalmente dada por los carbohidratos solubles tipo almidón (Blazek & Copeland, 2008). Éstos al cocerse darán lugar a la expansión gracias a la presión, temperatura y fricción. Mientras que otros ingredientes como fibra, grasa y proteína se oponen a esta expansión cuando se encuentran en cantidades altas. Es aquí en donde radica el reto del alimento en etapas iniciales ya que éstos por lo general suelen contener proteína y grasa en altas cantidades impidiendo la expansión de la masa durante la extrusión.

Por lo anterior, los extruídos para peces pequeños al requerir partículas de 1 a 2 mm tienden frecuentemente a presentar distorsión durante el corte debido a la viscosidad alta, provocada por la elasticidad de la masa de algunos componentes.

La expansión de los extruidos, si bien son deseables, en exceso pueden presentar un tamaño mayor a las necesidades del organismo (Karatarakis et al., 2005), lo que da lugar a que se recurra a la molienda del alimento. Factor que ocasiona una pérdida de hasta un 50% del producto; resultando en alimentos más caros (Extrutech, Lochmann et al., 2002).

Con respecto al tamaño que se requiere en el alimento particulado para peces, se calcula que para que sea aceptado, corresponda al 30% del tamaño de la boca del organismo (Craig et al., 2009). En alimentos comerciales el tamaño del alimento se define de acuerdo a las etapas de edad para cada especie, que van desde destete, iniciadores hasta la engorda, mantenimiento y reproductores. Cada etapa tiene sus retos, pero sin lugar a dudas los de iniciación son difíciles ya que cada partícula debe contener la misma proporción de nutrientes además de conformar una partícula estable y de tamaño homogéneo.

Para el destete, los peces requieren alimento en microesferas que suelen ir desde 0.4 mm. Ahí es necesario un equipo de extrusión especial que fabrica microesferas. Equipo distinto al que existe en el Instituto de la UABC, por lo que en el presente trabajo nos referiremos al tamaño mínimo de 1 a 2 mm que son los alimentos clásicos de la siguiente etapa después del destete, desde iniciadores hasta 18g o 12.19 cm (Riaz et al., 2012).

1.1 Requerimientos en el alimento para peces

Los alimentos son formulados para contener los requerimientos en proteínas (aminoácidos), lípidos (ácidos grasos y colesterol), y carbohidratos (azúcares simples y complejos). Además de los micronutrientes, que por su requerimiento en baja cantidad, se suplementan pero son igualmente importantes dentro de la nutrición como vitaminas, minerales, aminoácidos y conservadores, entre otros. Los micronutrientes si bien son importantes, por su baja concentración no necesariamente influyen en las características físicas durante la extrusión.

Hoy en día no se conoce con gran detalle los requerimientos de todas las especies de peces comerciales, por lo que los alimentos tienden a contener una elevada cantidad de proteína y grasa crudas (NRC, 2011). Aspecto que con la investigación dará lugar a que las tablas de requerimientos se vayan modificando a medida de que se conozcan dichos requerimientos con mayor exactitud (Biswas et al., 2009). Por lo general los cambios en requerimientos se abocan a ajustes en el contenido de aminoácidos o ácidos grasos esenciales y pocas veces en el cambio general en proteína y grasa cruda, por lo que se prevén algunos ajustes en las condiciones de extrusión para obtener las partículas alimenticias deseadas. En el caso del salmón las dietas entre 1970 y en la actualidad ha bajado la composición de proteína en las dietas entre un 8-10%, mientras que el de grasa a aumentado en igual proporción. Estos cambios no implican que los requerimientos de los peces hayan cambiado, sino que

gracias a la información obtenida se determinan los requerimientos exactos lo que permite cambiar la composición de las dietas ahorrando proteína para crecimiento, utilizando grasa o carbohidratos como energía. Cambios que traerá como consecuencia ajustes en el proceso de extrusión para obtener la misma flotabilidad a través de una expansión adecuada.

Carbohidratos

En peces y sobre todo los carnívoros se sabe que no existe un requerimiento como tal de carbohidratos (NRC, 2011). De tal manera que los peces pueden sobrevivir aún sin que su alimento los incluya. Esto se logra gracias a que presentan una capacidad alta de síntesis de glucosa a partir de otros nutrientes como los aminoácidos y ácidos grasos a través de un proceso llamado gluconeogénesis o bien del glicógeno almacenado en el hígado . Los carbohidratos por lo general constituyen la fuente de nutrientes más barata en la alimentación animal por lo que es deseable que los peces aprovechen la glucosa contenida en éstos y así ahorren los aminoácidos y el glicógeno para otros procesos metabólicos dando lugar a lo que se conoce como “ahorro proteico”. Si bien uno de los problemas en el suministro de los carbohidratos en las dietas para peces es la baja digestibilidad de los mismos, la extrusión favorece la digestibilidad del almidón gracias al proceso de cocción a presiones altas (Kraugerud et al., 2011).

La habilidad que presentan los peces para aprovechar los carbohidratos varía de especie a especie, por lo que es importante conocer los hábitos

alimenticios y su respuesta a distintas fuentes de carbohidratos (Cowey & Cho, 1993).

El almidón es un carbohidrato complejo que se utiliza ampliamente en la extrusión ya que permite la gelatinización de la masa al desdoblar sus cadenas ramificadas. De esta manera se obtiene un alimento particulado con una mejor calidad física (cohesión, estabilidad y durabilidad) gracias a la expansión obtenida durante la extrusión. Por esto, los carbohidratos y en particular el almidón, son los componentes con mayor influencia sobre el desempeño físico de los extruidos. El almidón es carbohidrato estructural que forma cadenas de amilopectina y amilosa encapsulados en forma de gránulos, los cuales se expanden a temperaturas elevadas y en presencia de humedad (Dennet et al., 2009). La amilopectina y la amilosa son los polisacáridos principales que forman el almidón. La diferencia principal radica en que la amilopectina presenta ramificaciones a diferencia de la amilasa que es esencialmente linear (BeMiller y Whistler, 2009). La expansión del almidón se logra gracias a la ruptura de los enlaces intermoleculares del almidón sin destruir las cadenas lo cual hace que guarden sus propiedades viscoelásticas y aumenten su digestibilidad. Este proceso de expansión del almidón es irreversible y alcanza niveles máximos de expansión dependiendo de la cantidad y tipo de almidón así como de las condiciones de proceso y tamaño del gránulo. Es importante mencionar que la expansión está directamente relacionada con la densidad y ésta a su vez con la flotabilidad.

Debido a que la funcionalidad de los extruidos se basa en una serie de combinaciones entre ingredientes y procesos así como el nivel de interacción entre los ingredientes mismos que permiten o facilitan la expansión del almidón, es la razón por lo que la obtención de extruidos para la acuicultura siga siendo un reto para la producción e industria (Copeland et al., 2009)

Se sabe que no existe una interacción química directa entre la proteína y el almidón durante la extrusión (Li et al., 2003), y que los fosfolípidos tienden a formar complejos con la amilosa y las cadenas ramificadas de la amilopectina lo que resulta en una expansión limitada del almidón (Singh et al., 2003). Para el alimento flotante dedicado a la acuicultura se requiere por lo general un mínimo de 20% de almidón total para generar una expansión suficiente (Riaz et al., 2012) cantidades que deberán ajustarse dependiendo del resto de los ingredientes y por ende, un alimento altamente flotante no podrá contener gran cantidad de proteína y lípidos.

Proteína cruda

Las proteínas forman el material orgánico más abundante en los tejidos de peces. Representan entre el 65-75% del peso seco. Están conformadas por cadenas de aminoácidos unidas por enlaces peptídicos. En el intestino se digiere el alimento, en donde se hidrolizan las proteínas hasta llegar a aminoácidos libres o péptidos (cadenas cortas de aminoácidos). Estos en forma libre o como péptidos de tamaño muy pequeño, se absorben y se distribuyen a otros órganos para la formación (síntesis) de nuevas proteínas. Los peces

requieren constantemente de aminoácidos para la formación de nuevas proteínas, durante el crecimiento y/o reproducción, así como para el mantenimiento (tasa de recambio proteica) y diversos procesos metabólicos relacionados con el metabolismo intermediario y sistema inmunológico (Singh et al., 2007). Un suministro adecuado de proteína y más de los aminoácidos específicos es crucial para el bienestar del organismo ya que su deficiencia implica la reducción en crecimiento e incluso la disminución corporal, mientras que la ingestión de proteína en exceso resulta en una mala conversión alimenticia, mayor costo y un exceso en desechos nitrogenados en el ambiente. Más que un requerimiento en proteína cruda general, los peces dependen de un balance de aminoácidos esenciales y no-esenciales. El contenido óptimo de proteínas en la dieta dependerá en los aminoácidos necesarios para crecer y los que entren al metabolismo intermediario como aquellos para cubrir las necesidades de la tasa de recambio proteica (Singh et al., 2007). Lo anterior dependerá también de la digestibilidad que presenten las fuentes de proteínas. Considerando que peces, como otros organismos, consumen para completar su requerimiento energético, el exceso de energía lleva a un consumo limitado del alimento. De tal manera que alimentos ricos en energía que provenga de la grasa, limitará la ingestión de la proteína, y en caso contrario un exceso de proteína será ingerida y seguramente utilizada como fuente energética (Sitaula, 2011). El consumo de proteína varía entre especies y edad, que va desde 20 al 60%. Especies como la Tilapia roja (*Oreochromis ssp*) que es un omnívoro y requiere una cantidad baja de proteína entre 20-35%, mientras juveniles de

lobina rayada (*Pagrus major*) que es carnívoro, requieren entre 48 y 54% de proteína cruda.

Las proteínas, pierden su funcionalidad estructural entre los 55 y 65 °C después de cierto tiempo, y debido a que las temperaturas de extrusión generalmente son mayores, las proteínas por lo general, no contribuyen a la expansión, cohesión y durabilidad.

Considerando que la proteína en términos generales tiene influencia mínima sobre la calidad física cabe mencionar, que en lo particular, la proteína de la harina de trigo tiene características especiales. El trigo entero tiene como característica particular, el contenido de una proteína funcional, el gluten (Riaz et al., 2012). De forma incorrecta a la proteína del maíz se le conoce como “gluten de maíz”, mientras que el maíz en realidad su proteína es funcionalmente distinta (Koehler et al., 2013). El gluten de trigo, está compuesto por las proteínas gliadina y glutinina, que en la producción de alimentos funciona como aglutinante en los alimentos (Barak et al., 2013). Más de 50 % de las proteínas de la harina de trigo son proteínas aglutinantes como las gliadinas (Qi et al., 2006). Además de la gliadina está la glutinina a que también se le atribuye la fuerza cohesiva de la harina de trigo. Las moléculas de gliadina reducen la rigidez e incrementan la extensibilidad del gluten. Cuando el gluten se hidrata forma un red que define sus características reológicas (Zhang et al., 2014). El gluten de maíz carece de estos compuestos que confieren al gluten de trigo sus características visco elásticas.

En el maíz están las zeínas que contienen una composición de aminoácidos con menor cantidad de glutamina y prolina pero más aminoácidos hidrófobos como la leucina. Las zeínas se clasifican en zeínas monoméricas solubles en alcohol y zeínas inter-cadenarias solo solubles en alcohol después de reducción de enlaces disulfuro (Koehler et al., 2013).

Las proteínas del trigo y del maíz difieren en sus características morfológicas y estructurales. Mientras que las de trigo le confieren elasticidad (Day et al., 2006), en las del maíz le dan rigidez. Esto se explica de acuerdo a lo reportado por Mejia et al. (2007) sobre la configuración de las estructuras secundarias que conforman las zeínas en donde se observan enlaces disulfuro entre ellas, estando ausentes en las proteínas del gluten. Éstas cambian rápidamente sus estructuras secundarias a los 35 °C favoreciendo las estructuras de las hojas β sobre las α hélices (constituidas en un 68%). Si bien este reordenamiento molecular es similar a los observados con la proteína del gluten, tras la eliminación de la fuerza de estrés coplanar, el polímero de la zeína muestra una rápida disminución en la proporción de estructural de las hojas β , las cuales disminuyen del 48 % al 28 % después de 3 min, a favor de estructuras desordenadas, dando por consecuencia la disminución de la viscoelasticidad. En contraste, el gluten, tiende a permanecer constante sus estructuras secundarias con un alto contenido de estructuras tipo hoja β (49 %) coincidiendo con el tiempo de relajación lenta típico de las redes de gluten después de la eliminación de la fuerza de estrés coplanar.

Lo anterior explica porque siendo ingredientes provenientes de granos presenten un comportamiento tan distinto cuando se les expone a un proceso de amasado, como lo es la masa para tortillas en México contra la masa para pan.

Cuadro I . Propiedades fisicoquímicos del maíz y trigo

	Grano de Maíz	Trigo Entero
Contenido de amilosa (%)	22.4-32.5	18-30
Poder de expansión (g/g)	22	18.3-26.5
Cantidad de Almidón (%)	69	65-68
Temperatura de geletinizacion (°C)	63-72	58-64
Tamaño de gránulo (µm)	35-40	22
Contenido de proteína cruda (%)	10.2	11.7

Singh et al., 2003

Grasa cruda

La grasa cruda comprende a todos los grupos de compuestos que son solubles en solventes. Estos van desde los más abundantes como los ácidos grasos (95%), a los menos abundantes como ceras y esteroides. Los lípidos o grasa, por lo general, son sustancias insolubles en agua que pueden ser extraídas de las células por solventes orgánicos. Las grasas son los constituyentes principales de las células y constituyen una de las reservas alimenticias importantes del organismo, y pueden ser líquidas o sólidas (NRC, 2011). Las grasas líquidas suelen llamarse aceites y desde el punto de vista químico, se componen de ésteres carboxílicos que provienen de derivados de un alcohol (glicerol) y un ácido carboxílico y se conocen como glicéridos

(Morrison & Boyd, 1998). Las grasas constituyen cerca del 20% del peso húmedo de los peces marinos. Los triglicéridos conformados por tres ácidos grasos y un glicérido constituyen la principal fuente de energía para la célula (ATP) a través de la beta-oxidación mitocondrial. Aparte de suplir la energía para la célula, los ácidos grasos son también importantes para conformar la membrana celular (Morrison & Boyd, 1990). Entre ellos, los más importantes son los esenciales, que tienen como característica el contener dobles enlaces y 18 o más carbonos. Entre los ácidos grasos esenciales, los de cadena larga (20 o más carbonos) pueden servir como precursores de importantes moléculas necesarias para la señalización y metabolismo (Morrison & Boyd, 1990).

El punto de fusión de un lípido depende del tipo de ácidos grasos que lo contenga. Lípidos con un alto contenido de ácidos grasos saturados (contienen ligaduras simples entre los esqueletos de carbono) tienen un punto de fusión mayor que los que contengan mayor proporción de ácidos grasos insaturados (con una o mas dobles ligaduras entre los esqueletos de carbono). Este nos lleva a la propiedad de que aquella grasa líquida a temperatura ambiental se nombren como aceite mientras los que permanezcan en estado sólido se conoce como grasa sólida. Sea en forma líquida o sólida, los lípidos aportan 2.25 veces mas calorías por gramo que los carbohidratos (Craig et al., 2009). Uno de los principales factores que determina la cantidad de lípidos en una formulación para alimento de peces es la composición de ácidos grasos esenciales, ya que son los menos abundantes dentro de las grasas.

Especies como la totoaba (*Totoaba macdonaldi*), requieren una cantidad baja de lípidos (8%) en su dieta, mientras Juveniles de lobina rayada (*Pagrus major*) pueden requerir hasta un 18% en su dieta. Otros carnívoros como el atún azul del pacífico (*Thunnus orientalis*) la lobina rayada (*Morone saxatilis*), trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y turbot (*Scophthalmus maximus*) puede ser hasta un 20%.

La grasa al igual que la proteína no sólo no contribuyen a la expansión sino que una inclusión mayor a 7% dentro de la masa en el extrusor, impiden una correcta extrusión, funcionando como lubricante reduciendo la fricción entre las partículas de la masa lo que a su vez reduce la energía mecánica limitando las ventajas de la extrusión (Riaz et al., 2012). Es así que en formulaciones que deban contener cantidades mayores al 7% y se requiera de la expansión, el aceite deberá incorporarse después de la extrusión, como rebosado, aprovechando la propiedad de absorción de los extruidos. Cuando un alimento extruido es poroso, producto de una alta densidad, puede llegar a absorber hasta un 35% de lípidos de su peso (Hardy & Barrows, 2002).

Componentes adicionales (microingredientes)

Entre los ingredientes que se agregan en pequeñas cantidades (micronutrientes) están las mezclas de vitaminas y minerales, antioxidantes, conservadores y aditivos especiales, entre otros. Estos, si bien no necesariamente influyen sobre las características de los extruidos, son indispensable para la nutrición de los peces. Los aditivos son necesarios y

podieran estar relacionados a la conservación del alimento y su integridad como antioxidantes, antimicóticos y conservadores en general. Así también se les podría agregar otros compuestos como pre o probióticos, aminoácidos o cualquier otra cosa que se requiera para su sano crecimiento (NRA, 2011).

1.2 Tipos de alimento

El alimento puede distinguirse por tamaño y composición aparte de las características que le dan funcionalidad en el agua (flotabilidad, estabilidad y dureza que se verán más adelante).

Generalmente éstos se preparan combinando los distintos ingredientes para balancear los nutrientes. Las fórmulas alimenticias dependerán entre el tipo de pez y edad buscando que la composición de los ingredientes sea rentable para la producción.

El alimento para larvas u organismos en las etapas iniciales (destete e iniciadores) son los más complejos. En primer lugar, al destete hay organismos que no aceptan ser alimentados por micropartículas, migajas o partículas de tamaño pequeño. Esto se debe a una característica fisiológica de la especie entre la maduración del pez y la capacidad a consumir alimento ya sea vivo o inerte. Una relación simple de entender es entre lo que tarda el desarrollo embrionario hasta la completa maduración del aparato digestivo y la cantidad de vitelo presente en el huevo. La mayoría de las especies terminan de consumir el vitelo antes de que presenten un aparato digestivo completamente maduros, dando lugar a que requieran alimento que sea capaz de nutrir a un organismo

con un aparato digestivo inmaduro. Al ser inmaduro requerirán preferentemente alimento vivo altamente digestible. Otro aspecto importante sobre el tamaño del alimento es el tamaño de la especie. Que si bien el alimento debe ser no mayor a un 30% del tamaño de la boca del pez, esto hace que para especies pequeñas se trate de alimentos de un tamaño muy pequeño que tecnológicamente sea difícil de fabricar. Según el especie, el tamaño del alimento puede variar, aunque en términos generales se estima que el alimento para iniciadores incluye todo el alimento para organismos menores hasta los 18g. En el caso del salmón y trucha por ejemplo, organismos hasta 3 gramos requieren alimento no mayor a 1.4mm. Estos mismos organismos cuando crecen hasta 9 y 12 cm requieren alimento no hasta los 2mm. Mientras que para otras especies carnívoras, este límite se estima a los 1.6 mm.

1.3 Extrusión en la producción de alimento

Existen varios métodos para la producción de los diferentes tamaños de alimento particulado para peces. Entre los más comunes está la peletización y la extrusión. Ambos procesos difieren en la temperatura y presión ejercida, de tal manera que en el proceso de la peletización los ingredientes son sencillamente forzados dentro del barril hasta ser expulsados a través de la matriz con orificios para obtener comprimidos en forma particulada. Mientras que en la peletización pueden ser expuestos entre 5 y 25 segundos a vapor hasta 85 °C con una humedad al 16%, en la extrusión llegan a sufrir presiones mayores e incluso

llegar hasta los 110°C. Ambos sistemas se componen de partes parecidas, tales como el alimentador donde ingresan los ingredientes, el tornillo que se encarga de transportarlos y un molde que limita la salida. Una vez saliendo del molde las cuchillas se encargan de cortar el alimento al tamaño requerido. En la peletización la presión que se ejerce sobre la salida de los ingredientes hace que exista una cierta cocción a través de la fricción ejercida, pero insuficiente como para causar una expansión significativa como se da durante el proceso de extrusión (Lai & Kokini, 1991). En la peletización aunque se utiliza principalmente la presión para formación del alimento particulado también la fricción entre el tornillo y la masa de los ingredientes resulta en el aumento de temperatura en presencia de agua. Dicha temperatura, si bien puede llegar a ser alta (más de 100°C) no alcanza a ser suficiente para lograr la expansión de la masa. Diferencia que se debe a que en la peletización no existe una presión alta durante el proceso ya que el proceso se desarrolla en un ambiente de baja presión (no hermético), resultando en comprimidos de ingredientes con alta densidad y baja cocción.

La elaboración de alimento mediante extrusión es en general similar a la de pelets comprimidos pero el uso de condiciones físicas distintas resultan en un producto diferente. Una definición amplia del proceso de extrusión se refiere al proceso mediante el cual una masa es forzada a través de un tornillo dentro de una cámara hermética hasta llegar a un molde (Figura 1). Al salir de éste ocurre el corte adquiriendo la forma exacta del molde en una sección transversal y constante mediante un proceso continuo y con longitud indefinida.

La extrusión si bien es en cierta forma parecida a la peletización, la extrusión se diferencia por el barril hermético que envuelve al tornillo lo que permite controlar la presión y temperatura con alta precisión, incluso de forma independiente en cada una de las diferentes secciones del barril (chaquetas), lo cual favorece a una mejor expansión y cocimiento de los ingredientes. La extrusión es más versátil que la peletización, permitiendo el control de la densidad del alimento, que a éste influye a la flotabilidad. Además de poder agregar el aceite al final como un recubrimiento gracias a la porosidad obtenida en los extruídos como consecuencia de la expansión.



Figura 1. Matriz de salida del extrusor con diferentes insertos o moldes que permiten la producción de una gran variedad de alimentos.

La tecnología de extrusión en alimentos es utilizada para la producción de cereales, snacks, galletas y alimento para animales como perros, gatos y aves. La versatilidad radica en que durante el proceso aumenta la digestibilidad de los carbohidratos en la mezcla de ingredientes cuando son expuestos a altas temperaturas y presiones. También la energía disponible es mejorada en el

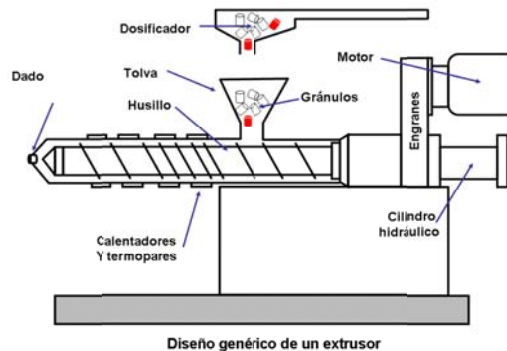
alimento. Los carbohidratos estructurales, tipo almidón, en los alimentos extruidos sirven como enlazante. Por tanto, se elimina la necesidad de agregar en la formulación, ligantes externos, que a veces reducen la digestibilidad del alimento. El almidón gelatinizando también resiste a la desintegración en el agua, aumentando su estabilidad. Esto es benéfico para las especies con hábitos alimenticios lentos o en sistemas de recirculación de agua en donde se promueve la disminución de la pérdida de materia orgánica en el agua. La mayor ventaja de la expansión que es causada por la extrusión, es la posibilidad de aplicación de aceite extra al alimento al término del proceso a manera recubrimiento, en caso de que se requieran altas cantidades de éste. Que en caso contrario, si se agrega a la masa una cantidad mayor de aceite o grasa, se disminuye la fricción entre el tornillo y la masa causando una menor expansión y por ende incrementando la densidad y disminuyendo la flotabilidad del alimento. En términos generales, la calidad física del alimento producido por extrusión aumenta ya que produce menos finos que partículas comprimidas por peletización.

La gran variedad de posibilidades en forma tamaño y textura de los alimentos que se requieren para acuicultura, solo puede lograrse a través de la extrusión, por lo que llamaremos “extruidos” a los alimentos particulados fabricados a través de este proceso.

1.4 Componentes del Extrusor

Dependiendo de la necesidad, un extrusor debe tener un sistema de alimentación del material, otro de fusión-plastificación, de bombeo y presurización y por último, otro dispositivo para dar lugar al conformado del material fundido.

Antes de la extrusión, los ingredientes son cernidos para estandarizar el tamaño de la partícula y mezclados para asegurar la homogenización. La tolva generalmente funciona como alimentador del material. Allí se asegura el suministro uniforme de la mezcla de ingredientes para el resto del proceso.



Diseño genérico de un extrusor

Figura 2. Componentes del extrusor

Después pasan a un acondicionador donde se adiciona de manera uniforme la humedad y calor a los ingredientes, a manera de vapor de agua. El agua humedece la masa de ingredientes, facilitando la distribución de calor. Esto suaviza a las partículas de alimento y las predispone a sufrir los cambios

subsecuentes de manera homogénea. Una vez que la masa se encuentra viscosa, pasa al extrusor donde el tornillo la transporta hacia la salida.

El dispositivo de fusión-plastificación, bombeo y mezclado está constituido por un tornillo que gira en el interior de un barril hermético. En el caso del equipo de EXTRUTECH este tornillo está conformado por secciones que pueden ser ensambladas en distintas combinaciones dependiendo del tiempo de retención que se busque así como la fricción deseada. El barril hermético permite controlar la presión y temperatura con alta precisión, lo cual favorece una mejor expansión y cocimiento de los ingredientes. El barril hermético asegura que la temperatura y humedad añadida se mantenga constante mientras la presión acumulada reduce la presión de vapor (punto de cocción) de los ingredientes. Esto tiene como resultado que la cocción de los ingredientes se lleve a cabo a temperaturas menores que en el ambiente. De igual manera el barril puede enfriarse suministrando agua fría dentro de la chaqueta del barril sin tocar los ingredientes. El calor se genera no sólo por el vapor adicionado sino también como consecuencia de la fricción interna entre el tornillo y el barril aunado a la presión. Por lo general se prefiere el uso de encamisado de líquidos (como el agua) o refrigerantes en lugar de aire para la eliminación de calor excesivo, ya que es más fácil de controlar. Los sensores de temperatura y presión también se encuentran situados en el barril para llevar un monitoreo continuo.

Dentro del barril está el tornillo. Como se mencionó anteriormente, el tornillo es la estructura cilíndrica alargada, que puede estar segmentada, y está

rodeado por un fleje helicoidal. Los parámetros más importantes en el diseño del tornillo son su longitud (L), diámetro (D) y el ángulo de fleje así como el paso de rosca (profundidad de canal). El tornillo consta de tres zonas que además de transportar el material, alimentan, mezclan y cuecen los ingredientes.

En el tornillo primero está la zona de alimentación en donde la profundidad del canal de tornillo es máxima. En esta zona se compacta el alimento en una forma sólida densa para transportarlo hacia la zona de transición con la velocidad adecuada. La zona de transición o compresión es la zona intermedia en la cual la profundidad del canal disminuye de manera gradual. La zona de dosificado, situada al final, tiene la profundidad de canal pequeña y constante. El material fundido es homogenizado y presurizado para forzarlo a pasar por presión hacia el molde o inserto de conformado.

Entre los segmentos del tornillo se pueden agregar componentes como anillos (rondanas) que sirven para incrementar la fricción de la masa. Es un simple anillo situado sobre el tornillo que deja una sección de paso pequeña. Ya que todo el material debe fluir por este componente, es sometido a corte durante un periodo de tiempo corto. Estos anillos son utilizados frecuentemente por su facilidad de construir el tornillo insertándolos en diferentes secciones como se observa en la figura 3.

Existen extrusores de un tornillo o de doble tornillo. La extrusión con doble tornillo es generalmente utilizado para producir alimento especializado como extruidos húmedos.

Otras especificaciones dadas por el tornillo y barril del extrusor son el diámetro de cilindro (D), relación longitud/diámetro (L/D) y la configuración de tornillo. El diámetro del cilindro afecta la velocidad de flujo del material y la producción de material por el extrusor es proporcional al cuadrado del diámetro del tornillo. Generalmente, el diámetro varía entre 2 y 90 cm.

La relación longitud/diámetro es importante ya que para un diámetro de tornillo dado, la capacidad para fundir, mezclar y homogenizar a una velocidad de giro determinada aumenta al incrementarse la longitud de tornillo (Figura 3). Sin embargo existen límites prácticos para tornillos excesivamente largos.

La configuración de tornillo depende de la elección del número y diseño geométrico de las zonas del tornillo. Los materiales termoplásticos utilizados en el proceso de extrusión difieren en elasticidad, calor específico, coeficiente de fricción, temperatura de fusión, viscosidad de fundido etc. que pueden dar como resultado una amplia variabilidad. Por esta razón el diseño del tornillo depende de cada material.



Figura 3. Zonas del tornillo

En la parte final del barril se encuentra un dispositivo para dar lugar al conformado del material fundido llamado matriz. Esta constituye las formas de salida que se les dará a las partículas alimenticias a través de orificios (con figuras o formas). Los orificios tienen su salida limitada en donde se puede generar más presión en caso de ser necesario. Además de la temperatura del vapor adicionado, en el pre-acondicionador, está la presión que resulta dentro del barril (fricción). Igual que el barril y el tornillo, la forma, tamaño y grosor de salida de la matriz también puede ser modificado para variar la presión ejercida de los ingredientes sobre la matriz dando la posibilidad de producir alimentos diferentes (Bouzaza et al., 1996). El cabezal contiene la boquilla de salida, la cual presenta el diseño específico para cada tipo de alimento. Se reporta que con mayor tamaño de salida de matriz, el nivel de gelatinización se reduce y viceversa (Chiang et al. 1977). Incluso, para incrementar la expansión los orificios de la matriz pueden estar en un sentido cónico con un diámetro de salida de mayor a menor (haciendo punta) para ejercer una mayor presión y por ende incrementando la expansión (Arhaliass et al., 2003).



Figura 4. Manómetros de presión en el barril que alberga el tornillo

La asignación de funciones a cada una de las zonas del extrusor no es estricta. De tal manera que procesos como transporte, presurización y homogenización se producen a lo largo de todo el extrusor.

Los ingredientes duran aproximadamente de 15 a 20 segundos en toda esta sección, conocido como el tiempo de retención donde calor, presión y humedad causan la gelatinización de almidón. Los extrusores actuales pueden operar entre 10 y 500 rpm dependiendo de su tamaño.

El roce del tornillo contra el barril da lugar a la fuerza de fricción, la cual se divide en coeficiente de fricción interno, que es la fricción existente entre las propias partículas del polímero y el coeficiente de fricción externo que es la fricción existente entre las partículas del material y la superficie del cilindro (barril y tornillo con la que está en contacto (Darnell & Moll, 1956). La fuerza de fricción del tornillo es la que genera el movimiento de la masa sólida hacia la salida del extrusor, mientras que la fuerza de fricción en la superficie del barril es la fuerza retardante que se ejerce sobre la masa. Entonces si existe una fuerza de fricción suficientemente elevada entre el cilindro y el movimiento del tornillo, el material se moverá hacia delante. El aumento del coeficiente de fricción se puede lograr con el aumento de la temperatura, o bien, incrementando el roce del tornillo hacia el barril usando cilindros con superficies rugosas como por ejemplo cilindros estriados que van intercalados entre las secciones de los tornillos. Por el contrario, la fricción puede disminuirse al reducir la fricción entre el tornillo y el material. Una manera de lograr esto, es utilizando tornillos con

fleje simple en lugar de fleje doble, dando lugar a una mayor separación entre ellos; o bien, con ángulos grandes de fleje.

Después de la extrusión las cuchillas se encargan de cortar el alimento al tamaño requerido. Su velocidad se puede modificar para obtener alimento de menor tamaño cuando se aumenta su velocidad u obtener alimento de longitud mayor con velocidad disminuida (Figura 5).

Al corte, los extruidos pasan al secador. En donde se busca que de salida contengan una humedad menor al 10% (preferentemente al 5%) ya que así se reduce el crecimiento de bacterias y hongos durante el almacenamiento. El método más común es el secado por aire caliente.



Figura 5. Cabezal del extrusor con matriz de salida y cuchillas de corte

El éxito de la extrusión es el resultado de la eficiencia que sus diferentes partes que trabajan en conjunto. Y así se asegura la obtención del alimento deseado a partir de los ingredientes.

1.5 Métodos de análisis de calidad física de alimento para peces

Se entiende como cualidades físico funcionales a las características físicas en el alimento (extruido) en si. Desde la textura, densidad, flotabilidad, estabilidad. Este último dado como el tiempo que permanecen en la columna de agua hasta su consumo.

De igual manera los hábitos alimenticios influyen en la aceptación del alimento por los peces. Peces bentónicos prefieren alimento hundible que llegue al fondo para poder ser aprovechado. Peces pelágicos requieren que el alimento se mantenga en la columna de agua. Dentro de ésta, se utiliza el alimento flotante o de hundimiento lento. En la acuicultura es preferido el alimento flotante ya que permite un mejor monitoreo de su consumo. Aunque de manera práctica se prefiere que no sea totalmente flotante ya que el alimento al permanecer en la superficie hace que los peces estén expuestos a la rapiña de aves indeseables, las cuales pueden consumir el alimento e incluso atacar a los peces.

1.5.1 Dureza

La dureza se interpreta como la fuerza necesaria para fracturar una partícula. Esta es importante para el manejo y consumo del alimento (Craig et al., 2009).

1.5.2 Estabilidad en agua

Se mide como el tiempo que tarda una partícula de alimento en disolverse en el agua. Por lo general, los alimentos extruídos son más estables debido al cocimiento que sufren los almidones.

La estabilidad en agua es una medida común para evaluar la calidad de los alimentos acuícolas. Las partículas de alimento que se degraden en el agua antes de que el organismo las pueda ingerir pierden nutrientes, afectando negativamente al crecimiento. Por tanto, es importante que los extruídos mantengan una estabilidad a un tiempo dado que permita a los peces ingerir su alimento. En peces se considera que se requieren no más de 25 min para que sea comido, por lo que se mide la estabilidad entre 5 hasta los 20 min (Craig et al., 2009).

1.5.3 Eficiencia de corte

En este trabajo la eficiencia de corte se estableció como medida principal para evaluar la distorsión de los extruídos. Ya que la distorsión en el alimento particulado extruído es causada por las deformaciones ocurridas en la salida de la masa del extrusor, siendo éste el objetivo principal del presente trabajo. Esta distorsión, como se ha venido explicando a lo largo de la introducción, se debe a una viscosidad excesiva de la masa provocada por la presencia del almidón y gluten. Tomando en cuenta que después de salir del extrusor, la forma final del alimento está determinada por el corte, ya que el tamaño adecuado se logra mediante control de la velocidad de las cuchillas. Las cuchillas presentan una

distancia mínima con respecto a la matriz para facilitar el corte. Aparte de las cuchillas uno de los factores que afecta en la forma de los extruidos es la elasticidad de los ingredientes. Si la masa es elástica y los orificios de salida de la matriz se encuentran a poca distancia entre ellos, la masa tiende a aglutinarse, lo cual induce a la distorsión de los extruidos (Figura 6).



Figura 6. Ejemplos de distorsión en alimento extruído menor a 2mm

1.5.4 La expansión

El aumento de temperatura y presión en conjunto con la humedad durante la extrusión causa que el almidón presente se gelatinice. La mezcla se transforma en una masa de consistencia viscosa que contiene vapor de agua. La presión interna es suficiente para convertir el vapor de agua en agua líquida. Cuando el alimento sale por la matriz reduce la presión de manera abrupta y hace que el vapor de agua se gasifique, forme bolsas de aire y resulte en la expansión del extruido. El nivel de expansión influye sobre la densidad y flotabilidad de los extruidos

1.5.5 La Densidad y Flotabilidad

La densidad depende de la formulación y las condiciones del proceso de extrusión. Las bolsas de aire formadas por la expansión del alimento al salir de la matriz se traduce en una reducción de la densidad (Hardy & Barrows, 2002) al formarse los poros. La densidad es la relación entre la masa y volumen, por tanto, conforme la expansión aumenta se reduce la densidad. Esto permite producir alimento hundible, alimento de hundimiento lento y alimento flotante. Las condiciones de la extrusión, como temperatura, humedad y presión influyen sobre las propiedades viscoelásticas de los ingredientes durante su producción que a su vez se traducen en el desempeño físico del producto final. Es así que las propiedades de los extruidos (formas y texturas) se controlan a través modificar el tipo y cantidad de los ingredientes gracias a sus propiedades químicas, o bien, a través de modificar las condiciones mismas de operación.

La extrusión como proceso, es también eficiente en el uso de los nutrientes debido a que la cocción a alta temperatura y presión en poco tiempo minimiza la degradación de nutrientes mientras mejora la digestibilidad del alimento (Riaz et al., 2012).

En resumen, la distorsión de las partículas alimenticias para peces iniciadores se debe a una relación entre los ingredientes utilizados (alta cantidad de proteína y grasa) aunada a las condiciones de extrusión y corte de salida.

2. Hipótesis

La inclusión de harina de maíz en substitución del trigo en la extrusión nos permitirá obtener alimentos para peces iniciadores ($\leq 2.0\text{mm}$), en alimentos con grasa y proteína mayor a 7 y 33 % mejorando la eficiencia de corte.

3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la inclusión de la harina de maíz en substitución de la harina de trigo en la producción de extruídos de tamaño <2mm utilizando la cohesión y textura del extruido como variables de respuesta para obtener un tamaño homogéneo de partícula con características de flotabilidad.

3.2 Objetivos particulares

- Producir un alimento particulado de tamaño menor a 2 mm elaborado mediante extrusión utilizando harina de maíz en substitución de trigo sin distorsión en el corte.
- Producir un alimento particulado de tamaño menor a 2 mm con una adecuada expansión logrando la flotabilidad.
- Producir un alimento particulado de tamaño menor a 2 mm elaborado mediante extrusión con una estabilidad en el agua mayor a 5 min y dureza similar a los encontrados en el mercado.

4. Materiales y métodos

Preparación de material

El trigo entero y maíz quebrado fueron molidos, de forma individual, para obtener harina de trigo y harina de maíz respectivamente con un tamaño de partícula no mayor a las 500µm. De igual manera se cernieron el resto de ingredientes a 500µm y aquellos que no pasaron, volvieron a molerse hasta pasar libremente por el cernidor. Se pesaron y prepararon 3 lotes de 100 Kg para cada uno de los tratamientos de acuerdo al cuadro II. Las dietas se formularon a base de harina de pescado, harina de subproducto de ave, harina de soya y almidón puro para dietas con 0, 50 y 100% de substitución de la harina de trigo por la harina de maíz. Se agregaron vitaminas, minerales, antioxidantes y antimicóticos, como microcomponentes, a las dietas para mezclar cada lote en una mezcladora Industrial Kushlan. El cuadro II muestra los ingredientes, el contenido y valor nutricional estimado para cada dieta. Cada lote con los ingredientes mezclados se volvió a cernir para asegurar la eliminación de imperfecciones en las harinas y evitar obstrucción de la matriz, moliendo nuevamente lo que no pasara, para volverlo a mezclar. Una vez listas las harinas mezcladas, se vertieron en la tolva para alimentar el extrusor.

Proceso de extrusión

La extrusión se llevó a cabo en una extrusora de tornillo simple (Extrutech Inc. modelo E-325, Kansas, EEUU). El material fue alimentado a velocidad constante por un alimentador volumétrico a 50Kg/h. Se agregó agua por aspersión (16 Kg/h) y vapor de agua hasta obtener una masa visco-elástica homogénea.

Se llevó a cabo un diseño experimental al azar con 3 niveles de harina de maíz en sustitución del trigo (0, 50 y 100%). Todos bajo las mismas condiciones de extrusión para medir el desempeño del alimento extruído. El desempeño se estimó mediante la eficiencia de corte, estabilidad en agua, expansión y dureza. Cada uno de estas medidas de calidad de extruídos se comparó entre dietas para determinar

El alimento se procesó todo en un día alternando los tratamientos con el fin de llevar a cabo las repeticiones de manera independiente y así contar con tres repeticiones por tratamiento.

El tornillo se configuró para alta expansión. La temperatura de barril y acondicionador, velocidad de tornillo y alimentador se monitoreó a través del panel de control. Los extruídos se produjeron a una temperatura de 96° C con una velocidad de tornillo de 180 rpm. Se utilizó una matriz de 1mm de diámetro. Se estableció la velocidad de cuchillas a nivel 8 para obtener la longitud requerida de 2 mm.

Cuadro II. Dietas formuladas, ingredientes y composición bioquímica.

INGREDIENTES	TRATAMIENTOS			
	%	Maíz0	Maíz50	Maíz100
H. Pescado		43.5	43.5	43.5
H. Ave		20	20	20
H. maíz		0	6.5	13
H. Trigo entero		13	6.5	0
H. Soya		8	8	8
Almidón de maíz		5	5	5
Aceite pescado		5.7	5.7	5
Microcomponentes		4.5	4.5	4.5
<i>Análisis proximal</i>				
	(%)			
Proteína		51.6	51.4	51.2
Grasa		12.7	12.8	12.9
Almidón total		13.7	13.4	13.1

El producto fue deshidratado en un secador horizontal de Extrutech (AirFlow Technology) con flujo de aire a 120° C y durante 21.1 minutos de retención. Una vez seco se adicionó el aceite restante como recubrimiento, utilizando un mezclador Industrial Kushlan para completar el requerimiento de la dieta. El cuadro III presenta los detalles los parámetros de proceso utilizados durante la producción.

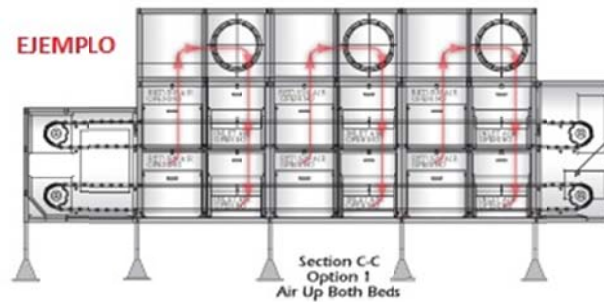


Figura 7. Flujos de entra y salida de aire en el horno secador

Vale la pena resaltar que para llegar a este cuadro de proceso final experimental, se hicieron varias pruebas en las cuales se fue calculando el tipo de partícula extruída que se buscaba de acuerdo a los ingredientes utilizados. La combinación y/o cantidad de almidón, proteína y lípidos es lo que nos puede dar indicio de cuanta temperatura y presión se debe de utilizar para un alimento flotante. Además de establecer cual es la mejor configuración de tornillo y velocidad de éste, sin descuidar lo antes mencionado en cuanto a temperatura, humedad y presión de vapor.

Cuadro III. Características comunes de la corrida de extrusión: Plantilla de proceso utilizada para extruir todas las dietas experimentales por triplicado.

Características de los ingredientes	
Humedad Harina (%)	3.68
Densidad Harina (g/L)	512
Granulometría (mm)	0.5
% Almidón Total	13
Alimentador	
Velocidad (RPM)	7.1
Carga (Kgs/Hr)	50
Acondicionador	
Agua (kgs/hr)	16
Vapor (kgs/hr)	1
Temperatura a la Salida (°C)	96
Matriz	
Tamaño de salida (mm)	1
Cuchillas	
Numero de Cuchillas	4
Velocidad (RPM)	1
Extrusor	
Configuración para expansión máxima	
Tamaño (HP o Kilowatts)	40
Amperaje (Carga)	44
Velocidad (RPM)	180
Presión Final (PSI)	200
% Humedad a la Salida	9
Densidad a la Salida (g/L)	524
Secador	
Temperatura Secador (°C)	120
Tiempo de Retención (minutos)	21.1
% Humedad a la Salida	3.68
Densidad Salida (g/L)	410

Eficiencia de corte

Para estimar la eficiencia en el corte, que implica cuantos de las partículas extruídas son cortadas sin aglomerarse y contar con un tamaño homogéneo, se decidió utilizar un cedazo con un tamaño de apertura de malla de 2mm por donde se cernió el producto final. De tal manera que los extruídos distorsionados o deformados no pudieran pasar a través de ella y cuantificar por peso la proporción entre ellos.

Para su evaluación, se utilizó 1 Kg de cada uno de los lotes de alimento extruído (3 tratamientos con tres repeticiones cada uno) y se cernió a través de la malla de 2mm. La cantidad de alimento cernido se pesó y se cuantificó con relación al total para ser presentado en porcentaje.

$$\text{Eficiencia de Corte (\%)} = 100 \cdot (A/B)$$

En donde:

A = Peso de la muestra cernida por malla (Kg)

B = Peso inicial de la muestra (Kg)

Estabilidad en Agua

Se estableció la metodología descrita por Pantoja (2011) para la medición de la estabilidad en agua se pesaron lotes de 10g de alimento y se colocaron en vasos de precipitado con 300 mL de agua de mar a 20°C (Figura 8). Los vasos con el alimento se agitaron a 70 rpm y después de 5 y 20 minutos de estar en el agua, se calculó la diferencia en peso (peso seco constante) y la diferencia entre el peso final e inicial se utilizó para calcular el porcentaje de estabilidad.

Expansión

El nivel de expansión se midió utilizando un vernier de alta precisión ($\pm 0.0001\text{mm}$) para estimar el diámetro de cada partícula de alimento. Para esto se eligieron al azar 30 partículas por cada lote de alimento. La expansión se calculó como la diferencia en el diámetro del alimento con respecto al diámetro del inserto utilizado. Se determinó el Índice de expansión como siguiente:

$$\text{Índice de Expansión} = A/B$$

En donde:

A = Diámetro de extruido (mm)

B = Diámetro de inserto utilizado para la extrusión (mm)

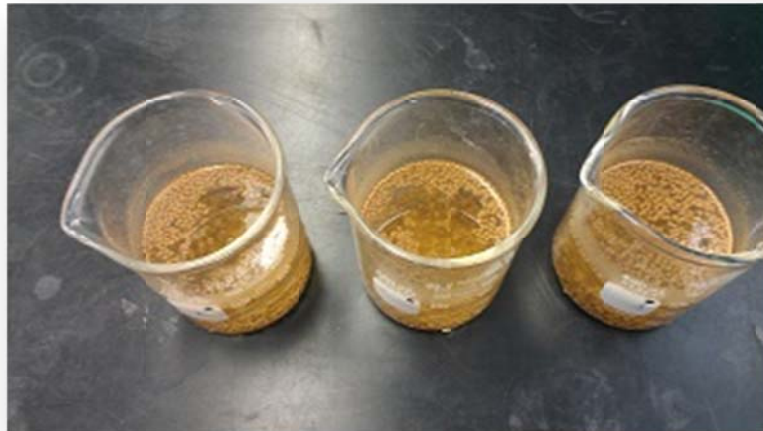


Figura 8. Medición de flotabilidad y estabilidad en agua de los extruidos

Flotabilidad

Se utilizó la metodología de Pantoja (2011) que consistió en someter 50 partículas de alimento en un matraz de 500 mL de agua salada a 25 °C. Transcurridos 5 minutos se cuantificaron los extruidos que se mantuvieron en la superficie y se determinó el porcentaje de flotabilidad.

Dureza

La dureza como evaluación de la textura se midió como el peso necesario ejercido hacia el extruido para causar la fractura del mismo. Con este fin se utilizó un texturómetro. El cual consiste en un péndulo al que se le aplica una fuerza para romper un extruido, reportando la fuerza necesaria para causar la ruptura de la partícula y se expresa como los Kilogramos fuerza (KgF).

Análisis proximal

Se aplicaron análisis proximales a los materiales usados para formular las dietas y a los alimentos terminados, como un control para verificar que cumplan con los requerimientos establecidos durante la formulación. En este análisis se determinó el contenido de humedad, proteína cruda (nitrógeno total), lípidos crudos, ceniza y extracto libre de nitrógeno. Los análisis proximales se desarrollaron de acuerdo al lo establecido por la AOAC (1990).

El contenido de proteína cruda se determinó con el método de micro Kjeldahl, 1883 (factor de conversión de 6.25 al nitrógeno presente). 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). Los lípidos totales fueron cuantificados utilizando el método de Soxhlet utilizando éter de petróleo como solvente acarreador. Finalmente las cenizas se calcularon después de la ignición a una temperatura de 500 °C por 6 horas (AOAC, 1990). Todos los análisis fueron realizados por triplicado y se obtuvo un promedio.

Las cuantificaciones por gravimetría se calcularon de la siguiente manera:

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

En donde:

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

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

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

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

En donde:

A = Peso del matraz limpio y seco (g)

B = Peso del matraz con grasa (g)

C = Peso de la muestra (g)

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

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 estimar las posibles diferencias significativas entre los tratamientos experimentales se utilizó un análisis de varianza de una vía para muestras paramétricas. Las diferencias fueron consideradas estadísticamente significativas si $P < 0.05$. En caso de observar diferencias se utilizó una prueba “a posteriori” de Tukey. Los resultados dados en porcentaje fueron transformados a Arco seno antes de su cálculo. Se utilizó el software Sigmaplot 12.3 en todos los casos.

5. RESULTADOS

A través del proceso de extrusión fue posible obtener alimento extruido a partir de las tres formulaciones con un tamaño menor a 2.0 mm (Figura 9).

La eficiencia de corte resultó en diferencias significativas. El Cuadro III muestra que la dieta con maíz presentó una eficiencia de corte mayor (70.26 ± 6.78) que las dietas con trigo y trigo-maíz (45.90 ± 0.95 y 50.66 ± 5.51 , respectivamente) ($P < 0.05$) éstas últimas sin tener diferencias significativas.

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en la estabilidad en el agua de los extruídos después de mantenerlos durante 5 minutos de en agua de mar con agitación, con valores entre 94 a 97% de estabilidad. Sin embargo, a los 20 minutos de inmersión se observó que los extruídos con Maíz100 resultaron en una estabilidad menor (61.2 ± 5.9) con respecto a los tratamientos Maíz0 y Maíz50 (80.8 ± 3.1 , 76.6 ± 1.55 respectivamente) ($p < 0.05$). Estos últimos no presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre sí. Los valores obtenidos de estabilidad en agua concuerdan con datos de trabajos anteriores como Sitaula que en el 2011 reportó una estabilidad en agua a 120 minutos entre 75.73 ± 2.09 y 79.08 ± 1.2 para harina de trigo y almidón de trigo respectivamente,

Cuadro IV. Características físicas de los extruídos formulados con harina de trigo; trigo/maíz y maíz como fuente de carbohidratos para elaborar dietas ricas en proteína y grasa con una matriz de 1mm.

	Tratamientos		
	Maíz0	Maíz50	Maíz100
Eficiencia de Corte (%)	45.90 ± 0.95 ^a	50.66 ± 5.51 ^a	70.26 ± 6.78 ^b
Estabilidad a 5 min	94.02 ± 1.09 ^a	95.54 ± 1.53 ^a	97.16 ± 0.73 ^a
Estabilidad a 20 min	80.80 ± 3.1 ^a	76.57 ± 1.55 ^a	61.20 ± 5.9 ^b
Expansión (%)	1.83 ± 0.33 ^a	1.76 ± 0.02 ^{ab}	1.63 ± 0.08 ^b
Dureza (KgF)	1.32 ± 0.01 ^a	1.34 ± 0.03 ^a	1.31 ± 0.02 ^a
Flotabilidad (%)	64.00 ± 17.78	0	0

Con respecto al nivel de expansión (Cuadro IV) entre los tratamientos (Maíz 0, 50 y 100), el análisis de varianza detectó diferencias significativas en donde la dieta Maíz0 resultó con mayor expansión (1.83 ± 0.03) que las dietas Maíz50 y Maíz100 (1.76 ± 0.02 y 1.63 ± 0.08) ($p < 0.05$). Estas dos últimas sin registrar diferencias significativas entre si.

La flotabilidad entre las dietas se vio afectado por la substitución de harina de trigo por harina de maíz (0, 50 y 100%). Las dietas con trigo presentaron un 64% de flotabilidad mientras en las dietas de 50 y 100% harina de maíz no se observó flotabilidad (0%).

La estimación de la dureza resultó ser similar entre los tratamientos, con una dureza 1.32 ± 0.01 , 1.34 ± 0.03 y 1.31 ± 0.02 KgF para los tratamientos Maíz0, Maíz50 y Maíz100.

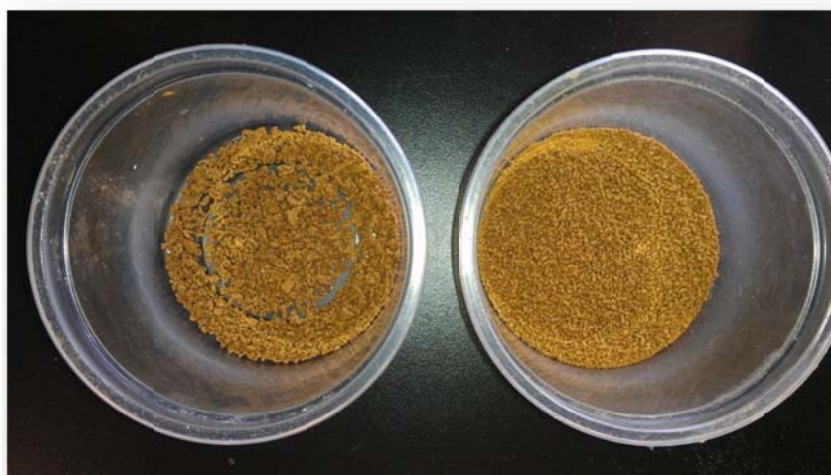


Figura 9. Muestra de alimento con distorsión (Izquierda) y sin distorsión (Derecha)

6. DISCUSIÓN

Los resultados aquí obtenidos demuestran que la harina de maíz tuvo un efecto positivo en la eficiencia de corte de los extruídos. La substitución de harina de trigo por la harina de maíz sólo representó un 13% del total de los ingredientes de la dieta. Cantidad que representa un valor bajo del total de los ingredientes en la formulación por lo que las diferencias significativas encontradas son un tanto alentadoras. Los extruídos conformados por partículas menores a los 2mm son difíciles de obtener, ya que se formulan para peces de las primeras etapas cuando tienen un requerimiento alto en proteína y grasa (NRC, 2011). La grasa contenida en un porcentaje mayor al 7% causa la disminución de la fricción ejercida en el tornillo lo cual reduce la expansión (Riaz et al., 2012). Por otro lado, mientras más proteína contenga la dieta menor proporción de carbohidratos (almidón) podrán ser suministrados, los cuales le confieren la propiedad de expansión a las dietas (Bouvier y Campanella, 2014). La eficiencia de corte es un aspecto muy importante ya que de no lograrse satisfactoriamente las partículas extruídas se aglomeran y no pueden separarse fácilmente dando un bajo rendimiento en el proceso.

La inclusión de harina de maíz dio lugar a diferencias significativas en la eficiencia de corte, obtenido un mejor corte con la dieta Maíz100 sobre los otros dos tratamientos (Figura 9). En esta dieta se logró obtener un 70% de eficiencia a diferencia de los otros con 45 y 50%. Si bien hubiera sido deseable esperar que el tratamiento Maíz100 hubiera obtenido un mejor resultado que el 70%, el

haber obtenido diferencias significativas dan indicio de que la harina de maíz ejerció un efecto positivo sobre la masa. El factor principal que limita la eficiencia de corte de un extruido es la distorsión del alimento al tornarse elástico dando lugar a que las partículas se peguen entre ellas, formando conglomerados, que al secarse no se despegan con tanta facilidad. La elasticidad de una masa está dada en primera instancia por la gelatinización del almidón. Sin embargo, la permanencia de la elasticidad está dada por las proteínas que la conforman. El trigo presenta proteínas funcionales como el gluten, mientras que el maíz posee las zeínas. Si bien el gluten y las zeínas son proteínas de los cereales, poseen claras diferencias estructurales. De acuerdo a Schober et al. (2008) ambas proteínas al mezclarse con los otros ingredientes en la masa a extruir, tienen un comportamiento diferente dentro del proceso de panificación, en donde las zeínas presentan un comportamiento blando y poco elástico que al hornearse tienden a colapsarse debido a la pérdida de su viscoelasticidad. El gluten a su vez compuesto de gliadinas y gluteninas confieren gran elasticidad al extruido (Barak et al., 2013). Más reciente Schober et al. (2010) establecen que las zeínas al ser horneadas (para hacer pan libre de gluten) pierden la elasticidad.

Se sabe que en la panificación, la proteína contenida tanto en trigo como en maíz está controlada por el tipo y cantidad de proteína. Ambos cereales difieren en que sus proteínas son molecularmente distintas. Mientras que el gluten del trigo es elástico, en el maíz contiene una gran cantidad de enlaces no covalentes propiciados por más de un 50% de aminoácidos hidrófobos.

(Schober et al., 2008), los cuales durante el proceso de expansión de la masa se pierden ocasionando el rompimiento de la proteína y entonces los segmentos polipeptídicos hidrófobos tienden a juntarse causando el colapso de la masa (Schober et al., 2010). Los mismos autores comentan que aunado a lo anterior, la presencia de grasa en la dieta con características hidrófobas, le confiere un efecto aditivo al colapso de la masa al unirse a las cadenas hidrófobas de las zeínas, efecto que en las dietas para peces con alto contenido en grasa es también afectado.

A diferencia de las zeínas, el gluten es una proteína elástica difícil de fracturarse. De acuerdo a Tatham y Shewry (2002) la elasticidad del gluten se debe a su conformación molecular en donde existen una gran cantidad de hojas β unidas mediante vueltas (loops en inglés), está hace que las moléculas sean sumamente elásticas. Mientras que las proteínas del maíz forman monómeros independientes que no permiten que se contengan estos hiperagregados (en su mayoría hélices- α hidrofóbicos) y por ende pierden la estructura globular al ser calentados (Mejia et al., 2007; Román-Gutiérrez, 2012; Smith, 2012).

Durante la extrusión, el almidón se expande formando bolsas de aire durante la gelatinización, responsable del proceso de expansión. En donde la diferencia entre el maíz y el trigo radica en que el gluten que contiene el trigo, por su elasticidad permite una extensión de la masa sin llegar a rompimiento (Román-Gutiérrez, 2012). Durante el corte, esas bolsas de aire producto de la gelatinización quedan expuestas, resultando en formas irregulares y de cierta forma pegajosas. Mientras que el comportamiento de las zeínas contenidas en

el maíz ocurre lo contrario. Al no ser elásticas no permiten que se formen esas bolsas de aire, llegando al colapso al contener un tipo de proteína que no soporta la estructura de estas bolsas, por lo que la masa llega a obtener una forma regular conforme el corte ocurre, evitando distorsiones (Román-Gutiérrez , 2012).

La expansión es lo que provoca la flotabilidad del alimento gracias a la disminución de su densidad por las bolsas de aire que se forman al existir una presión interna que al salir del extrusor causa la gasificación del agua creando porosidad (Hardy & Barrows, 2002).

En el presente trabajo, la substitución del trigo por maíz causó una disminución en la expansión, lo cual en principio no es deseable, pero comprensible, como se ha expuesto con anterioridad sobre las propiedades estructurales de sus proteínas. Las dietas experimentales solo diferían en el trigo y maíz en un 13% del alimento, cantidad que puede decirse es baja, y aun así pudieron verse diferencias significativas, lo que nos lleva a pensar que ambos tipos de proteínas son muy diferentes.

Si bien en este trabajo se mejoraron las propiedades en la eficiencia de corte, cuando el maíz estaba presente en un 13%, otras propiedades deseables se redujeron, como la densidad y por ende, flotabilidad.

Esta discrepancia debe ser consensuada para buscar un punto intermedio deseable. Aquí se utilizó la harina de trigo y/o maíz en un 13% como una fuente de “relleno” que ayude a la expansión del material y dejando el resto para los ingredientes que proporcionarán los nutrientes necesarios para un sano

crecimiento. Con el fin de incrementar la gelatinización de la masa se agregó almidón puro en un 5% para dar un total de almidón del 13% junto con el contenido en las harinas de trigo y maíz. Si bien es cierto que el almidón es el responsable de obtener la expansión de la masa a través de la gelatinización, se sabe que estas bolsas de aire que se forman al expandirse se colapsan fácilmente si no están reforzadas por una estructura proteica como lo es el gluten (Schober et al., 2008). Y como se indicó anteriormente, las zeínas que corresponden a la proteína contenida en el maíz no forman una estructura tan estable como el gluten debido a la rigidez estructural de la proteína y su elevado número de cadenas hidrófobas. Las cuales, como se indicó anteriormente, al romperse la proteína se unen entre sí causando el colapso de la masa. Sería interesante para un trabajo futuro, el incrementar las harinas de cereales hasta un 18% en vez de agregar el almidón puro y ver si esto causa aún mayores diferencias, aunque claro pudiera ser que el tratamiento con maíz quedara aún más colapsado.

Por otro lado, cabe también resaltar la parte económica, pues es importante obtener el mejor beneficio entre la funcionalidad de los extruidos y los requerimientos nutricionales de los organismos. Los alimentos para peces iniciadores tienen la problemática de que debido a su tamaño pequeño y sus requerimientos altos en proteína y grasa hacen que la funcionalidad en el proceso de extrusión sea difícil. Si se considera que contienen más de 50% de proteína y 20% de grasa, queda poco espacio para formular con distintas combinaciones.

La flotabilidad es deseable para dar tiempo a los peces para alimentarse debido a sus hábitos de ingestión, en la parte superior de la columna de agua. Misma que debe ir de acuerdo a la necesidad de la especie. Esta estimación se mide de acuerdo a la proporción de partículas que quedan suspendidas después de un tiempo determinado. En este trabajo la flotabilidad se midió a los 5 min, dando lugar a la proporción que se sumergió o no a dicho tiempo. Sería interesante en un futuro considerar la velocidad de hundimiento como un parámetro de medida, lo que dará de una manera más dinámica la disponibilidad de las partículas en el agua para que sean consumidas por los peces iniciadores.

Otro aspecto importante es el contenido de atrayentes en la dieta de tal forma que se reduzca el tiempo que tardan los peces en ingerirlo.

En cuanto a dureza de los extruídos, no se encontraron diferencias entre los tratamientos. Valores de dureza reportados en otros trabajos (Sitaula, 2011) varían entre 2.13 ± 0.81 y 1.66 ± 0.51 (KgF) necesarios para romper los extruídos.

Esta medida refleja de cierta manera la textura del alimento así como la calidad futura de éste durante el empaque y almacenamiento. Un alimento duro estará más expuesto al roce y formación de finos, que representan al polvo que se genera con el roce del alimento y se traduce en una merma del mismo (Samuelsen et al., 2013).

La estabilidad como medida de control en la pérdida de materia orgánica en el agua durante la inmersión resultó en diferencias significativas a los 20

minutos, pero no a los cinco. Los peces requieren un mínimo de 2 a 3 minutos para alimentarse, sin embargo, para establecer una medida de calidad se establece un tiempo mayor. Mientras que una mala estabilidad se traduce no solo en la pérdida de nutrientes sino también en una deficiente calidad del agua, causando el abatimiento de oxígeno, e incluso la generación de enfermedades.

Finalmente, se concluye que la adición del maíz a las dietas le confiere un aspecto positivo para incrementar su eficiencia de corte aún en detrimento de una disminución en la flotabilidad en dietas con alto contenido de proteína y grasa. Se recomienda a la vez que se hagan otras combinaciones en donde se reduzca el contenido de almidón puro para establecer nuevas combinaciones entre las harinas de maíz y trigo para establecer la posibilidad de mejora en las dietas. Además se recomienda hacer una prueba biológica en donde se pueda probar funcionalmente los extruídos sobre la ingestión en donde se comparen las distintas combinaciones con atrayentes y medir su desempeño en los peces.

7. CONCLUSIONES

- Se obtuvo un alimento extruído menor a 2mm mediante la substitución de harina de trigo contenida en la dieta por la de maíz con mejor eficiencia de corte. Los tratamientos sin harina de maíz o sustitución del 50% del contenido de harina de trigo por maíz no resultaron satisfactorios.
- La substitución de harina de maíz por harina de trigo en la formulación para peces iniciadores no tuvo cambios en la estabilidad en agua ni en la dureza de los extruídos.
- El nivel de expansión y la flotabilidad resultaron negativamente afectados con la inclusión del maíz en vez de trigo.

8. RECOMENDACIONES

- Hacer pruebas disminuyendo el contenido de almidón puro y substituyendo con combinaciones de las harinas, especialmente la de trigo para aumentar la capacidad del gluten para contener la expansión pero sin afectar la eficiencia de corte.

BIBLIOGRAFIA

- Arhaliass, A., Bouvier, J. M., Legrand, J. 2003. Melt growth and shrinkage at the exit of the die in the extrusion-cooking process. *Journal of Food Engineering* 60: 185–192pp.
- Barak, S., Mudgil, D., Khatkar, B. S. 2013. Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. *LWT - Food Science and Technology* 51: 211-217pp.
- Biswas B., Ji, S., Biswas, A., Seoka M., Kim, Y., Kawasaki, K., Takii, K., 2011. Dietary protein and lipid requirements for the Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* juvenile. *Aquaculture* 288: 114–119pp.
- Blazek, J., Copeland, L. 2008. Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydrate Polymers* 71: 380-387pp.
- Bouzaza, D., Arhaliass, A., Bouvier, J. M. 1996. Die Design and Dough Expansion in Low Moisture Extrusion-Cooking Process. *Journal of Food Engineering* 29: 139- 152pp.
- Bouvier, J., Campanella, O. H. 2014. Chapter 10.4: Future Trends EN: *Extrusion Processing Technology: Food and Non-Food Biomaterials*. Wiley-Blackwell. pp. 504.
- Chiang, B. Y., Johnson, J., A. 1977. Gelatinization of starch in extruded products. *Cereal Chemistry*. 54(3): 436-443pp.
- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., Chiming Tang, M. 2009. Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids* 23 (6): 1527-1534pp.
- Cowey, C. B. y Cho, C. Y. 1993. Nutritional requirements of fish. *Proceedings of the Nutrition Society* 52: 417-426pp.

- Craig, S., Helfrich, L. A. 2009. Understanding fish nutrition, feeds, and feeding. Virginia Cooperative Extension 420-256pp.
- Darnell, W. H., Moll, E. A. J. 1956. Society of Petroleum Engineers (SPE) Journal.
- Dennett, A. L., Schofield, P. R., Roake, J. E., Howes, N. K., Chin, J. 2009. Starch swelling power and amylose content of triticale and *Triticum timopheevii* germplasm. Journal of Cereal Science 49: 393–397pp.
- Day, L., Augustin, M., Batey I. L., Wrigley, C. W. 2006. Wheat-gluten uses and industry needs. Trends in Food Science & Technology 17: 82–90pp.
- Hardy, R., Barrows, F. 2002. Diet Formulation and Manufacture. En J. Halver & R. Hardy. (3a Ed.) *Fish Nutrition* (pp. 505-600). Academic Press. California.
- Karatarakis, N.J. 2005. Common problems with aquafeeds and feeding in marine farms in Greece. IN: Montero D., Basurco B., Nengas I., Alexis M., Izquierdo M. (eds). Mediterranean Fish Nutrition. Cahiers Options Méditerranéennes 63: 155-158pp.
- Koehler, P., Wieser, H. 2013. Chemistry of Cereal Grains. IN: Gobbetti, M. & Gänzle, M. (eds.) Handbook on Sourdough Biotechnology. Chapter 2. Springer Science Business Media. New York. 11-39 pp.
- Kraugerud, O. F., Jorgensen, H. J., Svihus, B. 2011. Physical properties of extruded fish feed with inclusion of different plant (legumes, oilseeds, or cereals) meals. Animal Feed Science and Technology 163: 244-254pp.
- Lai, L. S., Kokini, J. K. 1991. Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion. Biotechnology Progress 7 (3). 251-266 pp
- Lochmann, R., Stone, N., Park, E. 2002. Baitfish: Feeds and Feeding Practices. SRAC Publication No. 121.

- Li, j., Yeh, A. 2001. Relationship between thermal, rheological characteristics and swelling power of various starches. *Journal of Food engineering* 50: 141-148pp.
- Li, j., Yeh, A. 2003. Effects of starch properties on rheological characteristics of starch/meat complexes. *Journal of Food engineering* 57: 287-294pp.
- Martínez, M. M., Rosell, C. M., Gómez, M. 2014. Modification of wheat flour functionality and digestibility through different extrusion conditions. *Journal of Food Engineering* 143: 74-79pp.
- Mejia, C. D., Mauer, L. J., Hamaker, B. R. 2007. Similarities and differences in secondary structure of viscoelastic polymers of maize α -zein and wheat gluten proteins. *Journal of Cereal Science* 45: 353-359pp.
- Pantoja, J., Sanchez, S., Hoyos, J. 2011. Obtención de un alimento extruido para tilapia roja (*Oreochromis spp*) utilizando ensilaje biológico de pescado. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial* 9 (2): 178-187pp.
- Qi, P. F., Wei, Y. M., Yue, Y. W., Yan, Z. H., Zheng Y. L. 2006. Biochemical and Molecular characterization of Gliadins. *Molecular Biology* 40 (5): 713-723.
- Riaz, M. N., Rokey, G. J. 2012. Extrusion problems solved: Food, pet food and feed. IN: *Food Science, Technology and Nutrition*: number 226. Woodhead Publising. Philadelphia.
- Roman-Guterriez, A. D. 2012. Correlation of mathematical models of adsorption of humidity in cereals for breakfast. *Avances en Ciencias e Ingenieria* 3 (1): 137-150pp.
- Schober, T. J., Scott, R. B., Boyle, D. L., Park, S. 2008. Improved viscoelastic zein-starch doughs for leavened gluten-free breads: their rheology and microstructure. *Journal of Cereal Science* 48: 755-767pp.

- Schober, T. J., Moreau, R. A., Scott, R. B., Bean, S. R., Boyle, D. L. 2008. Removal of surface lipids improves the functionality of commercial zein in viscoelastic zein-starch dough for gluten-free breadmaking. *Journal of Cereal Science* 52: 417-425pp.
- Shannon, J. C., Garwood, D. L., Boyer, C. D. 2009. Chapter 3: Genetics and Physiology of Starch Development EN: *Starch: Chemistry and Technology*. 23-82pp. BeMiller, J., Whistler, R.
- Shewry, P. R., Halford, N. G., Belton, P. S., Tatham, A. S. 2002 The structure and properties of gluten: an elastic protein from wheat grain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 357: 133-142pp.
- Singh, N., Smith, A. 1997 A comparison of wheat starch, whole wheat meal and oat flour in the extrusion cooking process. *Journal of Food Engineering* 34: 15-32pp.
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Singh Sodhi, N., Singh Gill, B. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry* 81:219-231pp.
- Singh, S., Gamlath, S., Wakeling, L. 2007. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science and Technology* 42: 916–929pp.
- Sitaula, Y. 2011. Effect of starch source, screw configuration and steam injection on physical quality and color development of extruded fish feed. Master thesis. Norwegian university of life sciences.
- Tatham, A. S., Shewry, P. R. 2002. Comparative structures and properties of elastic proteins. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 357: 229-234pp.
- Venou, B., Alexisa, M. N., Fountoulakia, E., Nengas, I., Apostolopouloub, M., Castritsi-Cathariou, I. 2003. Effect of extrusion of wheat and corn on gilthead sea bream (*Sparus aurata*) growth, nutrient utilization efficiency,

rates of gastric evacuation and digestive enzyme activities. *Aquaculture* 225: 207 – 223pp.

Volpe, M. G., Varricchio, E., Coccia, E., Santagata, E., Di Stasio, M., Malinconico, M., Paolucci, M. 2012. Manufacturing pellets with different binders: Effect on water stability and feeding response in juvenile *Cherax albidus*. *Aquaculture* 324-325: 104–110pp.

Zhang, H., Zhang, W., Xu, C., Zhou, X. 2014. Studies on the rheological and gelatinization characteristics of waxy wheat flour. *International Journal of Biological Macromolecules* 64: 123-129pp.