



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**INCLUSIÓN DE HARINA DE SUBPRODUCTOS AVÍCOLAS EN
LA FORMULACIÓN Y ELABORACIÓN DE DIETAS PARA
TILAPIA NILOTICA (*Oreochromis niloticus*) Y SU EFECTO EN
LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTAN:

RICARDO CERON ROSILES

ORIÓN SALAS GÚZMAN

ASESORA:

Dra. Deneb Camacho Morfín

Coasesora:

Q.B Lilian Morfín Loyden



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
 ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS
 SUPERIORES CUAUTITLAN

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE



ATN:L.A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

INCLUSION DE HARINA DE SUBPRODUCTOS AVICOLAS EN LA FORMULACION Y ELABORACION
 DE DIETAS PARA TILAPIA NILOTICA (*Oreochromis niloticus*) Y SU EFECTO EN LOS -
 PARAMETROS PRODUCTIVOS.

Que presenta el pasante Ricardo Ceron Rosiles
 Con número de cuenta: 098283965 para obtener el título de:
 Médico Veterinario Zootecnista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
 Cuautitlan Izcalli, Mex. a 7 de Abril de 2011.

PRESIDENTE	MVZ. Juan Ramírez Flores	
VOCAL	Dra. Deneb Camacho Morfín	
SECRETARIO	MVZ. Carlos Raúl Romero Basurto	
1er SUPLENTE	Dra. María Ofelia Mora Izaguirre	
2º SUPLENTE	MVZ. María Martha Sandoval Chávez	



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

**DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE**



**ATN:L.A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

INCLUSION DE HARINA DE SUBPRODUCTOS AVICOLAS EN LA FORMULACION Y ELABORACION DE
DIETAS PARA TILAPIA NILOTICA (Oreochromis niloticus) Y SU EFECTO EN LOS PARAME-
TROS PRODUCTIVOS.

Que presenta el pasante Orión Salas Guzmán

Con número de cuenta: 405028810 para obtener el título de: Médico Veterinario Zootecnista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”
Cuautitlan Izcalli, Mex. a 11 de Abril de 2011.

PRESIDENTE MVZ. Juan Ramírez Flores
VOCAL Dra. Deneb Camacho Morfín
SECRETARIO MVZ. Carlos Raúl Romero Basurto
1er SUPLENTE Dra. María Ofelia Mora Izaguirre
2º SUPLENTE MVZ. María Martha Sandoval Chávez

DEDICATORIAS

Padres, hoy llegó hasta aquí gracias a ambos, sin ustedes a mi lado o habría podido lograr nada.

Cruz Ceron Silva: eres el mejor padre que pude tener, admiro tu fortaleza y determinación, eres un ser humano integro y muy responsable para con tu familia, debes saber que admiro tu sabiduría y por ello me esfuerzo en lograr cosas por medio de mi inteligencia, sin depender de alguien más, a ti dedico todo el esfuerzo que implicó este trabajo, el cual no se compara con el que tu haces por nosotros. Disculpa que sea hasta ahora pero te debía esto y aquí estoy. Te quiero mucho y siempre estaré contigo.

María Angelica Rosiles: Sabes mamá, tú eres el ser humano más noble que conozco, gracias a ti creo q tengo un buen corazón. De ti obtuve el apoyo incondicional siempre y el motivo para terminar la licenciatura en gran parte fuiste tú. Jajajajaja Gracias por ayudarme a estudiar en las noches :P. mamá tu eres capaz de lograr cualquier cosa que te propongas, solo debes tener más confianza, tanta como la que yo te tengo. Nada es el más alto grado académico si la persona que lo tiene no cuenta con un corazón tan cálido como el tuyo. Madre te admiro y sabes que cuentas conmigo, te amo y estoy a tu lado siempre.

Por el cariño de ambos es el que se logran las cosas.

AGRADECIMIENTOS

María Cruz, abuelita gracias por procurarme aun cuando tú debes ser la procurada, abuelita tienes a la mejor hija que pudiste tener y por medio de ella a unos nietos que te quieren mucho, gracias por apoyar a mi familia siempre que has podido.

María de los Angeles Ruciles: tía siempre he contado con un cariño muy especial proveniente de ti y es correspondido, gracias por siempre estar presente en todos mis logros académicos y por estar al pendiente de mí. Tía tu puedes con todo date cuenta de ello.

Cesar Rosas Pinjas: Tío, gracias por considerarme uno más de tus hijos, sabes que eres una persona especial para mí y te agradezco también el estar presente de mi persona. Te quiero mucho.

Diana Ceron Rosiles y Francisco Javier Ceron Rosiles: hermanos si bien no soy el mejor hermano que pudo tocarles, deben saber que cuentan conmigo para todo, en cualquier momento, sin importar que yo estaré con ustedes. Gracias por hacerme sentir miembro de una muy buena familia.

Adrian Hernández Mendoza: a ti en especial te agradezco, siempre en los buenos y malos momentos, siempre con una sonrisa para mí estas al pendiente de todo lo que me puede pasar, tus oídos han soportado mucha carga con la que facilitaste el camino, gracias por siempre darme ánimos y hacer lo que en ti esta para volverme a la realidad. Cuento contigo siempre, me demostraste que no es imposible, yo con un simple gracias no alcanzo a decirte nada de lo que siento por ti, sigamos apoyándonos. No estás solo, yo confío en ti conejo con corazón de pollo :P.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
I INTRODUCCIÓN	2
1.1 DEFINICIÓN DE ACUICULTURA	2
1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA ACUICULTURA A NIVEL MUNDIAL	2
1.3 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LOS ORGANISMOS ACUÍCOLAS.....	3
1.3.1 Proteínas.....	4
1.3.2 Lípidos.....	5
1.3.3 Carbohidratos	6
1.4 DIGESTIÓN Y ABSORCIÓN DE NUTRIENTES.....	6
1.4.1 Digestión y Absorción de Carbohidratos.	7
1.4.2 Digestión y Absorción de Proteínas.....	8
1.4.3 Digestión y Absorción de Lípidos.....	9
1.5 METABOLISMO DE LOS NUTRIENTES	11
1.6 FORMULACIÓN DE RACIONES ACUICOLAS	12
1.7 ELABORACIÓN DE RACIONES ACUICOLAS	13
1.7.1 Peletización	14
1.7.2 Extrusión	14
1.8 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE EN ESTUDIO (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	15
1.8.1 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES DE LA TILAPIA (<i>Oreochromis niloticus</i>) ...	17
1.8.2 Oxígeno disuelto.	18
1.8.3 Temperatura.	18
1.8.4 pH.....	19
1.8.5 Compuestos nitrogenados (Amonio, Nitritos y Nitratos).....	19
1.8.6 Dureza	20
1.9 HÁBITOS Y REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LA TILAPIA NILOTICA.	21
1.10 PRODUCCIÓN DE TILAPIA A NIVEL MUNDIAL	22
1.11 Producción de Tilapia en México.....	24
1.12 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PRODUCTOS DE DESECHO DE MATADERO AVÍCOLA.....	25

1.13	ACTUAL SITUACIÓN MUNDIAL EN LA PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO	26
.....		
II.	JUSTIFICACIÓN	28
III.	OBJETIVOS DEL TRABAJO	30
IV.	HIPÓTESIS	31
V.	MATERIALES Y MÉTODOS	32
5.1	ANIMALES	32
5.2	CALIDAD DEL AGUA EMPLEADA	33
5.3	DIETAS	35
5.3.1	Selección de las materias primas	35
5.3.2	Elaboración de la harina de subproductos avícolas	35
5.4	DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LAS DIETAS	38
5.4.1	Formulación de Dietas	38
5.4.2	Elaboración de Dietas	40
5.5	EVALUACIÓN DE DIETAS	43
5.5.1	Evaluación química	43
5.5.2	Evaluación de las propiedades físicas de las dietas	43
5.5.2.1	Diámetro de los gránulos	43
5.5.2.2	Porcentaje de flotación del granulado	43
5.6	EVALUACIÓN EN ANIMALES	44
5.6.1	Tratamientos	44
5.6.2	Análisis de los parámetros productivos	45
5.6.2.1	Mortalidad	45
5.6.2.2	Ganancia de peso (G.P)	46
5.6.2.3	Conversión alimenticia	47
5.6.2.4	Porcentaje de disminución de costos	47
5.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	48
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
6.1	CALIDAD DEL AGUA	49
6.2	DIETAS	51
6.2.2	Formulación de Dietas	53
6.2.3	Evaluación física de calidad de los alimentos elaborados	53

6.3	EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS DE LAS DIETAS	56
6.3.1	Ganancia de peso.....	56
6.3.2	Conversión alimenticia.....	56
6.4	ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS	57
VII.	CONCLUSIONES.....	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	62

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la Tilapia Nilotica (<i>Oreochromis niloticus</i>)	15
Cuadro 2. Requerimientos nutricionales de la Tilapia Nilotica (<i>Oreochromis niloticus</i>) según peso.	21
Cuadro 3. Cuadro de alimentación en cultivo intensivo de la Tilapia Nilotica (<i>Oreochromis niloticus</i>)	22
Cuadro 4. Principales Estados Mexicanos pesqueros de Tilapia (2007).	25
Cuadro 5. Principales Estados Mexicanos Tilapicultores (2007).	25
Cuadro 6. Análisis garantizado del alimento comercial para Tilapia Nilotica (<i>Oreochromis niloticus</i>) en el período de aclimatación.....	33
Cuadro 7. Porcentaje de inclusión en ingredientes de las dietas diseñadas para Tilapia Nilotica (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	39
Cuadro 12. Registro de Temperatura promedio por tratamiento.	50
Cuadro 13. Registro de pH y Amonio.	51
Cuadro 8. Composición química en base seca de ingredientes utilizados en las dietas elaboradas para Tilapia Nilotica (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	52
Cuadro 9. Porcentaje de inclusión en ingredientes de las dietas diseñadas Tilapia Nilotica (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	53
Cuadro 10. Resultados a la evaluación de calidad física de los alimentos elaborados para juveniles de Tilapia Nilotica (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	54
Cuadro 11. Composición química de las dietas elaboradas para Tilapia Nilotica (<i>Oreochromis niloticus</i>)	55
Cuadro 14. Promedios de los parámetros productivos de la Tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) alimentadas con las dietas experimentales	57
Cuadro 15. Costos de los ingredientes y su aporte económico al total de cada dieta para Tilapia Nilotica (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	59
Cuadro 16. Estimación de la disminución de costos de dietas por la sustitución parcial de harina de pescado con harina de subproductos avícolas, en las dietas para Tilapia Nilotica (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	60
Cuadro 17. Comparación de costos de alimentación por Kilogramo de Tilapia juvenil producida con los alimentos diseñados y un alimento comercial.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Juveniles de Tilapia Nilotica.....	16
Figura 2. Morfología y dimorfismo sexual de la Tilapia Nilotica.....	17
Figura 3. Principales países pesqueros de Tilapia. (Cientos de Toneladas, %) en 2002).....	23
Figura 4. Principales países Tilapicultores. Principales países productores de tilapia por acuicultura (millares de Toneladas, %) en 2002. (Abdel-Fattah, 2006).	24
Figura 5. Equipo de pruebas para acuario.	34
Figura 6. Fabricación de harina de subproductos avícolas.....	37
Figura 7. Composición de las dietas experimentales.....	39
Figura 8. Cocción de la formulación	40
Figura 9. Deshidratación de la formulación.	41
Figura 10. Formulación deshidratada.	41
Figura 11. Reducción del tamaño de partícula.	42
Figura 12. Alimento granulado.....	42
Figura 13. Determinación de flotación.	44
Figura 14. Tratamientos realizados	45
Figura 15. Balanza empleada en el registro de pesos iniciales y finales.	46

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, con objeto de evaluar la inclusión de harina de subproductos avícolas en la formulación y elaboración de dietas para Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*) y su efecto sobre sus parámetros productivos. Se utilizaron 63 Tilapias, distribuidas al azar en nueve acuarios, representando tres tratamientos con tres repeticiones cada uno. Los tratamientos consistieron en: 100% harina de pescado como única fuente proteica animal en la ración (D1), 20% harina de subproductos avícolas en sustitución parcial a la harina de pescado (D2) y 50% harina de subproductos avícolas en sustitución parcial a la harina de pescado (D3). Los animales fueron pesados al inicio y al final de la fase experimental (60 días), diariamente se contabilizó la mortalidad y se determino la temperatura de cada acuario, cada seis días se determino el nivel de Amoniaco disuelto. A partir de los datos obtenidos se calcularon las ganancias de peso (GP) y la conversión alimenticia (CA). Las dietas experimentales fueron formuladas mediante una hoja de cálculo, las materias primas y alimentos formulados fueron sometidos a análisis químicos proximales. Los datos de mortalidad, GP y CA fueron sometidos a un análisis de varianza y la diferencia entre medias se determinó con la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$. Las GP finales fueron: 10.7 ± 0.26 , 11.1 ± 0.45 y 10.8 ± 0.50 gramos, las CA correspondieron a 2.7 ± 0.06 , 2.6 ± 0.10 y 2.6 ± 0.12 respectivamente. Por medio del análisis estadístico se determinó que el empleo de harina de subproductos avícolas no causa diferencias significativas en los parámetros productivos de la Tilapia Nilotica. Se concluye que la harina de subproductos avícolas es una materia prima útil en la alimentación de la Tilapia Nilotica, y su empleo podría reducir importantemente la dependencia de la importación de la harina de pescado, así como el costo de alimento, beneficiando al productor.

I INTRODUCCIÓN

1.1 DEFINICIÓN DE ACUICULTURA

La acuicultura se define como el cultivo de organismos acuáticos, lo cual incluye a peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas, esta actividad implica la intervención del hombre en el proceso de cría para aumentar la producción en operaciones como son la siembra, alimentación y protección de depredadores, y presupone que los individuos ó asociaciones que la ejercen son propietarios de la población bajo su cultivo (Vela y Ojeda, 2007).

1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA ACUICULTURA A NIVEL MUNDIAL

En el pasado se ha podido disponer de la agricultura, ganadería y la pesca como fuente abundante de alimento. Esto ha detenido en cierto grado el impulso de la acuicultura, por ello no se había tomado seriamente como una alternativa para la producción de alimento para el humano (Vela y Ojeda, 2007).

Sin embargo, la estabilización de la pesca en niveles imposibles de superar, junto con el aumento incesante de la población mundial es lo que ha propiciado el desarrollo de la acuicultura para el abastecimiento del hombre (Vela y Ojeda, 2007).

Existen registros de que la acuicultura se practicaba desde la época prehispánica, sin embargo es hasta las últimas dos décadas cuando se ha consolidado como una actividad económica de importancia debido a las razones anteriormente descritas (Arroyo, 2008).

En cuanto a producción, la contribución de la acuicultura al suministro de productos pesqueros, aumentó del 3.9% en 1970 al 27.1% en 2000, 32.4% en 2004y 36.0% en 2006 (Vela y Ojeda, 2007; FAO, 2009). En el mismo periodo el crecimiento de la producción acuícola fue más rápido que el de la población, de tal forma que el suministro per cápita pasó de los 0.7 Kg. en 1970 a los 7.8 Kg en 2006, correspondiendo a un crecimiento medio anual de 7.0% (FAO, 2009).

Ha quedado claro que desde la década de 1980 que la pesca de captura comenzó a estancarse, el sector de la acuicultura se ha expandido en todo el mundo, contribuyendo a abastecer la creciente demanda mundial de pescado a un precio accesible para los más necesitados y permitiendo el mantenimiento de oficios artesanales (Vela y Ojeda, 2007).

En cuanto a la comercialización de los productos derivados de la acuicultura, las ventajas más destacables de los productos acuícolas en el mercado son la garantía de frescura, el suministro regular libre de estacionalidades, así como su comercialización regular y previsible en fechas y cantidades, también porque ofrece seguridad alimentaria e higiénico-sanitaria mediante el control y análisis permanente de los animales y de su alimentación, que se reflejan en una completa trazabilidad, además de la calidad del producto, sostenibilidad, satisfacción y precios estables (Vela y Ojeda, 2007).

1.3 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LOS ORGANISMOS ACUÍCOLAS.

A nivel comercial, el principal objetivo de la producción de peces es el de maximizar el crecimiento y la supervivencia al mínimo costo, siendo condición necesaria la óptima satisfacción de los requerimientos fisiológicos y metabólicos de los organismos objetos de cultivo, proveyéndolos de condiciones ambientales favorables y alimentándoles con dietas adecuadas (Robaina, 1995).

Los requerimientos nutricionales y la formulación de dietas para especies cultivadas, se han basado en los estudios realizados en especies como la trucha, carpa y salmón, principalmente. Estos estudios son muy importantes para la aproximación de alimentos de las especies emergentes en acuicultura, ya que la necesidad de carbohidratos, proteínas y lípidos no es la misma para todas ellas (Arroyo, 2008).

La mayor parte del alimento que es consumido por los peces se encuentra constituido por tres macro nutrientes, las proteínas, los carbohidratos y los lípidos, de los cuales trataremos a continuación (Walter, 2004).

1.3.1 Proteínas.

El valor de una dieta depende de los niveles y disponibilidad de más de 40 nutrientes necesarios para los peces. Entre ellos, las proteínas constituyen el material orgánico más abundante en el tejido de los peces, representando entre un 65 y 75% del total en peso seco (Arroyo 2008). Esta macromolécula es el constituyente básico de las células, representa después del agua el grupo químico más abundante en ellas, como nutriente es utilizado para el crecimiento y como fuente de energía, como ingrediente en dietas artificiales es el componente más costoso (Walter, 2004; Webster y Lim, 2002).

Las proteínas son compuestos orgánicos basados en aminoácidos, diez aminoácidos no pueden ser sintetizados por los vertebrados, incluyendo a los peces, por lo cual deben ser suministrados por la dieta, estos aminoácidos son nombrados esenciales y son: arginina, fenilalanina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, triptófano, treonina, metionina y valina. Existen otros aminoácidos considerados no esenciales (alanina, asparagina, cisteína, glutamina, glicina, prolina, serina, tirosina, ácido aspártico, ácido glutámico) los cuales pueden ser sintetizados por el organismo (Webster y Lim, 2002; Cardella y Hernández, 1999).

Cuando un aminoácido esencial en particular es deficiente en la dieta, se le da el nombre de aminoácido limitante puesto que limita la síntesis proteica. Es por esta razón que la calidad proteica es importante en la nutrición acuícola (Webster y Lim, 2002).

Existen factores que afectan los requerimientos proteicos de los peces. El más importante corresponde a la edad del pez, peces juveniles requieren mayor aporte proteico que los peces adultos, también deben contemplarse las condiciones de cultivo, las condiciones ambientales, el estado fisiológico y los niveles de los nutrientes no proteicos presentes en la dieta, ya que cuando hay un desequilibrio entre la proporción de proteína y las demás fuentes de energía (lípidos y carbohidratos) esta es metabolizada para producir energía en detrimento de su deposición en los tejidos (Walter, 2004).

1.3.2 Lípidos

Los lípidos comprenden un variado grupo de compuestos orgánicos que son insolubles en agua pero solubles en solventes orgánicos (Walter, 2004). Dentro de esta categoría se incluyen las grasas, los aceites, los glicolípidos, fosfolípidos y los esteroides los cuales son nutrientes esenciales en la dieta de los peces para proveerles de energía, de componentes estructurales ó como reguladores de funciones fisiológicas (Webster y Lim, 2002, Cardella, 1999).

Desde el punto de vista de las cantidades presentes en el organismo animal y los alimentos, los triglicéridos constituyen la mayor fracción de los lípidos, aproximadamente el 98% (Bondi, 1987).

Los triglicéridos están compuestos por una molécula de glicerol unida a tres ácidos grasos (Walter, 2004; Cardella y Hernández 1999).

La longitud de las cadenas y el número de dobles enlaces determina las propiedades físicas y nutricionales del triglicérido (Walter, 2004).

Ciertos ácidos grasos tales como los ácidos linoléico (omega-3) y linolenico (omega-6) son considerados esenciales ya que los peces son incapaces de producirlos o bien los producen en cantidades insuficientes, por lo cual deben ser obtenidos de los alimentos (Walter, 2004; Church 2002).

Algunos de los efectos de una deficiencia de ácidos grasos esenciales son el crecimiento deficiente y la incapacidad de reproducción, por ello es importante asegurarse de suministrarlos en la dieta (Church, 2002; Mc Donald, *et al.*, 1999).

Aun cuando cada especie tiene requerimientos específicos, en general se considera que en los peces de aguas frías son mayormente requeridos los ácidos grasos insaturados de la clase omega-3 y los peces de aguas cálidas requieren ácidos grasos insaturados de cualquier clase tanto omega-3 como omega-6 (Webster y Lim, 2002).

La importancia de suministrar adecuadamente los lípidos en las dietas acuícolas radica en que a falta de recursos energéticos dentro de ella, el organismo del pez comenzará a utilizar

las proteínas como fuente de energía en detrimento de su crecimiento, lo cual se traduce en una pérdida económica al desviar el componente más costoso de la ración para compensar la falta de un componente de costo menor como lo son los lípidos (Webster y Lim, 2002; Abdell-Fattah, 2006).

1.3.3 Carbohidratos

Los carbohidratos son los compuestos más abundantes en la naturaleza. En las plantas puede representar hasta el 75% de su peso seco, ya sea almacenando energía en forma de almidón o bien como componente estructural en forma de celulosa mientras que en los animales se encuentra en mucho menor cantidad principalmente en forma de glucosa o de glucógeno cuya función es el aporte de energía al organismo para así satisfacer sus requerimientos metabólicos (Bondi, 1987, Church, 2002).

Pueden ser clasificados en tres grupos: los monosacáridos considerados la unidad fundamental de los carbohidratos, los oligosacáridos constituidos por 2 a 10 monosacáridos ó bien los polisacáridos constituidos por más de 10 monosacáridos. Por hidrólisis mediante enzimas, los oligosacáridos y polisacáridos pueden degradarse hasta ser reducidos a monosacáridos y así poder ser asimilados por el organismo (Bondi, 1987).

Los peces no parecen tener necesidades dietéticas de carbohidratos, aunque si presentan enzimas que los digieren. Los peces con hábitos alimenticios herbívoros utilizan más eficientemente los carbohidratos a comparación de los peces carnívoros. La tilapia puede utilizar eficientemente un máximo del 40% de los carbohidratos en la dieta (Church, 2002; Abdell-Fattah, 2006).

1.4 DIGESTIÓN Y ABSORCIÓN DE NUTRIENTES

Los procesos de digestión consisten en la transformación física y química de las partículas de alimento en sub-unidades que puedan ser asimiladas por el organismo (Bondi, 1987, Cunningham, 2003).

La digestión química de cada uno de los principales nutrientes se realiza mediante el proceso de hidrólisis. Existen dos clases generales de enzimas digestivas, las que actúan en la luz intestinal (fase luminal) y las que lo hacen a nivel epitelial (fase membranosa). Las enzimas que actúan en la luz intestinal son secretadas por las glándulas gástricas y pancreáticas principalmente, estas secreciones se mezclan con la ingesta produciendo una hidrólisis incompleta de los nutrientes, formando polímeros de cadena corta a partir de las macromoléculas en el alimento. El proceso hidrolítico se completa con las enzimas digestivas sintetizadas en el enterocito y unidas a la superficie del epitelio del intestino delgado, rompiendo los polímeros de cadena corta en monómeros de fácil absorción a través del epitelio (Ganong, 2000; Cunningham, 2003).

La absorción se refiere al transporte de los productos de la digestión a través de la mucosa intestinal hasta el sistema vascular para ser distribuidos al resto del organismo (Cunningham, 2003).

1.4.1 Digestión y Absorción de Carbohidratos.

Los carbohidratos de la dieta proceden principalmente de las plantas, en ellas existen en forma de fibras, azúcares simples y almidones (Cunningham, 2003).

Las fibras a veces clasificadas como componentes celulósicos forman parte estructural de las plantas, estas fibras no se rompen mediante la digestión hidrolítica y por tanto son difíciles de digerir por los monogástricos, por lo que poseen principalmente la función de facilitar el tránsito digestivo (Cunningham, 2003).

Los azúcares simples (disacáridos y monosacáridos) se encuentran presentes en muy pequeñas cantidades en la ingesta, de tal modo que los que se encuentran en la luz intestinal son producto de la degradación enzimática de carbohidratos más complejos, y estos productos serán digeridos en la fase membranosa de la digestión (Bondi, 1987; Ganong, 2000).

Los almidones son la mayor fuente de energía, en los peces su degradación comienza en la luz intestinal, la enzima involucrada en ella es la amilasa de origen pancreático, esta enzima reduce el almidón hasta su forma de disacáridos (maltosa) y los trisacáridos

(maltotriosa) los cuales continuarán su digestión en la fase membranosa (Abdel-Fattah, 2006; Cunningham 2003).

Los enterocitos son capaces de producir enzimas específicas para completar la hidrólisis de los sustratos provenientes de la fase digestiva luminal (sacarosa, maltosa, isomaltosa, maltotriosa) de tal forma que la sacarasa, maltasa, e isomaltasa generan como producto respectivo los carbohidratos simples fructosa y principalmente glucosa (Bondi, 1987, Cunningham, 2003).

Los productos de la digestión membranosa se absorben gracias al cotransporte de Sodio, las proteínas que llevan a cabo este proceso se encuentran en la membrana apical del enterocito, de tal forma que cuando los puntos de unión de glucosa ó galactosa y los de Sodio se encuentran ocupados, la proteína específica es capaz de ingresarlos al espacio intracelular (Cunningham, 2003). La fructosa sigue un método de absorción independiente de Sodio, ingresando por difusión facilitada al enterocito (Ganong, 2000).

Para completar la absorción, estos carbohidratos deben atravesar mediante difusión facilitada, en la que proteínas actúan como vía de transporte a favor del gradiente de concentración, difundiendo así a los espacios laterales y alcanzar así las membranas capilares (Cunningham, 2003).

1.4.2 Digestión y Absorción de Proteínas.

La digestión de las proteínas inicia en el estómago, en donde el pepsinogeno se activa por acción del ácido Clorhídrico en pepsina (Mc. Donald, 1999; Ganong, 2000). La pepsina hidroliza las uniones entre aminoácidos aromáticos y otro tipo de aminoácido, de tal forma que los polipéptidos resultantes son de tamaño muy variado (Ganong, 2000). Debido a que las pepsinas actúan en un pH de 1.6 a 3.2 su acción termina cuando el bolo alimenticio llega al intestino debido a la elevación del pH (Ganong, 2000; Cunningham, 2003).

Aunque la acción de las enzimas gástricas es importante al inicio de la digestión proteica, no es esencial ya que los organismos sin estomago diferenciado como es el caso de

algunos peces, son capaces de digerir las proteínas debido a la actividad enzimática pancreática (Ganong, 2000).

El páncreas secreta tripsinogeno, quimiotripsinogeno, proelastasa, procarboxipeptidasa A y procarboxipeptidasa B, proenzimas en estado inactivo que tienen acción proteolítica. Dentro de estas proenzimas el tripsinogeno es transformado a su forma activa de nombre tripsina mediante la enteroquinasa producida por los enterocitos. La tripsina es la responsable de activar el resto de las proenzimas proteolíticas pancreáticas para lograr actuar en la digestión luminal, de esta forma los polipeptidos son reducidos a tripeptidos, dipeptidos y algunos aminoácidos libres los cuales deberán continuar su digestión en la fase membranosa (Ganong, 2000; Hoar *et al.*, 1979).

Aunque la mayoría de los dipeptidos y tripeptidos pueden ser ingresados al espacio intracelular del enterocito, estos aun pueden ser hidrolizados por las peptidasas presentes en su borde apical y ser reducidos a aminoácidos libres (Ganong 2000).

La absorción de los productos de la fase membranosa de la digestión de las proteínas se realiza por medio de cotransporte de Sodio (Cunningham, 2003). Dentro del enterocito existen peptidasas citoplasmáticas que continúan la degradación de tripeptidos y dipeptidos, aumentando la cantidad de aminoácidos libres los cuales atraviesan la membrana citoplasmática en dirección al torrente sanguíneo por medio de la vena porta (Ganong, 2009; Hoar, 1979).

1.4.3 Digestión y Absorción de Lípidos.

Los lípidos se encuentran en un porcentaje importante en las dietas, está presente en forma de triglicéridos, colesterol y fosfolípidos principalmente (Mc Donald, 1999; Cunningham, 2003). Su digestión puede dividirse en las fases de emulsión, hidrólisis, formación de micelas y absorción (Cunningham, 2003).

La emulsión de los lípidos comienza en el estomago, gracias a los movimientos de mezclado y agitado se favorece la formación de gotas de lípidos de menor tamaño. Esta acción se complementa en el intestino al mezclarse el quimo con las sales biliares las cuales

disminuyen la tensión superficial de las gotas de grasa reduciendo aun más su tamaño con la finalidad de facilitar la acción de las enzimas hidrolíticas en la luz intestinal (Ganong, 2000, Cunningham, 2003).

La fase de hidrólisis comienza en el intestino, ya que las gotas de grasa entran en contacto con las enzimas colipasa, lipasa, fosfolipasa y estearasa de origen pancreático. La colipasa es responsable de abrir paso en la cobertura de ácidos biliares circundantes a las gotas de grasa y así poner en contacto los triglicéridos y la lipasa. De esta forma la lipasa logra unirse a sus sustratos (triglicéridos) y comenzar a desdoblar cada uno de ellos en 2 ácidos grasos libres y un monoglicerido. La estearasa pancreática y la fosfolipasa actúan a su vez sobre otro tipo de lípidos formando como productos ácidos grasos no esterificados, colesterol y lisofosfolípidos (Mc Donald, 1999; Vela y Ojeda, 2007).

Al concluir la fase hidrolítica los productos resultantes se reúnen nuevamente con los ácidos biliares presentes en la luz intestinal formando micelas las cuales son mucho más pequeñas que las gotas de las que proceden. La formación de micelas permite su difusión desde la luz intestinal a través de la capa acuosa mucointestinal hasta alcanzar la membrana apical de los enterocitos, en la que gracias a proteínas transportadoras específicas las introducen a la célula (Cunningham, 2003).

Algunos otros componentes de la hidrólisis lipídica tales como colesterol y lisofosfolípidos libres pueden difundir de forma simple a través de la membrana del enterocito (Cunningham, 2003).

Todos los productos finales de la digestión lipídica dentro del enterocito son conducidos hacia el retículo endoplasmico liso en donde se reesterifican en triglicéridos y fosfolípidos, y posteriormente son unidos a proteínas que les confieren estabilidad estructural, estos complejos son llamados quilomicrones (MC Donald, 1999, Cunningham, 2003).

Los quilomicrones abandonan el enterocito por la membrana vasolateral, sin embargo debido a su gran tamaño no pueden difundir por la pared de los capilares sanguíneos así que deben ser drenados por el sistema linfático el cual los libera a la circulación sanguínea a nivel de la vena cava (Cunningham, 2003).

1.5 METABOLISMO DE LOS NUTRIENTES

Durante la absorción, se coordinan los procesos metabólicos en el Hígado y otros órganos periféricos que convierten los nutrientes en moléculas almacenables y las disponen en lugares de almacenamiento (Cunningham, 2003).

Al iniciarse la digestión comienza la secreción de insulina, esta liberación prepara al Hígado y otros tejidos para el aumento de la glucosa en sangre. Gran parte de esta glucosa es incorporada al Hígado en donde inicia la formación de glucógeno (glucogenogénesis) para ser almacenado dentro de los hepatocitos y su posterior reconversión en glucosa (glucogenólisis), sin embargo este órgano tiene un límite de almacenamiento cercano al 10% de su peso por ello existen otros mecanismos para almacenar esta fuente de energía tales como la síntesis de ácidos grasos por parte del tejido adiposo (Church, 2002; Cunningham, 2003).

Los ácidos grasos formados en el Hígado deben transportarse al tejido adiposo para almacenarse ó a otros tejidos como el muscular para ser utilizados directamente en la formación de energía. Estos ácidos grasos al ser insolubles en el plasma deben ser unidos a proteínas, este complejo es nombrado lipoproteína de baja densidad. Estas lipoproteínas ya pueden ser transportadas de forma similar a los quilomicrones por vía plasmática (Cunningham, 2003; Shimada, 2009).

Los ácidos grasos tanto de las lipoproteínas de baja densidad como de los quilomicrones son transferidos mediante la enzima lipoproteinalipasa la cual se encuentra en la membrana del adipocito y que fue estimulada por la insulina (Ganong, 2000; Cunningham, 2003).

La insulina también estimula al adipocito a sintetizar ácidos grasos a partir de la glucosa (Cunningham, 2003).

En cuanto a los aminoácidos presentes en la circulación porta-hepática estos tienen como primer destino el hígado en donde la mayoría de ellos son absorbidos y transformados en proteínas hepáticas y proteínas séricas ó bien son desaminados para ser transformados en glucosa (gluconeogenesis) ó en ácidos grasos. Por otro lado los aminoácidos que escapan a la absorción hepática y se encuentran libres en la circulación sistémica son utilizados por otros

tejidos productores de proteína principalmente las fibras musculares en donde pueden reservarse para su posterior empleo (Ganong, 2000; Cunningham, 2003; Shimada, 2009).

1.6 FORMULACIÓN DE RACIONES ACUICOLAS

La formulación de raciones ó dietas es el proceso mediante el cual se trasladan los requerimientos de nutrientes de una especie en particular en una etapa productiva específica a una mezcla de ingredientes dietarios ó materias primas en la cual el nivel de inclusión es ajustado (Walter, 2004).

La ración a formularse debe cumplir las necesidades de nutrientes, ser palatable, estable, fácil de almacenar, y ser lo menos costoso posible (Church, 2002; FAO, 1994).

Para lograr este proceso se debe disponer de información específica de las exigencias nutricionales de la especie a alimentar, la disponibilidad de los ingredientes, las restricciones en su uso y su costo principalmente (Walter, 2004).

Respecto a los requerimientos nutricionales, existen tablas de trabajos científicos que especifican cuales son las exigencias para cada especie, en una etapa de vida ó fisiológica determinada. Cuando tales datos no se conocen ó no están completamente definidos, se toman como base para la formulación los valores establecidos para especies con preferencias de alimentación semejantes (Walter, 2004).

La composición química de los nutrientes ó materias primas a emplearse puede ser determinada por métodos de análisis químicos preferentemente de laboratorios locales, no obstante pueden emplearse los datos publicados en diversas tablas de composición de alimentos elaboradas por diversas instituciones, como por ejemplo las publicadas por la National Research Council (NRC) de los Estados Unidos de Norteamérica, ó bien las del Agricultural Research Council (ARC) de Inglaterra (Walter, 2004; Bondi, 1987).

Con los datos anteriormente expuestos, se procede a definir que método se empleara para realizar la formulación. Existen métodos manuales tales como el cuadrado de Pearson, ó bien el Método de sustitución que son los preferidos al formular con pocos ingredientes ó bien

se pueden emplear los métodos computarizados cuando se desea emplear un mayor número de materias primas, satisfacer requerimientos nutricionales multifactoriales, así como calcular en base a costos (Shimada, 2009).

Posteriormente al balanceo de la ración, se procede a determinar el proceso de fabricación, y las características físicas finales que deberá poseer el alimento (Martínez *et al.*, 1989).

Se debe tener información sobre el comportamiento alimenticio del pez a cultivar tales como su dieta natural, el estrato en el que consume su alimento ya sea en la superficie, a media profundidad o en el fondo, así como la rapidez de alimentación. Estos factores marcarán si se fabrica un alimento flotante, de caída lenta ó de caída rápida, también se determinará el tamaño, forma y estabilidad en el agua (Walter, 2004; Subcomite on fish nutrition, 1993).

Por último ya establecidas las necesidades a cumplir el producto final, se debe determinar el procesamiento al cual será sometida la formulación de la ración. Algunos procesos de granulación de los alimentos balanceados como la peletización ó la extrusión, exigen una combinación adecuada de ingredientes para que la ración pueda ser procesada en forma satisfactoria, sin que se produzca un excesivo desgaste de los equipos ó compromiso de la estabilidad de los gránulos durante el transporte, almacenamiento y principalmente al entrar en contacto con el agua (Walter, 2004; FAO, 1994).

1.7 ELABORACIÓN DE RACIONES ACUICOLAS

La formulación y especificaciones técnicas del producto a elaborarse y diseñadas por el nutriólogo, no deben ser afectadas por el proceso de fabricación, por lo tanto deben realizarse ciertos procesos que garanticen la total expresión de sus características químicas (Bondi, 1987; Church, 2002).

Siendo todos los ingredientes de una dieta, productos con distintos tamaños y densidades, es casi imposible obtener un mezclado homogéneo que asegure que todos ellos se encuentren presentes en un volumen adecuado, es por esta razón que la reducción del tamaño

de las partículas hasta un nivel lo más uniforme entre ellas, es una condición para obtener una adecuada mezcla (Church, 2002).

Debe procurarse que todos los gránulos del alimento terminado sean lo más parecidos entre sí en cuanto al porcentaje de sus componentes y así todos los individuos tengan oportunidad de alimentarse por igual, evitando la selectividad (Bondi, 1987; Church, 2002).

Para cualquier proceso de granulación es necesario acondicionar la mezcla de materias primas mediante la adición de calor y humedad. Este acondicionamiento sirve para mejorar la digestibilidad del alimento por el efecto de cocción (Walter, 2004; FAO, 1994).

Posterior al acondicionamiento se debe realizar la aglomeración la cual proporcionara la presentación física final requerida, facilitando su manipulación posterior y su estabilidad en el agua (FAO, 1994).

1.7.1 Peletización

La peletización es un proceso mecánico en el que la mezcla de ingredientes es forzada a pasar bajo presión a través de orificios cónicos, el proceso implica calentamiento a 80°, humedad de alrededor del 18% y presión. Una fina molienda de los ingredientes es requisito para una buena estabilidad de los pellets en el agua. Después de la peletización sigue un proceso de enfriamiento y secado para dejar los pellets con máximo 10% de humedad. A pesar del calentamiento la naturaleza química de los componentes resulta inalterada, sin embargo es suficiente para destruir total o parcialmente algunos anti nutrientes. Una buena peletización permite mayor homogeneidad de los ingredientes en los gránulos, mejora la aceptación y disminuye la selectividad alimentaria y facilita la manipulación del alimento (Walter, 2004).

1.7.2 Extrusión

El proceso de extrusión se realiza en condiciones de alta presión, cercano a las 60 atmósferas, alta humedad en forma de vapor de agua y temperaturas cercanas a 150°C. Como resultado los carbohidratos sufren gelatinización, de esta forma el proceso de extrusión puede

ser calibrado para producir gránulos de variable flotabilidad y con diferentes tasas de velocidad de hundimiento (Walter, 2004; Subcomite on fish nutrition, 1993).

1.8 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE EN ESTUDIO (*Oreochromis niloticus*).

El nombre Tilapia es comúnmente aplicado a tres géneros de peces de la familia *Cichlidae*, los cuales son: *Oreochromis*, *Sarotherodon* y *Tilapia* (Arroyo, 2008; Poot *et al.*, 2009). Estos géneros se diferencian gracias a sus hábitos reproductivos, ya que el género *Tilapia* construye un nido en donde desova y protege ahí a sus huevecillos y primeras fases de desarrollo de larvas, hasta que son capaces de trasladarse. Los integrantes del género *Oreochromis* utilizan el nido solo para ovopositar y fecundar, ya que la incubación se realiza dentro de la boca de la hembra, mientras que en el género *Sarotherodon* esta actividad de incubación es realizada por el macho (Poot *et al.*, 2009).

Las Tilapias son organismos dulce acuícolas originarias de África, las cuales gracias a su amplia adaptación se encuentran distribuidas en la mayoría de los países tropicales y subtropicales del mundo (Poot *et al.*, 2009; Abdel-Fattah, 2006).

Dentro de la tilapicultura (Cultivo de las tilapias) el género más importante es el *Oreochromis*, el cual incluye a las especies: *Oreochromis niloticus* "Tilapia Nilotica", *O. mossambicus* "Tilapia mozambica", *O. aureus* y *O. urolepis* principalmente (Arroyo, 2008).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*)

Phylum	Chordata
Clase	Actinopterygii
Orden	Perciformes
Familia	Cichlidae
Genero	Oreochromis
Especie	Niloticus

(Camacho, 2000; Saavedra, 2006)

En cuanto a su morfología (figura 1), las tilapias poseen un cuerpo comprimido lateralmente y discoidal, presentan un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, la boca generalmente es ancha y de labios gruesos (Poot, 2009; Abdel-Fattah, 2006).



Figura 1. Juveniles de *Tilapia Nilotica*

Para su locomoción poseen dos aletas pectorales, dos aletas ventrales, una aleta dorsal, una caudal y una anal (Abdel-Fattah, 2006). La parte anterior de las aletas dorsal y anal es corta, consta de varias espinas y en la parte terminal de radios suaves. La aleta caudal es redonda y trunca (Poot, 2009; Cantor, 2007).

Presentan dimorfismo sexual (figura 2), la hembra presenta 3 orificios en el abdomen, el anal, el genital y el urinario, en cambio el macho solo presenta dos, el anal y el genital (Cantor, 2007).

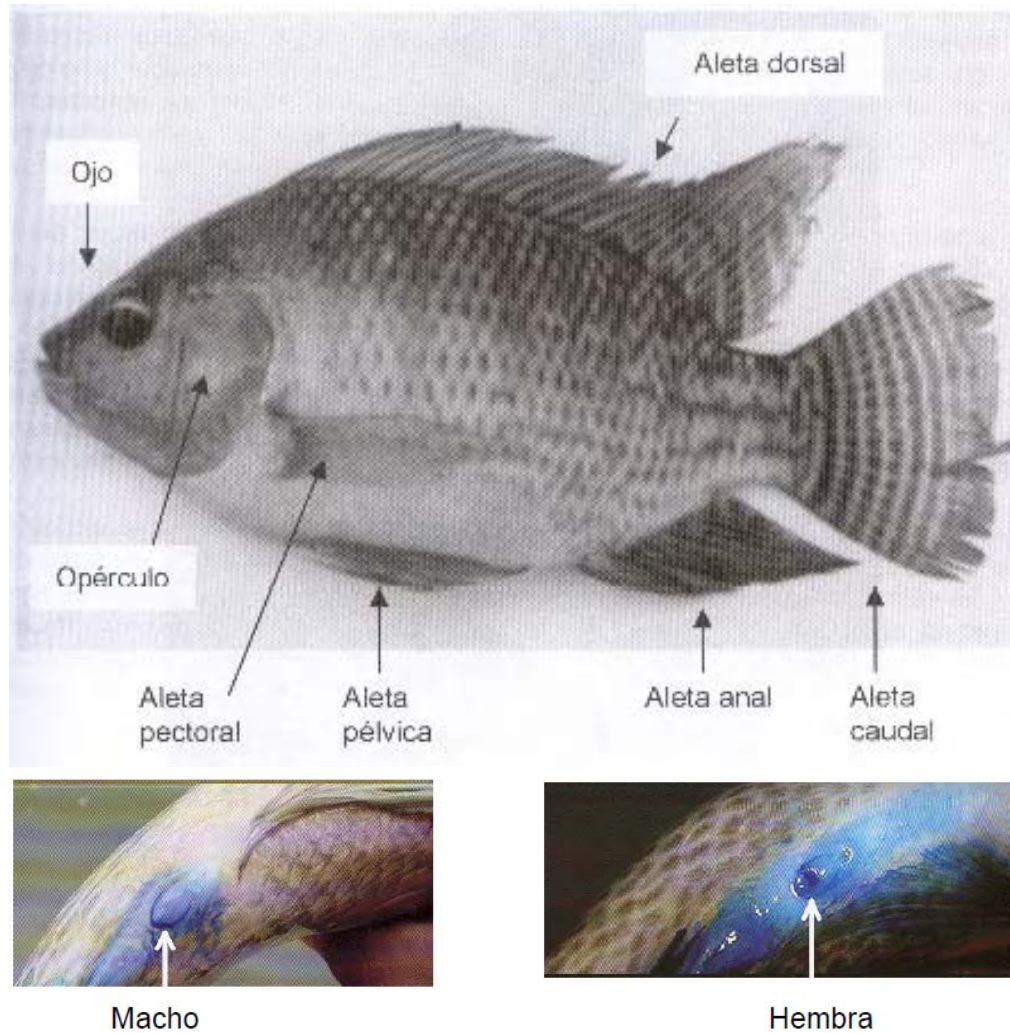


Figura 2. Morfología y dimorfismo sexual de la Tilapia Nilótica.

1.8.1 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES DE LA TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)

Las tilapias son generalmente cultivadas en forma semi-intensiva ó intensiva, bajo diferentes condiciones ambientales (climas tropicales ó subtropicales), de densidad poblacional y estrategias de manejo, en donde la calidad del agua es fácilmente sujeta a cambios continuos, y debido a que es el medio físico en el que habitan estos organismos, se debe poner especial atención en regular sus características físico-químicas, ofreciendo así a los

peces un medio óptimo para que estos puedan expresar con plenitud sus características productivas (reproducción, crecimiento y supervivencia) (Abdel-Fattah, 2006; Buxade, 1997).

1.8.2 Oxígeno disuelto.

Es uno de los requerimientos más importantes en la calidad del agua para el buen mantenimiento de los peces. Es bien conocido que las tilapias tienen requerimientos muy bajos de oxígeno disuelto ya que habitan generalmente en aguas lenticas, pudiendo llegar a tolerar niveles por debajo de 0.1 a 0.5 mg/L por periodos variables, siempre y cuando tengan la posibilidad de acceder a la superficie del agua para tomar directamente del aire el aporte de oxígeno (Abdel-Fattah, 2006).

El nivel óptimo es por encima de los 4mg/L, niveles por debajo pueden causar disminución en la tasa de crecimiento, inapetencia, letargia y susceptibilidad a enfermedades (Saavedra, 2006).

1.8.3 Temperatura.

Los animales acuícolas son considerados poiquilotermos, ya que su temperatura se ajusta a la del medio que habitan, en términos generales, a mayor temperatura el metabolismo se acelera por lo cual se obtiene una tasa de crecimiento mayor, aunque existe un límite térmico específico, es por ello que un adecuado control sobre este factor es importante en un cultivo acuático (Buxade, 1997).

El rango óptimo para el cultivo de tilapias fluctúa entre los 25 y los 32°C. (Poot, 2009; Abdel-Fattah, 2006). Temperaturas por debajo de este rango causa una disminución en el metabolismo y por ende en las características productivas (Camacho, 2000; Michel, et al., 2001).

1.8.4 pH

La Tilapia puede sobrevivir en un rango muy amplio de pH, desde un 3.5 hasta un 12. Sin embargo lo recomendable para un buen confort y crecimiento es de 6.5 a 9 (Abdel-Fattah, 2006; Nandlal y Pickering, 2004). Valores por encima o por debajo de este rango de confort, causan cambios de comportamiento en los peces como letargia, inapetencia, disminuyen y retrasan su crecimiento y reproducción (Nandlal y Pickering, 2004).

1.8.5 Compuestos nitrogenados (Amonio, Nitritos y Nitratos)

El amonio es un compuesto químico nitrogenado gaseoso que se genera en el medio acuático como resultado de la excreción de los peces y de descomposición de la materia orgánica. El hecho de que sea gaseoso no implica que desaparezca de los acuarios ya que posee gran solubilidad en el agua en la cual se presenta de dos formas, no ionizado (NH_3) ó ionizado (NH_4) (Buxade, 1997). El estado ionizado es incapaz de penetrar los tejidos de los peces, sin embargo, la forma NH_3 si es considerada toxica, su estado de no ionizado depende del pH y temperatura del agua, guardando una relación directamente proporcional.

Los niveles de tolerancia para la tilapia se encuentran entre 0.01 a 0.2 mg/L. Una concentración alta de amonio en el agua causa bloqueo del metabolismo, daño en branquias, reducción en el crecimiento y supervivencia (Poot, 2009).

El mecanismo por el cual este compuesto es degradado hasta formas inocuas para los peces se conoce como ciclo del Nitrógeno (Mariani, 1993). Este proceso implica como primer paso la oxidación del amonio a nitritos (NO_2) mediante el metabolismo bacteriano de los géneros *Nitrosomas* y *Nitrosococcus*, este compuesto se encuentra de forma normal en bajas concentraciones en los sistemas de cultivo (Abdel-Fattah, 2006). Es menos tóxico que el Amonio no ionizado sin embargo su toxicidad aumenta en caso de bajos niveles de oxigenación ya que reacciona con la hemoglobina formando metahemoglobina la cual pierde su propiedad de transportar Oxígeno (Abdel_fattah, 2006; Cantor, 2007). Este problema se soluciona oxigenando bien el agua ó aumentando el recambio de agua, lo cual mantendrá los niveles de Nitrato por debajo de los 0.2mg/L (Cantor, 2007). Posteriormente bacterias del

genero *Nitrobacter* continúan la oxidación de nitrito a nitratos (NO₃), esta forma es mínimamente toxica para los pece sirve de sustrato para el crecimiento de algas (Brown, 2000).

1.8.6 Dureza

Es la medida de la concentración de calcio y magnesio expresada en partes por millón (ppm). A partir de esta medición el agua se clasifica en blanda (<100 mg/L) y dura (>100 mg/L) (Poot, 2009).

La dureza del agua afecta principalmente a los peces en su mecanismo de osmorregulación. Tanto para peces de agua salada como de agua dulce existen diferencias de concentración de sales entre el medio y los líquidos corporales. Dado que los peces están separados de su medio por membranas, especialmente en la zona de las branquias, por osmosis se genera un intercambio de sales y agua (Brown, 2000).

En el caso de los peces de agua dulce, el líquido corporal tiene una concentración de sales superior a la del agua que lo rodea, por lo que la tendencia es a retener agua y a la remoción de sales desde los tejidos. Para conservar su homeostasis, los peces eliminan grandes volúmenes de agua vía renal y captan sales por medio de células “células de cloruro” especiales situadas en las branquias (Brown, 2000; Mariani, 1993).

Una dureza incorrecta implica alteraciones en la osmorregulación, y a pesar de que la mayoría de los peces de agua dulce tienen la capacidad de adaptarse a un medio diferente, hay que tener en cuenta que implica un esfuerzo físico adicional continuo, lo cual impedirá un óptimo rendimiento en cuanto a crecimiento, reproducción y resistencia a enfermedades (Brown, 2000).

Los valores de dureza total entre los que la tilapia puede sobrevivir se encuentran en el rango 10 – 500 ppm (mg/L), sin embargo el rango de confort para la especie se sitúa entre 50-250 ppm de Carbonato de Calcio (Poot, 2009; Cantor 2007).

1.9 HÁBITOS Y REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LA TILAPIA NILOTICA.

En su medio natural esta especie presenta una alimentación omnívora, en su etapa juvenil su alimentación es zooplanctófaga, y fitoplanctófaga, posteriormente comienza a alimentarse de insectos y plantas, aunque no son piscívoras, pueden abastecerse ocasionalmente de larvas de peces e inclusive las propias (Saavedra, 2006; Camacho, *et al.*, 2000). En condiciones de cultivo acepta con facilidad los alimentos balanceados, estos deben cumplir con el 100% de sus requerimientos nutricionales en cada una de las etapas de producción en que se encuentren (Poot, 2009).

La alimentación debe ser adecuada a las siguientes etapas de producción en tanto a los requerimientos nutricionales como en la frecuencia (cuadros 2 y 3).

Cuadro 2. Requerimientos nutricionales de la Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*) según peso.

Rango de peso (g)	Nivel de Proteína (%)	Nivel de Extracto etéreo (%)	Frecuencia de alimentación (raciones/día)
<1	45	8 – 10	8 - 12
1 – 30	30 – 40	6 – 10	8
30 – 250	30 – 35	6 – 8	6
>250	25 – 35	6	3-4

(Poot, 2009; Cantor, 2007)

Cuadro 3. Cuadro de alimentación en cultivo intensivo de la Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*)

Alimentación de la tilapia juvenil en cultivo intensivo			
Peso promedio (gramos)	Crecimiento diario (gramos/día)	Alimento diario (% de peso)	Factor de Conversión alimenticia
1-5	0.27	8	0.85
7	0.34	5.8	0.86
10	0.36	5.7	0.90
13	0.46	5.5	0.90
17	0.58	5.1	0.90
22	0.71	5.1	0.91
29	0.93	5.0	0.95

(Cantor, 2007)

1.10 PRODUCCIÓN DE TILAPIA A NIVEL MUNDIAL

Desde la década de 1970 la producción acuícola ha crecido sustancialmente y la tilapia se ha convertido en el segundo grupo de peces más cultivado a nivel mundial, solo después de las carpas chinas. Este lugar lo ha ganado debido a sus altas tasas de crecimiento, adaptabilidad a un amplio rango de condiciones ambientales, habilidad de reproducirse en cautiverio, incremento en la apreciación por el consumidor (Abdel-Fattah, 2006).

Las tilapias contribuyen a la producción mundial de peces con un 20% y la especie que más se produce es la *Oreochromis niloticus* abarcando el 80% del total (FAO, 2009; Abdel-Fattah, 2006).

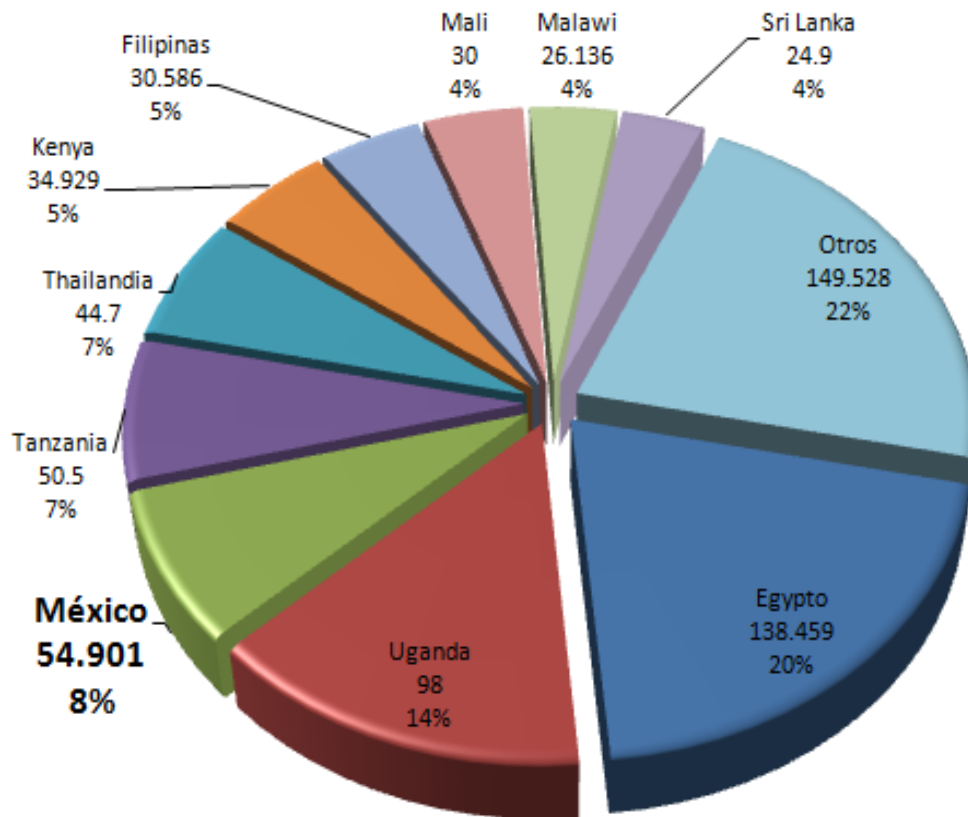


Figura 3. Principales países pesqueros de Tilapia. (Cientos de Toneladas, %) en 2002. (Abdel-Fattah, 2006)

Durante 2005 la producción mundial de tilapia fue de 2.7 millones de toneladas, el continente asiático es el primer productor participando con el 63.2%, seguido por el continente Africano con un 26.6% y en tercer lugar el continente Americano con el 10% (FAO, 2009; Abdel-Fattah, 2006).

La producción total de tilapia ha crecido a un ritmo del 8.3% anual, sin embargo a partir de la década de 1990 la acuicultura supero a la pesca extractiva. La tilapicultura ha crecido desde entonces a un ritmo anual del 11.9% mientras que la pesca extractiva de tilapia se ha estancado en un crecimiento del 3% anual (Abdel-Fattah, 2006).

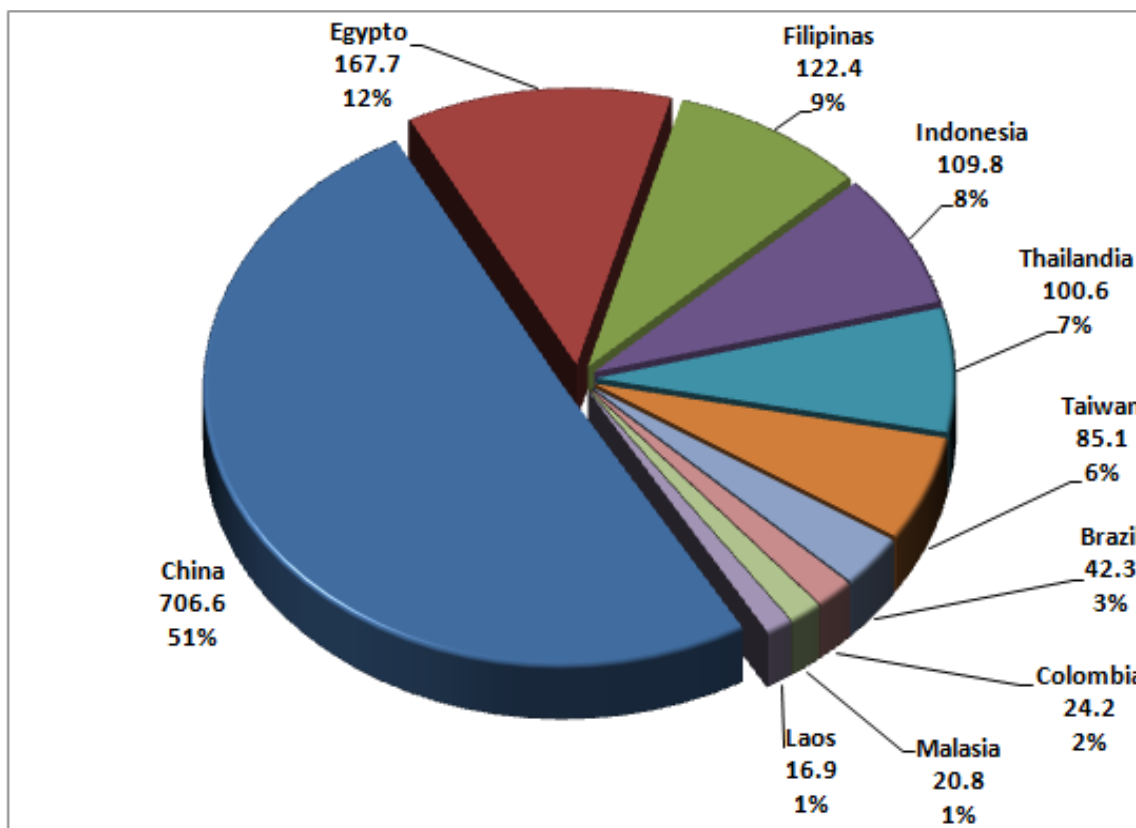


Figura 4. Principales países Tilapicultores. Principales países productores de tilapia por acuicultura (millares de Toneladas, %) en 2002. (Abdel-Fattah, 2006).

1.11 Producción de Tilapia en México

En 2007 la producción total de tilapia en México fue de 85 072 toneladas de las cuales el 86.49% (73580 Toneladas) corresponden a la producción acuícola y el resto a la pesca extractiva (CONAPESCA, 2007; FAO, 1993).

En cuanto a la producción por especie se ubica en el tercer lugar en participación, solo por detrás del camarón con 184 695 toneladas y el atún 86 551 toneladas (CONAPESCA, 2007).

Las principales entidades federativas productoras de tilapia clasificados por su método de producción se muestran en los cuadros 4 y 5.

Cuadro 4. Principales Estados Mexicanos pesqueros de Tilapia (2007).

Pesca Extractiva (Toneladas)	
Veracruz	15 185
Michoacán	13 989
Jalisco	9 684
Tabasco	6 335
Nayarit	6 206
Sonora	5 410

(CONAPESCA, 2007)

Cuadro 5. Principales Estados Mexicanos Tilapicultores (2007).

Acuicultura (Toneladas)	
Veracruz	14 303
Michoacán	9 893
Jalisco	9 695
Sinaloa	6 723
Tabasco	5 639
Nayarit	5 425

Cuadro tomado y modificado de (CONAPESCA, 2007)

1.12 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PRODUCTOS DE DESECHO DE MATADERO AVÍCOLA

Durante la cadena productiva de producción de carne de pollo se genera la evisceración para someter la canal a empaquetado, distribución y posterior venta. Actualmente el rendimiento de esta canal se estima en un 67.61%, es decir que se genera un 32.39% del peso vivo en despojos (sangre, plumas, vísceras) (SAGARPA, 2009; Cruz, *et al.* 2004).

Anteriormente las vísceras se desechaban descartándose como residuos sólidos, con un peso de aproximadamente 150 gramos por pollo sacrificado, una vez extraídas, las vísceras eran colectadas y enviadas al relleno sanitario. Recientemente gracias a la tecnificación de los sistemas de sacrificio, a la implementación de medidas para realizar producciones menos contaminantes y a la vez generar ingresos a partir de lo que anteriormente era considerado desecho, se han implementado métodos para generar mayores utilidades produciendo menos desperdicios. Dentro de estas implementaciones encontramos la recuperación de plumas, sangre y vísceras (Cruz, *et al.* 2004).

En cuanto a la recuperación de vísceras, actualmente son recolectadas en seco y son procesadas en plantas especializadas para generar alimento para animales. Este subproducto es nombrado harina de subproductos avícolas (Alvarez, 2003).

Entre los factores que han propiciado que una gran parte de la industria de los alimentos revalorizara recientemente la utilización de subproductos de aves se encuentran los siguientes:

- La incidencia de la enfermedad de las vacas locas “Encefalopatía espongiforme bovina”.
- El conocimiento de que los subproductos animales tienen un mayor valor nutricional en las dietas para organismos acuáticos que el que se había considerado anteriormente.
- Su gran disponibilidad y alto contenido de proteína.

Debido a estas características actualmente se realizan investigaciones dirigidas a multiplicar el uso de esta materia prima.

1.13 ACTUAL SITUACIÓN MUNDIAL EN LA PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO

La harina de pescado es considerada la fuente primaria de proteína, en los alimentos balanceados para organismos acuícolas cultivados. Esta materia prima se considera esencial en las dietas puesto que aporta altos niveles de proteína de alta calidad adecuado balance de aminoácidos esenciales y ácidos grasos esenciales (Martínez *et al.*, 1989).

Debido a que este insumo es normalmente caro, afecta notablemente el precio del alimento terminado, por lo tanto la tendencia actual es reducir al máximo su uso sustituyéndolo con proteínas alternativas más baratas (FAO, 2009).

En las costas del Pacífico de Sudamérica se encuentra establecida la industria elaboradora de harina de pescado más importante del continente. Producen harina de alta calidad para exportación a partir de anchoveta y sardina. Los países más importantes por volúmenes de producción son Perú, Chile y Ecuador quienes satisfacen sus propias demandas y exportan grandes volúmenes. Sin embargo en los últimos años su producción se ha visto muy afectada por fenómenos climáticos y ecológicos, lo cual redujo las exportaciones y elevó el precio de esta materia prima (FAO, 2009; Martínez *et al.*, 1989).

México produce harina de pescado en los principales puertos pesqueros del país, sin embargo, su calidad por lo general es baja y muy variable debido a deficiencias en los sistemas de producción. Los estados de Baja California Sur, Sonora y Sinaloa son los únicos productores considerados de buena calidad para la acuicultura (Martínez, *et al.*, 1989).

Debido a los problemas de producción nacional, los productores tienen la necesidad de importar alrededor del 60% de sus requerimientos anuales desde América del Sur. La tendencia actual es importar el 100% de sus requerimientos para mantener sus índices de calidad y a precios menores al comprar en grandes volúmenes (Martínez *et al.*, 1989).

Actualmente, diferentes equipos de investigación concentran sus esfuerzos en la selección de ingredientes proteicos alternativos, tanto de origen animal como vegetal, con los que se pueda sustituir parcialmente la cantidad de harina de pescado a incluir en los alimentos para peces (FAO, 2009; Robaina, 1995).

II. JUSTIFICACIÓN

La acuicultura sigue creciendo más rápidamente que cualquier otro sector de producción de alimentos de origen animal, y a mayor ritmo que la población; de hecho, el incremento per cápita de productos acuícola pasó de los 0.7 Kg. en 1970 hasta los 16.7 Kg. en 2006 (FAO, 2009).

Además, se espera que la acuicultura supere a la pesca de captura como fuente de pescado para la alimentación humana debido al cambio climático, la sobreexplotación de las especies marinas comerciales más importantes, destrucción de ecosistemas marinos, al conocimiento de nuevas técnicas de producción acuícola, y de especies altamente productivas ó altamente valoradas comercialmente (FAO, 2009).

En los últimos años, el cultivo de tilapia se ha desarrollado notablemente en nuestro país, debido a que es una especie comercial, su alta rentabilidad financiera y alto potencial acuícola (Camacho *et al.*, 2000).

No obstante al aumento en la producción intensiva de peces en general y en particular de tilapia, ésta no ha alcanzado su máximo potencial debido a que una de las principales limitantes para el desarrollo de la acuicultura es el costo y la biodisponibilidad de alimento (Robaina, 1995; Steffens, 1987). Una materia prima principal en la formulación de raciones de peces es la harina de pescado; pero tal insumo ha aumentado su costo exponencialmente, lo cual afecta la acuicultura (Robaina, 1995). Tal hecho se ha convertido en una preocupación para los nutricionistas y para las casas comerciales que producen los alimentos balanceados para esta especie (Espejo, 2003; Bastardo *et al.*, 2007).

La producción de harina de pescado viene determinada por el nivel de recursos disponibles, los relativamente pocos productores y exportadores de harina de pescado se concentran en la explotación de un pequeño número de especies, siendo por consiguiente la producción anual de harina de pescado dependiente del comportamiento de esas especies. Este tipo de producción trae consigo un tipo de mercado muy inestable, con disponibilidades y precios fluctuantes entre un año y otro (Robaina, 1995).

En la actualidad se realizan esfuerzos por incorporar otros recursos que permitan disminuir la participación de la harina de pescado en las dietas de los peces de cultivo tanto por la problemática antes expuesta como por ser esta dependencia la principal crítica mundial a la acuicultura, considerando esta práctica como insostenible ya que al aumentar la necesidad de harina de pescado para la elaboración de dietas acuícolas se sigue presionando a la pesca extractiva para satisfacer los requerimientos de pescado, y esta pesca se dedica a alimentar a los peces en vez de alimentar directamente a personas (Bastardo y Medina, 2007; Pokniak, 2007; Hettich, 2004; Vela, 2007).

En la búsqueda de nuevas alternativas para emplearse como sustitutos de la harina de pescado en la elaboración de concentrados para peces, se han buscado materias primas que no presenten competencia con fuentes de alimento para el ser humano (Hettich, 2004; Ramón *et al.*, 2004).

Tal es el caso de los productos de desecho de los mataderos avícolas, que comprenden mezclas de sangre, vísceras, cabezas, patas, plumas. Su alto contenido proteico posibilita la incorporación a las dietas en porcentajes importantes, sin dejar de considerar que algunas de estas proteínas presentan coeficientes de digestibilidad menores que los de la harina de pescado y deficiencias en aminoácidos esenciales, fundamentalmente metionina, lisina y triptofano (Isea *et al.*, 2005; Poot *et al.*, 2009).

El presente trabajo, se realizó con la finalidad de evaluar el empleo de la harina de subproductos avícolas en sustitución parcial al harina de pescado, en el alimento para *Tilapia Nilotica Oreochromis niloticus* con el propósito de reducir el alto costo que representa la alimentación en la producción comercial de esta especie, y promover la formulación de dietas con visión ecológica, de carácter sostenible, que liberen presión en la pesca extractiva, priorizando el cultivo de especies omnívoras, características que podrían convertirse en un aliciente al consumo de peces cultivados, y en un valor agregado.

III. OBJETIVOS DEL TRABAJO

General:

Desarrollar alimentos para Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*) en los que se sustituye harina de pescado por harina de subproductos avícolas.

Particulares:

- 1) Elaborar dietas para Tilapia con base en harina de subproductos avícolas.
- 2) Evaluar las características químicas y físicas de las dietas propuestas.
- 3) Evaluar los parámetros productivos de dietas para Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*) con diferentes niveles de subproductos avícolas.
- 4) Determinar el costo beneficio de la inclusión de la harina de subproductos avícolas.

IV. HIPÓTESIS

Ho= Los parámetros productivos de la Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) son iguales al realizar sustituciones parciales de harina de subproductos avícolas por harina de pescado.

Ha= Los parámetros productivos de la Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) son diferentes al realizar sustituciones parciales de harina de subproductos avícolas por harina de pescado.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 ANIMALES

Fueron adquiridas 63 Tilapias (*Oreochromis niloticus*) de 5 centímetros de longitud, no hormonadas, en el Centro Acuícola Zacatepec, dependencia de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA), en Zacatepec, Morelos. Las Tilapias fueron transportadas en bolsas de polietileno con atmósfera saturada de oxígeno, posteriormente, los organismos fueron sometidos a un periodo de aclimatación de 25 días en un acuario de plástico con capacidad de 1m³, al cual le fue recortada la tapa superior para facilitar la oxigenación, y alimentación.

Durante la aclimatación se mantuvieron las siguientes características físicas del agua: temperatura promedio 22°C, oxigenación constante por medio de una cabeza de poder de 1600 L/Hr. marca Aqua Clear® asociada a una bomba de aire de la marca Elite®, modelo 799. Además, se realizaron cambios parciales de agua una vez por semana, para lo cual se retiraba el 50% del volumen total del acuario, el cual se reponía con agua proveniente de la red de distribución municipal.

Durante la etapa de aclimatación se ofreció el producto NUTRIPEC 4510 H para alevines, cuyo análisis garantizado se muestra en el cuadro 6. Este alimento se presenta en harina con un tamaño de partícula menor a 0.35 mm (PURINA, 2011). Se decidió ofrecer este alimento por ser el que se suministraba en el lugar de procedencia de los peces; dicho alimento fue proporcionado a razón de 6% de peso vivo, 48 gramos para todo el acuario, distribuidos en 6 raciones al día en intervalos de 2 horas entre cada una de ellas.

Posterior a la aclimatación, los organismos fueron distribuidos al azar en nueve acuarios con capacidad de 70 litros cada uno de ellos; la carga animal se decidió con base en las recomendaciones de Arroyo (2008), quién indica que en Tilapias en etapa juvenil debe haber un organismo por cada 10 litros de agua.

Cuadro 6. Análisis garantizado del alimento comercial para Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*) en el período de aclimatación.

Concepto	%
Humedad	10 Máximo
Proteína	50 Mínimo
Grasa	15 Mínimo
Fibra Cruda	2.5 Máximo
Cenizas	12 Máximo
E.L.N	8.50 P/Dif.

Análisis de garantía del alimento NUTRIPEC 4510 H

P/Dif. : Porcentaje obtenido por diferencia.

5.2 CALIDAD DEL AGUA EMPLEADA.

El agua utilizada provino de la red de distribución municipal, por ello se descloró mediante la adición de el producto CLORKILL de la marca BIOMAA® cuyo producto activo es el tiosulfato de sodio, empleado a dosis de según indicaciones del empaque (1 gota por cada 2 litros de agua) y un reposo de 12 horas. Durante el periodo experimental se realizaron cambios parciales de agua, para lo cual, una vez a la semana se eliminó el 50% del volumen por acuario y se reemplazó con agua desclorada, lo anterior se realizó durante 8 semanas. Además, se mantuvo oxigenación constante utilizando bombas de aire ELITE 802 de la marca HAGEN®.

Las características que se monitorearon del agua fueron:

1. Temperatura. Se monitorio con un termómetro flotante de mercurio y se mantuvo uniforme en todos los acuarios a 24.5 °C, mediante la utilización de calentadores sumergibles con termostato ajustable de 50 Watts de la marca AQUACLEAR® (cuadro 12).
2. Cada 6 días se evaluaron pH y amonio disuelto (figura 5). El pH se evaluó con ayuda del equipo de prueba NUTRAFIN PH TEST de la marca HAGEN®, el cual se basa en la

determinación por método colorimétrico, utilizando los indicadores azul de bromotimol, timol azul y rojo de metil, empleándose según instrucciones de uso del fabricante. El amonio se evaluó mediante el empleo del producto NUTRAFIN AMMONIA TEST de la marca HAGEN® según instrucciones de uso del fabricante, esta prueba se realiza mediante el método de indofenol modificado, evaluando colorimétricamente la presencia de amonio. Ambos parámetros se evaluaron con la finalidad de aumentar la frecuencia de los recambios de agua en caso de detectarse índices perjudiciales de pH ó de amonio en los acuarios, lo cual no fue necesario manteniendo un recambio cada 6 días, pues durante el periodo de prueba solo se obtuvieron resultados dentro de los rangos adecuados para la especie (cuadro 13).



Figura 5. Equipo de pruebas para acuario.

5.3 DIETAS

5.3.1 Selección de las materias primas

Se emplearon como ingredientes de los alimentos balanceados: harina de pescado, harina de subproductos avícolas, pasta de soya, harina de trigo, salvado de trigo, aceite de girasol-canola.

Los cuales fueron seleccionados con base en los siguientes criterios:

- Ingredientes empleados en la fabricación de alimentos de tipo comercial empleados en la producción de peces.
- Disponibilidad de los ingredientes en la zona.
- Disposición constante y posibilidad de emplearse en la alimentación piscícola.

Todas las materias primas fueron adquiridas excepto la harina de subproductos avícolas, la cual se elaboró.

Posterior a la recepción de las materias primas seleccionadas en el laboratorio de Bromatología de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, se procedió a realizar su inspección organoléptica con la finalidad de determinar su calidad, descartando posibles alteraciones y adulteraciones.

5.3.2 Elaboración de la harina de subproductos avícolas

Debido a problemas de adulteración de la materia prima adquirida, se procedió a elaborar harina de subproductos avícolas con el siguiente procedimiento (figura 6):

1.- Recepción de vísceras frescas.

Se procedió a solicitar a los distribuidores de pollo fresco el resguardo de las vísceras del día con la finalidad de emplear vísceras lo más frescas posibles, evitando su descomposición e imposibilitando su uso en el proceso de fabricación.

2.- Limpieza y selección de la materia prima.

Una vez dispuestas las vísceras se procedió a retirar de los intestinos el mesenterio, páncreas y ciegos. Posteriormente se disecciono el intestino para evacuar su contenido mediante el empleo de agua corriente. Al finalizar la limpieza solo se reservaron hígados, corazones, bazos e intestinos. Este procedimiento fue realizado de forma manual por los autores de este trabajo, el tiempo dedicado a esta labor se estimó en 1 hora, lo cual representaría un costo adicional en la elaboración de este producto a nivel comercial. La remoción del contenido intestinal se efectuó con la finalidad de eliminar los restos de fibra y obtener los componentes proteicos principalmente.

3.- Cocción y deshidratación.

Este proceso se realizó hirviendo las vísceras durante 15 minutos, al fin de este periodo se procedió a drenar el agua en el que se produjo la cocción, se permito el enfriamiento y se sometió a refrigeración hasta disponer de aproximadamente 10 kilogramos. El siguiente paso fue someter las vísceras a deshidratación, para lo cual se empleo la estufa de aire forzado a temperatura de 60°C durante 24 horas.

4.- Molienda

Como último paso en la producción de la harina de subproductos avícolas, se procedió a reducir el tamaño mediante el uso del mortero para facilitar su ingreso en el molino eléctrico, el cual redujo el tamaño de partícula hasta ser menor de 1 mm, de esta forma el producto quedó listo para su almacenamiento y posterior empleo en la elaboración de las dietas.



Figura 6. Fabricación de harina de subproductos avícolas

5.4 DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LAS DIETAS

5.4.1 Formulación de Dietas.

Se formularon 3 dietas isoproteicas (40% P.C.). La dieta 1 (tratamiento 1), fue elaborada teniendo en cuenta las formulaciones comerciales en las que se incluye harina de pescado como único componente proteico de origen animal; con este criterio el porcentaje de inclusión se fijó en 30%.

Con la finalidad de formular dietas en las que se sustituyera un porcentaje de harina de pescado por harina de subproductos avícolas se realizaron dos dietas que la incluyeran. Para lo cual se fijó un límite de sustitución, debido a que la harina de subproductos avícolas presenta un alto contenido de extracto etéreo, y para obtener niveles de extracto etéreo entre el 6 y el 10%, niveles que la bibliografía recomienda y que no deben sobrepasarse porque se provocaría una ganancia en reservas de lípidos en lugar de masa muscular en el pez (Church, 2002; Cunningham, 2003).

En la segunda dieta (tratamiento 2) se sustituyó el 20% de la harina de pescado utilizada en la dieta 1 por harina de subproductos avícolas, y en la tercera dieta (tratamiento 3) se determinó que el porcentaje de sustitución de harina de pescado por harina de subproductos avícolas fuese en un 50% (figura 7).

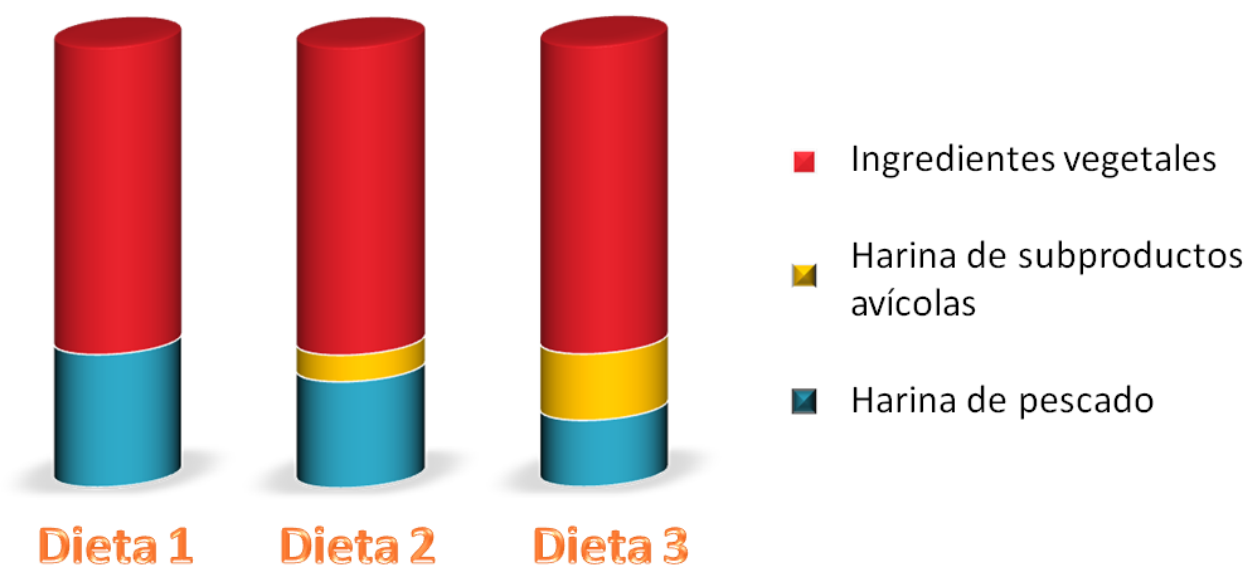


Figura 7. Composición de las dietas experimentales

Con el objeto de efectuar la formulación de las dietas, se optó por diseñar una hoja de cálculo que facilitara el balanceo por medio de introducción de porcentajes de inclusión y la retroalimentación del cumplimiento ó no de los requerimientos establecidos en la bibliografía (cuadro 7).

Cuadro 7. Porcentaje de inclusión en ingredientes de las dietas diseñadas para *Tilapia Nilotica* (*Oreochromis niloticus*).

Dieta	harina de pescado	harina de subproductos avícolas	pasta de soya	harina de trigo	salvado de trigo	aceite de girasol
	%	%	%	%	%	%
1	30	0	34.6	7.2	24.2	4
2	24	6	36.4	16.3	14.1	2.7
3	15	15	34.6	9.5	25	0.9

5.4.2 Elaboración de Dietas.

Al contar con la formulación y con las materias primas en estado de harina, se procedió a pesar cada uno de ellos en los porcentajes adecuados para lograr la cantidad deseada del producto final 5 kg. Posterior al pesaje de las materias primas se procedió a mezclarlas dentro de un recipiente plástico, se incorporaron en orden de mayor a menor porcentaje de inclusión con la finalidad de realizar una mezcla lo más homogénea posible. Posteriormente se agregó agua caliente a 80°C y se procedió a mezclar hasta obtener una masa de consistencia pastosa (figura 8), la cual se dejó reposar durante 15 minutos para permitir la gelatinización de los almidones.

Transcurridos 15 minutos se procedió a introducir la pasta dentro del cabezal de un molino manual con cedazo de 3/8 de pulgada, simulando la acción de una maquina peletizadora, por medio de este proceso se obtuvieron rollos de aproximadamente 4 cm de diámetro y 10 cm de largo (figura 9), los cuales fueron ubicados sobre placas de papel aluminio y colocadas durante 24 horas en la estufa de aire forzado a 60°C para eliminar el exceso de humedad (figura 10).



Figura 8. Cocción de la formulación



Figura 9. Deshidratación de la formulación.



Figura 10. Formulación deshidratada.

Finalmente se utilizó el molino eléctrico para reducir el tamaño gránulo a 0.3 centímetros de diámetro (figura 11), obteniéndose como producto final un alimento granulado (figura 12).



Figura 11. Reducción del tamaño de partícula.



Figura 12. Alimento granulado.

5.5 EVALUACIÓN DE DIETAS

5.5.1 Evaluación química.

Tanto a las materias primas como a las dietas una vez elaboradas, se les realizó análisis químico proximal (humedad, proteína cruda, fibra cruda, extracto etéreo, cenizas, extracto libre de nitrógeno) en el laboratorio de Bromatología, siguiendo los métodos de la Asociación de Comunidades Analíticas (AOAC) (Morfin, 2010).

5.5.2 Evaluación de las propiedades físicas de las dietas.

5.5.2.1 Diámetro de los gránulos.

El diámetro promedio de los gránulos fue obtenido para cada dieta, mediante la medición en milímetros del diámetro de 10 gránulos de cada dieta gránulos de cada dieta (3 repeticiones), y su posterior análisis mediante la siguiente fórmula (Arroyo, 2008):

$$M.D.G = \Sigma D.G / n$$

En donde:

M.D.G = Media del Diámetro de Gránulos

$\Sigma D.G$ = Sumatoria del diámetro de los gránulos en milímetros.

n = numero de la muestra (10 gránulos)

5.5.2.2 Porcentaje de flotación del granulado.

Se determinó para cada dieta colocando 10 gránulos dentro de un matraz con 250 mililitros de agua a temperatura ambiente (figura 13), se dejo transcurrir 5 minutos y se procedió a contar el número de gránulos que aun permanecían en la superficie y se determinó su porcentaje. Se realizaron 3 repeticiones y se procedió a emplear la siguiente fórmula (Arroyo, 2008):

$$\text{Porcentaje de flotación} = \text{número de gránulos flotantes} * 100 / 10$$



Figura 13. Determinación de flotación.

5.6 EVALUACIÓN EN ANIMALES

5.6.1 Tratamientos

Se diseñaron tres tratamientos cada uno correspondiente a una dieta (dieta 1: tratamiento1, dieta 2: tratamiento 2, dieta 3: tratamiento3), dentro de cada tratamiento se realizaron tres repeticiones, de esta forma se utilizaron nueve acuarios en total.

El alimento fue suministrado seis veces al día en forma manual a cada tratamiento, en un horario de 8 a.m. a 8 p.m. con un intervalo de 3 horas entre cada una de ellas, la ración diaria correspondió al 6% del peso vivo (3.5 gramos), los animales fueron pesados al inicio y al final del experimento (cuadro 14) el cual contó con una duración de sesenta días.

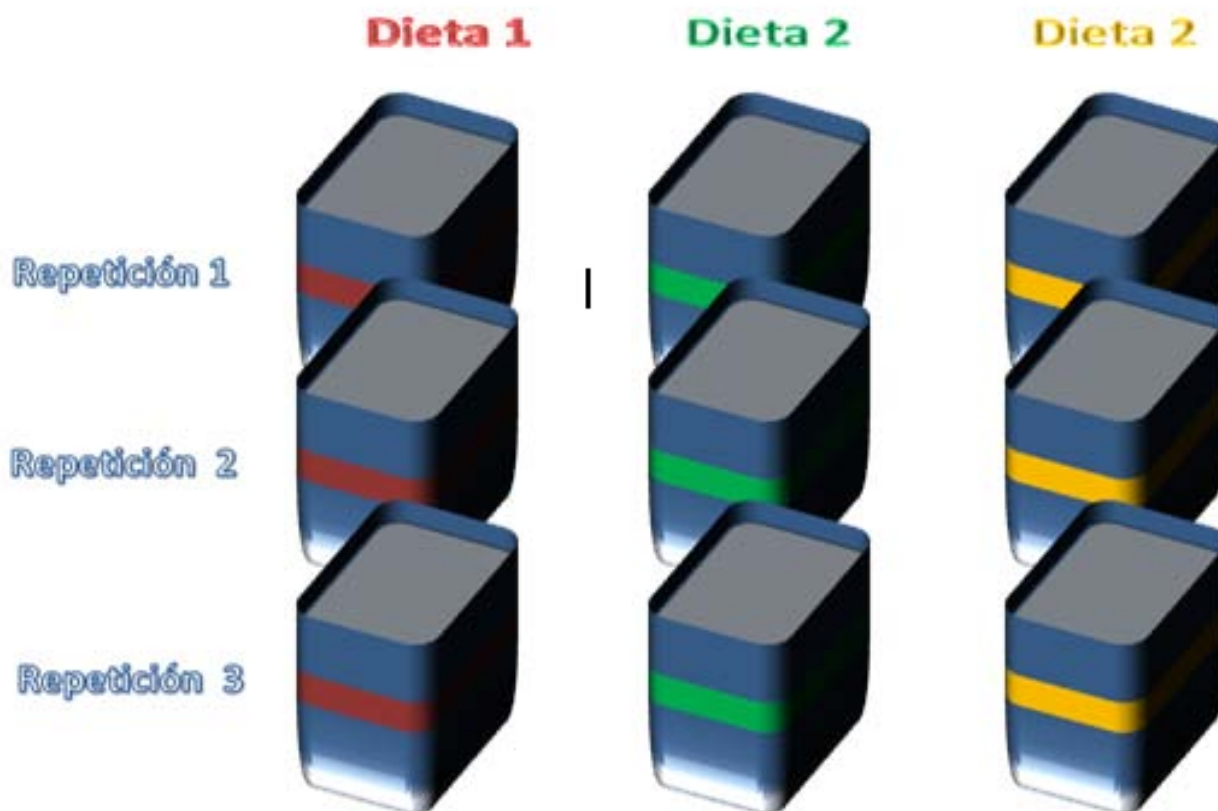


Figura 14. Tratamientos realizados

5.6.2 Análisis de los parámetros productivos.

5.6.2.1 Mortalidad

La mortalidad fue registrada diariamente, indicando día y acuario de procedencia, al final de la fase experimental se aplicó la siguiente fórmula para obtener la tasa de sobrevivencia:

$$\text{Tasa de sobrevivencia} = (\# \text{ de peces final} / \# \text{ inicial de peces}) * 100$$

Al inicio del experimento y a su final, se registró el peso de cada uno de los peces dentro de cada tratamiento, obteniéndose así un archivo para cada uno de ellos, mediante el cual se obtuvieron los parámetros productivos, ganancia de peso y conversión alimenticia.

5.6.2.2 Ganancia de peso (G.P):

Se obtuvo el peso inicial y final de los organismos, empleándose una balanza electrónica modelo PCR20 TORREY®, con capacidad de 20 kilogramos y margen de 1 gramo (figura 15), la alimentación fue suspendida 12 horas antes del procedimiento para favorecer la evacuación intestinal.

Se obtuvo la ganancia de peso de cada repetición por medio de la siguiente fórmula:

$$G.P = (\text{Media del peso final}) - (\text{Media del peso inicial})$$

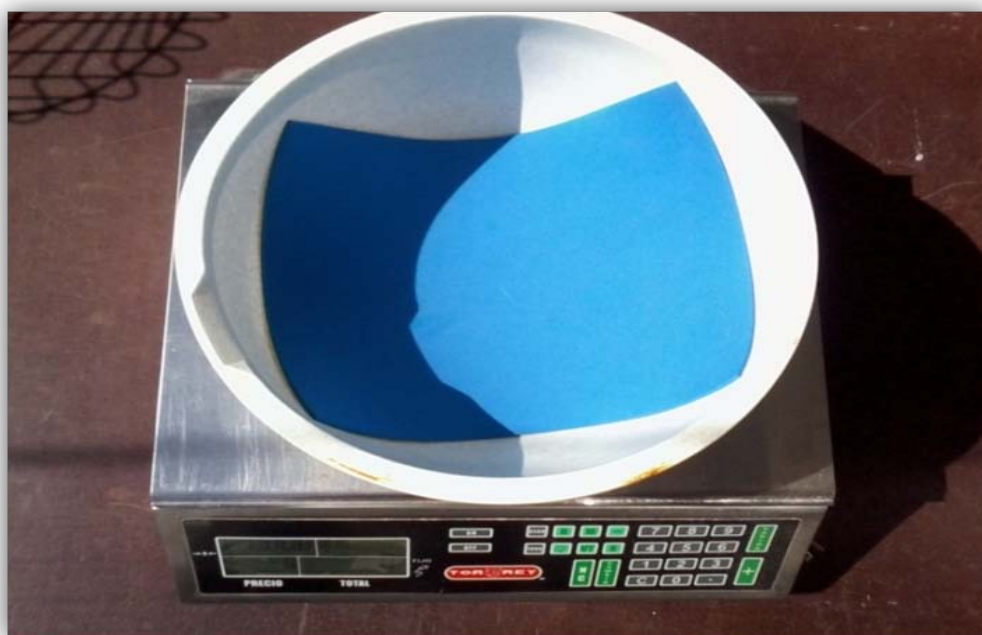


Figura 15. Balanza empleada en el registro de pesos iniciales y finales.

5.6.2.3 Conversión alimenticia.

Corresponde al alimento consumido por unidad de peso obtenido al final del experimento, fue obtenida para cada una de las tres repeticiones de cada tratamiento, calculado por la siguiente fórmula:

$$\text{Conversión alimenticia} = \text{consumo total de alimento} / \text{ganancia de peso}$$

5.6.2.4 Porcentaje de disminución de costos

Para determinar la reducción de costos que implicó la sustitución parcial de harina de pescado por harina de subproductos avícolas para cada dieta se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de disminución de costo} = 100 - (\text{CDS} * 100 / \text{Costo de Dieta 1})$$

En donde:

CDS = Costo de dietas con sustitución.

Dietas con sustitución: Dieta 2 (sustitución 20 %)

Dieta 3 (sustitución 50 %)

Dieta 1: Dieta sin sustitución (100% harina de pescado)

5.6.2.5 Estimación del costo de Alimentación

Con la finalidad de determinar el costo que implica la alimentación con cada una de las dietas elaboradas, utilizadas para generar un kilogramo de peso de Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) en su etapa juvenil se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Estimación del costo de Alimentación} = \text{CA} * \text{costo por kilogramo de la dieta.}$$

En donde:

CA: conversión alimenticia

5.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los parámetros productivos ganancia de peso y conversión alimenticia para la Tilapia Nilotica *Oreochromis niloticus* fueron analizados en un modelo completamente al azar con una $p < 0.05$. Para identificar los tratamientos estadísticamente diferentes, se usó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey. En ambos análisis se utilizó el paquete estadístico FAUANL (Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. (Steel, 1985).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 CALIDAD DEL AGUA

Por medio del análisis estadístico de los registros de temperatura que se muestra en el cuadro 12, se obtuvieron las medias de cada uno de los tratamientos y repeticiones experimentales, posteriormente a su análisis de varianza, se obtuvo como resultado que no existió diferencia significativa entre los grupos experimentales, presentándose una media de 24°C, cumpliendo con las necesidades ambientales de la Tilapia Nilotica, establecidas en un rango de tolerancia del 12°C a 42°C (Poot, 2009; Cantor, 2007). Sin embargo no se obtuvo un nivel óptimo comprendido entre los 26°C y los 29°C probablemente debido a efectuarse la fase experimental en época invernal (Camacho 2000; Abdel-Fattah 2006). Este valor de temperatura por debajo de los estándares de cultivo de la Tilapia puede resultar en una disminución en el metabolismo (Camacho 2000; Michel, et al. 2001).

Al realizar el monitoreo de amonio y pH (cuadro 13), se observa que los rangos obtenidos en esos conceptos se encuentran dentro de los establecidos para el cultivo de Tilapia Nilotica, 6.5 a 9 para el pH y <0.1 ppm para amonio no ionizado (Saavedra, 2006; Camacho, 2000), por lo cual durante la fase experimental no fue necesario aumentar el número de recambios parciales de agua, manteniéndose en cada 6 días. Estos niveles proveen al pez de un ambiente confortable en el que pueden desarrollar sus características productivas (Nandlal, 2004).

El valor calculado para dureza total del agua se registró en 84 partes por millón de carbonato de calcio, mediante la prueba del EDTA y negro de ericromo, la determinación fue realizada en el laboratorio de análisis del agua de la FES Cuautitlán (Campo 1).

Cuadro 8. Registro de Temperatura promedio por tratamiento.

número de acuario	Intervalo (°C)	n	media (°C)	Desviación estándar	Varianza
1	24.0 - 24.6	60	24.4	0.14	0.019
2	24.2 - 24.6	60	24.3	0.11	0.013
3	24.2 - 24.5	60	24.4	0.10	0.011
4	24.2 - 24.6	60	24.3	0.12	0.014
5	24.2 - 24.5	60	24.3	0.11	0.013
6	24.2 - 24.6	60	24.4	0.10	0.011
7	24.2 - 24.6	60	24.3	0.13	0.017
8	24.2 - 24.6	60	24.4	0.12	0.014
9	24.2 - 24.6	60	24.3	0.12	0.014

N: número de mediciones.

Cuadro 9. Registro de pH y Amonio.

Día de prueba	pH	Amonio (ppm)
0	7.5	0.03
6	8.5	0.08
12	8	0.06
18	7.5	0.03
24	7	0.01
30	7.5	0.03
36	7.5	0.03
42	7.5	0.03
48	8.5	0.06
54	8.5	0.06

6.2 DIETAS

6.2.1 Materias primas

Las características químicas de las materias primas empleadas en la elaboración de las dietas se muestran en el cuadro 8, resalta que la mayoría de las materias primas empleadas, corresponden al grupo de suplementos proteicos, lo cual se explica porque si bien la Tilapia es un organismo con hábitos alimenticios omnívoros los recursos alimenticios disponibles en su hábitat son altamente proteicos (Saavedra, 2006; Camacho, 2000). Por lo que para lograr formular dietas para tilapias es necesario recurrir a materias primas altamente proteicas, con la finalidad de cumplir con sus requerimientos (Sanz, 2009).

Así mismo, se observa que la harina de pescado presentó una composición mayor de proteína cruda y menor de extracto etéreo en comparación con la harina de subproductos avícolas, lo cual se atribuye al proceso de fabricación y la materia prima de donde proviene, ya que al procesarse el pescado para obtener harina, se somete a la extracción de su aceite, en

cambio, durante el proceso de fabricación de la harina de subproductos avícolas, este proceso de desengrasado no se llevo a cabo (Sandbol, 1993).

La harina de pescado presenta una composición mayor de cenizas al compararse con la harina de subproductos avícolas, ya que durante su fabricación el pescado es procesado junto a su esqueleto, por tal motivo al procesar únicamente los tejidos blandos del pollo para la fabricación de harina de subproductos, se disminuye su composición mineral (Sandbol, 1993).

En cuanto a la diferencia del contenido de fibra cruda, se explica debido a que al procesar el pez completo, en su tracto gastrointestinal se encuentran presentes partículas de origen vegetal, las mismas que fueron eliminadas de las vísceras de pollo al someterlas a su vaciamiento durante la fabricación de harina de subproductos avícolas (Sandbol, 1993).

Cuadro 10. Composición química en base seca de ingredientes utilizados en las dietas elaboradas para Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*).

Ingrediente	PC	C	EE	FC	ELN
	%	%	%	%	%
harina de pescado	71.9	18.2	9.2	3.1	2.4
harina de subproductos avícolas	65.5	8.1	28.3	0	1.8
pasta de soya	48.6	7.1	6.9	5.9	31.5
harina de trigo	11.7	0.8	4.5	0	83.0
salvado de trigo	18.9	6.8	5.4	10.7	58.2
aceite de girasol-canola	0	0	100	0	0

PC: Proteína cruda, C: cenizas, EE: Extracto etéreo, FC: Fibra cruda, ELN: extracto libre de Nitrógeno.

6.2.2 Formulación de Dietas.

Los niveles en los que fueron incluidos los ingredientes dentro de las dietas formuladas se muestra en el cuadro 9, se observa que el límite superior en el que se incluyó la harina de pescado correspondió al 30% de la ración, con el objeto de ser sustituida parcialmente con harina de subproductos avícolas. Se observa que el porcentaje de inclusión de aceite vegetal fue inversamente proporcional a la inclusión de harina de subproductos avícolas, debido a que este ingrediente (harina de subproductos avícolas) presenta una composición elevada de extracto etéreo. Esta característica representa una restricción en su inclusión dentro de las dietas, por lo que se fijó un límite de sustitución, para obtener niveles de extracto etéreo entre el 6 y el 10% en el alimento elaborado, niveles que la bibliografía recomienda.

Cuadro 11. Porcentaje de inclusión en ingredientes de las dietas diseñadas Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*).

Dieta	harina de pescado	harina de subproductos avícolas	pasta de soya	harina de trigo	salvado de trigo	aceite de girasol- canola
	%	%	%	%	%	%
1	30	0	34.6	7.2	24.2	4
2	24	6	36.4	16.3	14.1	2.7
3	15	15	34.6	9.5	25	0.9

6.2.3 Evaluación física de calidad de los alimentos elaborados.

La evaluación de la calidad física de los alimentos elaborados se muestra en el cuadro 10, se observa que, tanto en el porcentaje de flotación como en el diámetro de los granulados no existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos, evitando así diferencias en el consumo atribuible a estas características.

En el análisis del diámetro de los gránulos de las dietas elaboradas (cuadro 10), se muestra que el resultado obtenido concuerda con lo propuesto por Arroyo (2008) de 1 a 6 mm para peces de entre 1 a 30 gramos de peso, por lo que en términos generales, y de acuerdo a lo anterior, todos los alimentos elaborados fueron adecuados para la alimentación de la especie y la etapa en estudio, mientras que Campabadal y Celis (1996), mencionan que el tamaño de los pellets para tilapias en estado juvenil debe ser de 1 a 2 milímetros, lo cual difiere a lo obtenido en este trabajo, pese a lo anterior no se presentaron problemas en el consumo para ninguna de las dietas.

En cuanto a la flotabilidad de los alimentos elaborados, se registró un intervalo de 76.6 a 93.3%, lo que muestra diferencias entre los alimentos comerciales que obtienen un 100% de flotabilidad (Arroyo, 2008), esto debido a que se obtienen por extrusión, empleándose vapor de agua y temperaturas cercanas a 150 °C, este proceso favorece la gelatinización de los almidones y el “esponjado” de los alimentos con el cual se asegura la flotabilidad. En este caso el alimento se fabricó artesanalmente por tal motivo se obtiene una mayor densidad del producto y un menor índice de flotabilidad. Pese a ello, el alimento flotó razonablemente bien y favoreció la alimentación de la Tilapia ya que esta especie se alimenta preferentemente en la superficie del agua, descartando el consumo de alimento en el fondo del acuario (Arroyo, 2008).

Cuadro 12. Resultados a la evaluación de calidad física de los alimentos elaborados para juveniles de Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*).

Dieta	Flotación %	Diámetro mm.
1	83.3 ^a ± 11.5	2.5 ^a ± 0.1
2	76.7 ^a ± 5.8	2.4 ^a ± 0.1
3	93.3 ^a ± 5.8	2.5 ^a ± 0.1

Se muestran las medias ± las desviaciones estándar. La misma letra en la columna indica que no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p > 0.05$).

Por medio del análisis químico proximal de las dietas elaboradas, se obtuvieron los resultados que se muestran en el cuadro 11, indicando que en cuanto a la composición química, no se encontraron diferencias estadísticas entre ellas ($p>0.05$). Por tanto presentaron una composición acorde a lo formulado en este trabajo, y cumplen los requerimientos específicos para esta especie y etapa de producción en cuanto al contenido de proteína cruda y de extracto etéreo (Cantor, 2007; Camacho 2000).

Para la formulación de estas dietas, se utilizó el menor número de ingredientes, con el propósito de facilitar la adopción del proceso por los piscicultores del país, principalmente dirigido a los productores a pequeña y mediana escala quienes ante el incremento constante de costos de alimentos comerciales, buscan la forma de reemplazar ó disminuir la cantidad de ingrediente dentro de la formulación (Arroyo, 2008).

En cuanto al aporte de fibra cruda, las tres dietas presentaron porcentajes de acuerdo a lo propuesto por Arroyo (2008) y por Espejo (2003), establecido en máximo 8%.

Cuadro 13. Composición química de las dietas elaboradas para *Tilapia Nilotica (Oreochromis niloticus)*

Dieta	PC	C	EE	FC	ELN
	%	%	%	%	%
1	42.0	10.4	6.4	6.1	32.5
2	43.6	9.1	6.4	4.2	33.9
3	41.6	7.5	7.0	5.7	35.5

PC: Proteína cruda, C: cenizas, EE: Extracto etéreo, FC: Fibra cruda, ELN: Extracto Libre de Nitrógeno.

6.3 EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS DE LAS DIETAS

Los resultados del bioensayo se presentan en el cuadro 14, observándose que los parámetros productivos no presentaron diferencias estadísticas significativas. Por lo que el empleo de formulaciones que contemplen la inclusión de hasta un 50% de harina de subproductos avícolas en sustitución parcial a la harina de pescado no afecta las ganancias de peso.

6.3.1 Ganancia de peso

La ganancia de peso promedio obtenida en este trabajo (cuadro 14) se ubicó en 0.2 gramos por día, este dato difiere de lo encontrado por Poot (2009), ubicado en 0.34 gramos por día, tal reducción en la ganancia de peso puede atribuirse a las condiciones de estrés y a la temperatura sub óptima a la cual se sometieron los peces dentro del bioensayo (Zapata, 2008).

6.3.2 Conversión alimenticia

La conversión alimenticia obtenida en este trabajo (cuadro 14) fue menor en todas las dietas que la encontrada por Camacho (2000). Tal disminución pudo ser causada por no alcanzarse los niveles de temperatura óptimos (25 – 32 °C) para la *Tilapia Nilotica* y al estrés al que fueron sometidos los organismos por su cambio de hábitat y manipulación (Abdel, 2006; Poot, 2009).

En tanto que la tasa de sobrevivencia obtenida en este trabajo fue mayor al de Popma y Lovshin (1994) y de Arroyo (2008), esto pudo deberse al otorgar un periodo de aclimatación antes de realizar el bioensayo y a que se controlaron los parámetros ambientales (Abdel-Fattah, 2006; Iñiguez, 2005).

Cuadro 14. Promedios de los parámetros productivos de la Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con las dietas experimentales (n=9).

Concepto	Dietas			
	1	2	3	EE ⁶
Supervivencia (%)	95.2 ^a ± 8.25	100 ^a ± 0	95.2 ^a ± 8.25	1.6
PIP ¹ (g)	8 ± 0.1	7.9 ± 0.05	8.1 ± 0.11	0.06
PFP ² (g)	18.7 ± 0.3	19.03 ± 0.40	19 ± 0.6	0.1
PGI ³ (mg/día)	10.7 ^a ± 0.26	11.1 ^a ± 0.45	10.83 ^a ± 0.5	0.11
ACI ⁴ (g/día)	28.8 ± 0.4	28.5 ± 0.23	29.4 ± 0.4	0.2
CA ⁵	2.7 ^a ± 0.06	2.6 ^a ± 0.12	2.71 ^a ± 0.10	0.03

Superíndices diferentes indican diferencias significativas (P>0.05)

¹ PIP= Peso Inicial Promedio, ²PFP = Peso Final Promedio, ³PGI= Peso Ganado individual, ⁴ACI= Alimento consumido individual, ⁵CA = Conversión Alimenticia, ⁶EE= Error estándar de la media.

6.4 ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

El cuadro 15, muestra los precios que actualmente tienen los diferentes ingredientes que fueron utilizados para la elaboración de las dietas; destaca que el precio de la harina de pescado es 50 % más alto que la harina de subproductos avícolas comercial (INFOACERCA, 2011); lo cual se puede atribuir a que es un producto de procedencia nacional, además, tiene disponibilidad constante debido a que la producción de pollo es a lo largo del año porque la producción de carne de ave se realiza de forma intensiva. Por lo que al realizar sustituciones como las planteadas en este trabajo, fue posible disminuir el costo de las dietas de las tilapias entre 10 y 20 % respectivamente a las dietas 2 y 3 (cuadro 16).

González (2002) calculó el costo por kilogramo de dietas para tilapia en la que solo se incluye harina de pescado como ingrediente proteico de origen animal para dietas con características similares a las planteadas, el cual fue mayor al obtenido en este trabajo ya que en este último no se calcularon los gastos de producción y comercialización. Sin embargo

Iriarte en 2007 obtuvo costos de dietas similares a las de este trabajo discriminando los adicionales a los ingredientes utilizados, debido a esta similitud nos permitimos comparar los costos de producción por kilogramo de Tilapia (*Oreochromis niloticus*) entre las dietas elaboradas y así determinar la reducción de costos que implica la sustitución de un ingrediente por otro.

En cuanto a los índices de conversión alimenticia obtenidos en este trabajo, en el cuadro 17, se muestra el costo de la alimentación necesaria para generar un kilogramo de peso de Tilapia, marcándose el costo al utilizar los alimentos elaborados en este trabajo, así como un alimento comercial con características similares para ser empleadas en esta etapa del ciclo de producción. Se observa que el costo de alimentación a consumirse para producir un kilogramo de peso utilizando la dieta experimental 1 la cual es similar a las comerciales, resultó acorde a lo encontrado por Espinal *et al* (2005), estimado en dos dólares americanos. De este modo, puede realizarse una comparación entre las demás dietas observando que, la inclusión de la harina de subproductos avícolas tiene el potencial de reducir los costos de producción, en 40% cuando se sustituye el 20% de harina de pescado por harina de subproductos avícolas y en 50 % cuando la sustitución fue en un 50%.

Cuadro 15. Costos de los ingredientes y su aporte económico al total de cada dieta para Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*).

Dieta	Concepto	Ingredientes						Costo total (\$/ton)	
		harina de pescado	harina de subproductos avícolas	pasta de soya	harina de trigo	salvado de trigo	aceite de girasol		
	Costo unitario ¹	\$/ton	20,460	9,120.00	4,839.60	3,340.00	4,500.00	18,348.00	
1	Inclusión en la dieta	(%)	30	0	34.6	7.2	24.2	4	
	Aporte por ingrediente	(\$)	6,138.10	-	1,674.50	240.5	1,089.00	733.9	9,876.00
2	Inclusión	(%)	24	6	36.4	16.3	14.1	2.7	
	Aporte por ingrediente	(\$)	4,910.50	547.2	1,761.60	544.4	634.5	495.4	8,894.00
3	Inclusión	(%)	15	15	34.6	9.5	25	0.9	
	Aporte por ingrediente	(\$)	3,069.10	1,368.00	1,674.50	317.3	1,125.00	165.1	7,719.00

¹: Fuente: INFOACERCA (2011).

\$. Pesos Mexicanos

Cuadro 16. Estimación de la disminución de costos de dietas por la sustitución parcial de harina de pescado con harina de subproductos avícolas, en las dietas para Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*).

Dieta	Costo \$ / Ton.	Porcentaje de disminución de costos ¹ %
1 (Solo harina de pescado)	\$ 9,876.00	
2 (sustitución del 20%)	\$ 8,894.00	10
3 (sustitución al 50 %)	\$ 7,719.00	20
Alimento comercial NUTRIPEC 4510 H	\$14,248.00 ²	

¹ Porcentaje obtenido con respecto a la dieta 1.

² Purina (2011)

Cuadro 17. Comparación de costos de alimentación por Kilogramo de Tilapia juvenil producida con los alimentos diseñados y un alimento comercial.

dieta	conversión alimenticia	alimentos experimentales	alimento comercial	estimación en el costo de producción %
1	2.7	\$ 26.67	\$ 38.46	
2	2.7	\$ 24.01	\$ 38.46	37.58
3	2.6	\$ 20.07	\$ 37.24	47.82

VII. CONCLUSIONES

1. La elaboración de alimentos balanceados para uso en alimentación de Tilapia, mediante el esquema de fabricación artesanal utilizado en este trabajo, permitió la obtención de alimentos flotantes.
2. Porcentajes de inclusión en las que se sustituye parcialmente la harina de pescado por harina de subproductos avícolas hasta en un 50% no afectan los parámetros productivos de la Tilapia Nilotica.
3. La harina de subproductos avícolas puede ser considerada como un ingrediente proteico útil en la alimentación de Tilapias, su incorporación en dietas como sustituto parcial al harina de pescado permitió la disminución en los costos de producción de alimentos y en la producción de la Tilapia Nilotica (*Oreochromis niloticus*), sin embargo su elevada composición de extracto etéreo le adjudica restricciones de uso en las formulaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Abdel-Fattah M. 2006. Tilapia Culture. Oceanography Department, Faculty of Science, Universidad de Alexandria, Alexandria Egipto. 277p.

Álvarez R. 2003. Utilización de los subproductos de matadero avícola en la alimentación de monogástricos. Ministerio de Educación Superior, La Habana, Cuba.

Arroyo D.M. 2008. Aprovechamiento de la harina de (*Plecostomus sp.*) como ingrediente en alimento para el crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*); Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional CIIDIR Michoacán. Instituto Politécnico Nacional. Jiquilpan Michoacán, México. 113p.

Bastardo H; Medina A; Bianchi G. 2007. Utilización de proteína no convencional en dietas para iniciador de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Instituto Nacional de Investigación Agrícola, Venezuela.

Bondí Aron A. 1987. Nutrición Animal. Editorial Acribia, Zaragoza España, 546pp.

Brownl. 2000. Acuicultura para veterinarios: Producción y clínica de peces. Acribia, Zaragoza España, 445p.

Buxade C. 1997. Zootecnia, Bases de producción Animal Tomo XIII, Producción Animal acuática. Mundi-Prensa, México D.F.

Camacho B; Moreno R; Rodriguez G; Luna R; Vasquez M. 2000. Guía para el cultivo de trucha, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos naturales y Pesca. México D.F. 135p.

Campabadal, C. y Celis, A. 1996. Factores que afectan la calidad de los alimentos acuícolas. Avances en Nutrición Acuícola III.

Cantor A.F. 2007. Manual de Producción de Tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. Puebla, México. 135p.

Cardella H.L, Hernández R. 1999. Bioquímica Médica tomo 1 Biomoléculas. Editorial Ciencias Medicas, La Habana Cuba, 352p.

Church D.C. 2002. Fundamentos de Nutrición y alimentación de Animales. Limusa, México D.F. 635p.

CONAPESCA. 2007. Anuario estadístico de Acuicultura y Pesca, Edición 2007. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Mazatlán Sinaloa, México. 219pp.

Cruz S. E, Nieto L. M, Ricque M. D. 2004. Uso de Harina de Subproductos Avícolas en Alimentos para *L. Vannamei*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

Cunningham J.G. 2003. Fisiología Veterinaria, Editorial Elsevier, Madrid, España. 575p.

Espejo G. C. 2003. Determinación del valor nutricional de la soya integral (*Glycine max*) en la alimentación de la tilapia Roja (*Oreochromis sp.*). Artículo disponible en <http://www.udenar.edu.co/acuicola/revista/archivo/a1vol1/conf11.pdf>

Espinal G. C, Martínez C.H, González R.F. 2005. La cadena de la piscicultura en Colombia, una mirada global de su estructura dinámica. Agrocadenas, Bogotá Colombia. 43pp.

F.A.O; 1993. La nutrición y alimentación en la acuicultura de América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, departamento de pesca y acuicultura, México D.F.

FAO. 1993. Control de Calidad de Insumos y Dietas acuícolas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

FAO. 2009. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2008. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, departamento de pesca y acuicultura, Roma. 196 p.

Ganong W.F. 2000. Fisiología Médica. Editorial El Manual Moderno, México D.F. 907p.

González A. C., 2002, Uso de extruidos a base de harina de maíz y vísceras de atún como sustituto de la harina de pescado en dietas para peces (*Oreochromis niloticus*, Linneaus, 1758), Tesis de Maestría en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

Hettich M. 2004. Evaluación de la digestibilidad de dietas en trucha arcoíris: sustitución parcial de harina de pescado por 3 niveles de harina de Lupino blanco (*Lupinus albus*). Test de grado. Universidad Católica de Temuco, Facultad de Acuicultura y Ciencias Veterinarias, Escuela de Acuicultura. Chile. 61p.

Hoar W.S., Randall D.J., Brett J. R., 1979. Fish Physiology, volumen VIII “Bioenergetics and Growth”, Academic Press, New York, Estados Unidos de Norteamérica, 782p.

INFOACERCA, 2011. Precios del 28 de Marzo al 01 de Abril de 2011. vol. XIX, Número 929, consulta en <http://www.infoacerca.gob.mx/PrecYProd.asp>

Iñiguez C. C. 2005 Comparación del crecimiento y supervivencia de alevines de tres líneas de tilapia con dos patrones de Temperatura, Tesis de Licenciatura. Universidad Estatal de Zamorano. Zamorano, Honduras.

Iriarte R. F., Mendoza C. M., 2007. Validación del cultivo semi-intensivo de caracol Tote (*Pomacea flagellata*) en el trópico húmedo. *AquaTIC No. 27pp. 16-30*.

Isea L.F; Ble M.C; Medina G.A; Aguirre P; Bianchi P.G. 2005. Estudio de Digestibilidad aparente de la harina de lombriz (*Eisneria andrei*) en la alimentación de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Revista chilena de nutrición: 35:62-68.

Mariani M. 1993. El gran libro de los peces de acuario. Editorial de Vecchi. Barcelona España, 223p.

Martínez C.A, Chavez de M.M.C, Olvera N.M.A. 1989. La Nutrición y Alimentación en la Acuicultura de América Latina, una Diagnósis. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB459S/AB459S00.HTM>

Mc Donald P., Edwards R.A, Greenhalgh J.F.D., Morgan C.A. 1999. Nutrición Animal. Acribia, Zaragoza, España, 576p.

Mendoza F.S, Aguilera C., Montemayor J. 2009. Utilización de subproductos avícolas en las dietas para organismos acuáticos. Universidad Autónoma de Nuevo León.

- Michel P.J.G., Guzmán A.M., Avila C.M. 2001. La tilapia y su potencial de cultivo. Curso: Chapala, la transición a un milenio. Movimiento Cívico “todos por Chapala”. Octubre 6. Guadalajara México. 19p.
- Morfín L.L. 2010. Bromatología, Manual de Laboratorio. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México. 138pp.
- Nandlal S., Pickering T. 2004. Tilapia fish farming in Pacific island countries Volumen 1 “Tilapia Hatchery Operation”. Secretaria of the Pacific Community. Noumea, New Caledonia. 33p.
- Pokniak R. 2007. Incorporación de Espirulina (*Spirulina máxima*) en dietas para alevines de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Avances en Ciencias Veterinarias. 22:37-41.
- Poot D. C., Novelo S. R. A., Hernández H. M. F. 2009. ABC en el cultivo Integral de Tilapia. Centro de Estudios Tecnológicos del Mar y Fundación produce Campeche, A.C. Campeche México. 96p.
- Popma, T.J. y Lovshin, L. 1994. Worldwide prospects for commercial production of tilapia. Auburn, Alabama, USA.
- Purina. 2011. Relación de precios de alimentos para distribuidores. PURINA AGRIBANS. México.
- Ramón R.P.D; Rodriguez de H.S; Hernandez R.D; Mejia Y.; León N.A. 2004. Determinación del nivel óptimo de sustitución de la harina de pescado por harina de hidrolizado de plumas en el alimento para tilapia roja (*Oreochromis sp.*). Scientific Journal from the experimental Faculty of Sciences, Universidad de Zulia, Maracaibo Venezuela. 12(1):13-24.
- Robaina L. 1995. Utilización nutritiva de fuentes de proteína alternativa a la harina de pescado en dietas de engorde para Dorada (*Sparusaurata sp.*). Tesis doctoral. Universidad de las palmas de Gran Canaria, departamento de Biología. Las Palmas Gran Canaria. 231p.
- Saavedra M.M.A. 2006. Manejo del cultivo de Tilapia. Universidad Centroamericana. Managua, Nicaragua.

- Sandbol P. 1993. Nueva tecnología en la producción de harina de pescado para piensos: implicaciones sobre la evaluación de la calidad. Esbjerg, Dinamarca. 27pp.
- Sanz F. 2009. La alimentación en piscicultura. XVII Curso de Especialización FEDNA. España.
- Shimada M. A., Nutrición Animal, 2ª edición, Editorial Trillas, México D.F, 2009, 397p.
- Steel R.G.D. 1985. Bioestadística: principios y procedimientos. McGraw-Hill, México. 622pp.
- Steffens W. 1987. Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Ed. Acribia, Zaragoza España,. 275p.
- Subcomite on fish Nutrition. 1993 Nutrient Requirements of Fish. National Research Council. 124p. disponible en www.nap.edu/catalog/2115.html
- Vela V.S; Ojeda G.P.J. 2007. Acuicultura: la Revolución Azul, Apromar, Observatorio español de acuicultura, Consejo Superior de investigaciones Científicas, Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación. Madrid. 363p.
- Walter V.T. 2004. Principios de nutrición aplicada al cultivo de peces. Instituto de Acuicultura – Universidad de los llanos, Colombia. 66p.
- Webster C.D. y Lim C.E. 2002. Nutrient Requeriments and feeding of Finfish for Aquaculture. CABI Publishing. Wallingford, Oxon, Reino Unido. 428p.
- Zapata T. D.A, Gil L.J., Espejo G.C. 2008. Prueba de crecimiento en tilapia roja (*Oreochromis sp.*) con niveles crecientes de inclusión de harina de yuca en la dieta. Boletín Electrónico del Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación de la Yuca. Clayuca Colombia.