



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA
PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

EFFECTO DE LA PROTEÍNA DIETÉTICA SOBRE EL
CRECIMIENTO Y COMPOSICIÓN CORPORAL DE LA
TILAPIA HÍBRIDA ROJA “PARGO-UNAM”

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA
OLGA LILIANA RUBIO MEJÍA

TUTOR:
MARIO GARDUÑO LUGO

COMITÉ TUTORAL:
MIGUEL ÁNGEL OLVERA NOVOA
CARLOS GUSTAVO VÁSQUEZ PELÁEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

GRACIAS SEÑOR:

Por mis brazos perfectos, cuando hay tantos mutilados

Por mis ojos sanos, cuando hay tantos sin luz

Por mis manos que trabajan, cuando hay tantos que mendigan

Y sobre todo Señor, gracias por amar cuando hay tantos que odian

Por tener un hogar para regresar, cuando hay gente que no tiene a donde ir

Por soñar, cuando hay gente que se revuelca en sus pesadillas

Por vivir, cuando hay gente que muere antes de nacer

¡Gracias! Por tener poco que pedirte y tanto que agradecerte...Señor

AGRADECIMIENTOS

Me siento afortunada de haber culminado esta etapa de mi vida y tener en la mente a tantas personas a quienes agradecer su apoyo, entusiasmo y compañía hasta este momento, porque el triunfo no es haber concluido esta parte de mi formación, es haber terminado acompañada de las personas que son importantes en mi vida y que de alguna manera contribuyeron para hacer realidad uno de mis grandes anhelos en mi trayectoria de estudiante “La Maestría”.

En primer lugar agradezco el apoyo de mis padres: la Sra. Olga Mejía Velázquez y el MVZ. Omar Rubio Roa por su amor incondicional y porque con su ejemplo me enseñaron a ser una mujer buena y de buenas costumbres, por todos los valores que me transmitieron, por escucharme y ser mi refugio en los momentos difíciles, por las alegrías compartidas y por regalarme el placer de crecer en todos los aspectos dentro de una familia armónica.

A mis hermanas Adalyz, Edith y Elizabeth Rubio Mejía por su exigencia y motivación para no desistir por difícil que pareciera el camino e inculcarme el hacer todo con entrega y con mucho corazón. Por desafiarme a no renunciar a mis sueños y por ser mis compañeras en esta aventura llamada vida.

Agradezco infinitamente la enseñanza, apoyo, amistad, orientación y afecto de mi asesor el Dr. Mario Garduño Lugo y del comité tutorial integrado por el Dr. Miguel Ángel Olvera Novoa y el Dr. Carlos Vásquez Peláez. Espero haber cubierto sus expectativas como alumna y conservar su amistad y cariño.

Quiero hacer un agradecimiento particular al Dr. Miguel Ángel Olvera Novoa por su trato hospitalario durante mi estancia en Mérida. Sin duda me alegró cada día; sus consejos me hicieron crecer y reflexionar. Agradezco su trato respetuoso y su dedicación, segura estoy de que el tiempo que me dedicó no será una mala inversión.

Expreso mi sincera gratitud hacia el Dr. Yanis Cruz Quintana amigo y compañero del CINVESTAV, gracias por sus consejos, apoyo, orientación, por haberme hecho parte de su vida y dedicarme tiempo de calidad.

A mis amigos, compañeros y cómplices del CINVESTAV Saúl, Montserrat, Crisantema y Daniel agradezco su compañía y las alegrías compartidas. El haberlos conocido fue de las mejores experiencias que viví durante la maestría.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México el apoyo brindado en esta etapa y en particular a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Es un orgullo ser egresada de ésta honorable institución.

Durante esta etapa tuve la fortuna de ser alumna externa de CINVESTAV unidad Mérida, estoy muy agradecida con el centro y sobre todo con el personal del Laboratorio de Acuicultura y Nutrición, no tengo como pagar todas sus atenciones, su dedicación y entusiasmo, en especial del Técnico Wilbeth Che León, del Químico César Puerto Castillo, la Dra. Leticia Olivera Castillo y del Técnico Javier Ortíz Chay.

Gracias a la Biol. María Victoria Patiño Suárez y M. en C. José Luis Cabrera Pérez por su apoyo técnico en la determinación del análisis de nutrientes en las muestras del agua.

Mil gracias al CONACYT por la beca otorgada y por los servicios que me ofreció durante mi etapa de estudiante de maestría. Al proyecto Pargo-UNAM, CONACYT-FOMIX No. 37487. Al CEIEGT por facilitarme los ejemplares y por la asignación de recursos materiales y logística.

Durante mis estudios de maestría conté con el apoyo de las familias Rubio y Mejía, de verdad es muy grato poder saborear los triunfos al lado de mi familia, espero que podamos seguir festejando juntos muchos logros.

Tengo que terminar con esta parte pero aún tengo en la mente muchas personas a quienes agradecer su aportación, esmero y compañía, no los puedo mencionar uno por uno porque no terminaría, de todo corazón muchas gracias.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a las personas que como yo creen en la acuicultura como una alternativa económica y que están interesadas en esta labor, espero que este trabajo les transmita alguna enseñanza y les sea útil.

Aprovecho para hacer una cordial invitación a mis colegas Médicos Veterinarios y a los estudiantes de la misma carrera a informarse e involucrarse con esta prometedora actividad pecuaria.

RESUMEN

Se determinó el nivel óptimo de proteína dietético para el nuevo grupo genético de tilapia roja “Pargo-UNAM” durante las fases de cría y engorda, se formularon seis dietas isocalóricas con diferentes niveles de proteína, para la primera fase se emplearon: 25%(C25), 30%(C30), 35%(C35), 40%(C40), 45%(C45) y 50%(C50) y para la engorda: 20%(E20), 25%(E25), 30%(E30), 35%(E35), 40%(E40) y 45%(E45). La crianza duró siete semanas, con crías de peso inicial de 956 ± 3.99 mg. La fase de engorda 12 semanas, con juveniles de 40.98 ± 0.33 g. Se realizaron biometrías (pesajes) de los peces cada una y dos semanas respectivamente para ajustar la tasa de alimentación. Ambos experimentos se llevaron a cabo en dos sistemas de recirculación y aireación de agua, en donde se mantuvieron las condiciones fisicoquímicas de agua apropiadas para su desarrollo. Se colocaron diez peces en cada una de tres repeticiones. Para determinar los niveles óptimos de proteína, se emplearon regresiones cuadráticas, donde las variables utilizadas fueron: tasa específica de crecimiento y nivel de proteína. En la fase de crianza, los niveles de proteína para un crecimiento apropiado fueron de 34% a 37% y el óptimo para un máximo crecimiento 43.76%. En la engorda el máximo crecimiento se logró con 37% de proteína y con niveles de 29% a 31.5% no se afectó el desarrollo de los peces. En cuanto a la composición química corporal de los peces al concluir la crianza con pesos de 5.91 -12.2g, la proteína corporal tendió a aumentar y disminuir los lípidos al incrementarse el nivel de proteína de la dieta. Sin embargo, en la engorda (84.2-162.4g), el contenido de proteína corporal fue similar para las seis dietas y los lípidos disminuyeron con el incremento de proteína. Se observó que el Pargo-UNAM, puede alimentarse con menores niveles de proteína a los usados en algunos alimentos comerciales para tilapia sin que se afecte su crecimiento y composición química, lo que significaría una optimización en sus costos de producción.

Palabras clave: ciclidos, *Oreochromis*, tilapia, nutrición

ABSTRACT

In order to determine the optimal level of protein in diets for the new genetic group of red tilapia “Pargo-UNAM” during the fry and growth-out phases, for the former six isocaloric diets were formulated with protein levels of: 25%(C25), 30%(C30), 35%(C35), 40%(C40), 45%(C45) y 50%(C50) while for the latter: 20%(E20), 25%(E25), 30%(E30), 35%(E35), 40%(E40), 45%(E45). The breeding lasted seven weeks, with initial weights from 956.44 ± 2.47 mg. The growth-out phase lasted 12 weeks with juveniles from 40.98 ± 0.19 g. Biometries were performed each week for the fry phase and each two weeks for the growth-out phase so as to adjust the feeding rate. Both experiments were carried out in two recirculation and aeration water systems, in which the optimal water conditions were kept. Ten fish were put in each one of three repetitions. In order to determine the appropriate vitamin levels quadratic regressions were carried out where the variables used were: growing rate and protein level. In the breeding phase protein levels for an appropriate growth were from 34% to 37% an the optimal for a maximum growth was 43.76%. In the growth-out phase the maximum growth was achieved with 37% of protein with levels from 29% to 31.5% the growth was not affected. On the body chemical composition from fish at the end of the fry phase with weights from 5.91 to 12.2g, the corporal protein tended to increase and the lipids decreased when the protein level in the diet was increased. However, during the growth-out phase (84.2-162.4g), the corporal protein content was similar to the six diets and the lipids decreased with the increasing of proteins. It was observed that “Pargo-UNAM” can be fed with less levels of protein than those used in some commercial food for tilapia without affecting its growth and chemical composition, which can result in an optimization in its production costs as well.

Key words: cichlids, *Oreochromis*, tilapia, nutrition

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Revisión de literatura	7
<i>Importancia de la proteína dietética</i>	7
<i>Factores que influyen en el requerimiento de proteína</i>	8
<i>Determinación del nivel óptimo de proteína</i>	9
<i>La proteína como fuente de energía</i>	11
2. HIPÓTESIS	13
3. OBJETIVOS	13
3.1. Objetivo general	13
3.2. Objetivos específicos	13
4. MATERIALES Y MÉTODOS	14
4.1. Lugar de experimentación	14
4.2. Experimento 1. Etapa de crianza	14
<i>Material biológico</i>	14
<i>Sistema de aireación y recirculación de agua</i>	15
<i>Dietas experimentales</i>	15
<i>Determinación de la composición corporal</i>	16
4.3. Experimento 2. Etapa de engorda	17
<i>Material biológico</i>	17
<i>Tanques empleados en la fase de engorda</i>	18
<i>Dietas experimentales</i>	18
<i>Composición corporal</i>	19
4.4. Manejo de los organismos experimentales	19
4.5. Calidad del agua	19
4.6. Métodos analíticos	20
4.7. Parámetros de evaluación	20
4.8. Diseño experimental y análisis estadísticos	25
5. RESULTADOS	27
5.1. Experimento 1. Crianza	27
5.2. Experimento 2. Engorda	33
6. DISCUSIÓN	38
6.3 Conversión alimenticia	40
6.4 Eficiencia proteica y utilización aparente de nitrógeno	41

6.5	Requerimiento de proteína	42
6.6	Composición química corporal.....	44
6.6.1	Humedad	44
6.6.2	Proteína.....	45
6.6.3	Lípidos	46
6.6.4	Cenizas	47
6.7	Rendimiento de filete.....	47
7.	<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>.....	49
8.	<i>LITERATURA CITADA</i>.....	51

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Requerimiento de proteína en diferentes especies de tilapia	10
2	Composición de las dietas empleadas en la alimentación de crías de Pargo-UNAM durante la fase de crianza	16
3	Variable, frecuencia, instrumento y/o método con que se llevó a cabo la medición de parámetros fisicoquímicos del agua	20
4	Variables físico químicas del agua durante la fase de crianza de la tilapia sintética roja, el Pargo UNAM	27
5	Composición química proximal de dietas empleadas en la etapa de crianza de la tilapia sintética, el Pargo-UNAM	27
6	Promedios de los rasgos productivos de los peces Pargo-UNAM alimentados con seis niveles de proteína durante la fase de crianza	30
7	Composición química de las crías del híbrido de tilapia roja el Pargo-UNAM	31
8	Promedios de las variables físico químicas medidas durante la fase de engorda	33
9	Composición química proximal de las dietas para Pargo-UNAM en la etapa de engorda	33
10	Promedios de los rasgos productivos de los peces Pargo-UNAM alimentados con seis niveles de proteína durante la fase de engorda	35
11	Composición química de los peces del híbrido de tilapia roja el Pargo-UNAM al finalizar la engorda	37

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Producción mundial de pesca de captura y acuicultura	1
2	Producción mundial de tilapia por especie	2
3	Cría de Pargo-UNAM al inicio del primer experimento	14
4	Sistema de recirculación del agua del Laboratorio Húmedo del CINVESTAV, utilizado durante la fase de crianza	15
5	Ejemplares de Pargo-UNAM con los que se inició la fase de engorda	17
6	Sistema de tinas de fibra de vidrio, empleado durante la fase de engorda del Pargo-UNAM	18
7	Incremento de peso de crías de la tilapia sintética roja, Pargo-UNAM alimentados con dietas con seis niveles de proteína durante la fase de crianza	28
8	Requerimiento óptimo de proteína dietética en la fase de Crianza	32
9	Incremento de peso del híbrido de tilapia roja Pargo-UNAM alimentados con seis niveles de proteína durante la fase de Engorda	34
10	Requerimiento óptimo de proteína dietética en la etapa de Engorda	37

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de organismos acuáticos como: peces, crustáceos, moluscos y plantas, tanto en ambientes naturales como artificiales se conoce como acuicultura. Esta actividad constituye actualmente una fuente importante de generación de alimentos y empleos para el ser humano. A nivel internacional para el año 2009 los productos derivados de ese sector alcanzaron el 47% de la producción pesquera total.¹ Es importante tomar en cuenta que para consolidar el crecimiento de la acuicultura sin dañar el entorno ecológico, se deberá promover su eficiencia productiva sustentada en la investigación y adopción de la tecnología más apropiada.²

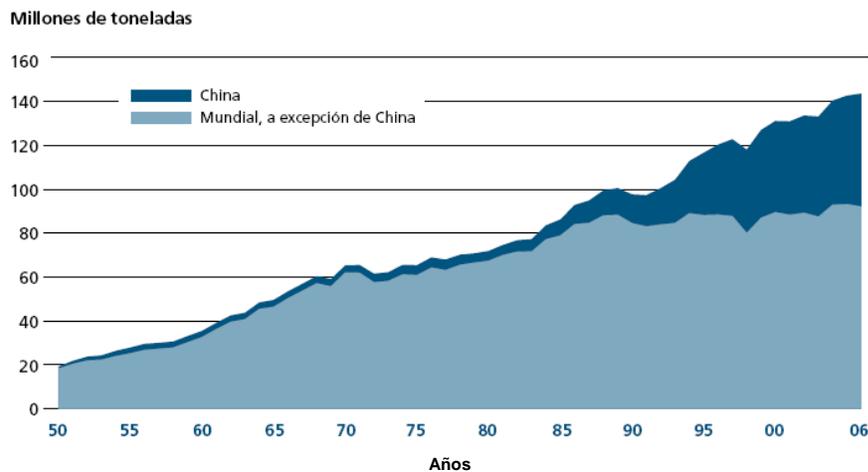


Figura 1. Producción mundial de pesca de captura y acuicultura

De la acuicultura, se deriva la producción de peces marinos y de agua dulce, entre los cuales se encuentran los salmones, truchas, carpas y tilapias. Estos últimos, pertenecientes a la familia de los cíclidos africanos. Son peces de fácil reproducción y buen crecimiento, tienen cierta resistencia a condiciones adversas del medio ambiente y manejo. Se adaptan a sistemas de cultivo diversos en agua dulce e incluso marina. Pueden emplearse alimentos naturales y artificiales. Por esos atributos, las tilapias se encuentran actualmente distribuidas para fines de cultivo en la mayoría de los países tropicales y subtropicales.³

A principios del siglo XX la producción de tilapia estuvo confinada a África y a los valles de Jordania, fue a partir de la década de 1950 que las tilapias se comenzaron a exportar a todo el mundo,⁴ en esa época, el cultivo de tilapia era propiamente artesanal y su consumo limitado, debido a que al consumir alimento natural, presentaban un olor y sabor a fango.⁵ Sin embargo, al modificar su alimentación con dietas preparadas, su preferencia entre los consumidores aumentó de manera significativa. Actualmente la producción y comercialización de estos peces es de las más importantes al pasar de una producción de 931,389 toneladas anuales en 1994 a 2.3 millones en 2007 y se estima una producción de 3.5 millones para el 2010, por lo que es probable que la tilapia con base en su producción, se consolide como el primer producto derivado de la acuicultura⁶. En la Figura 2 se puede observar el rápido crecimiento en la producción de tilapia en el mundo.

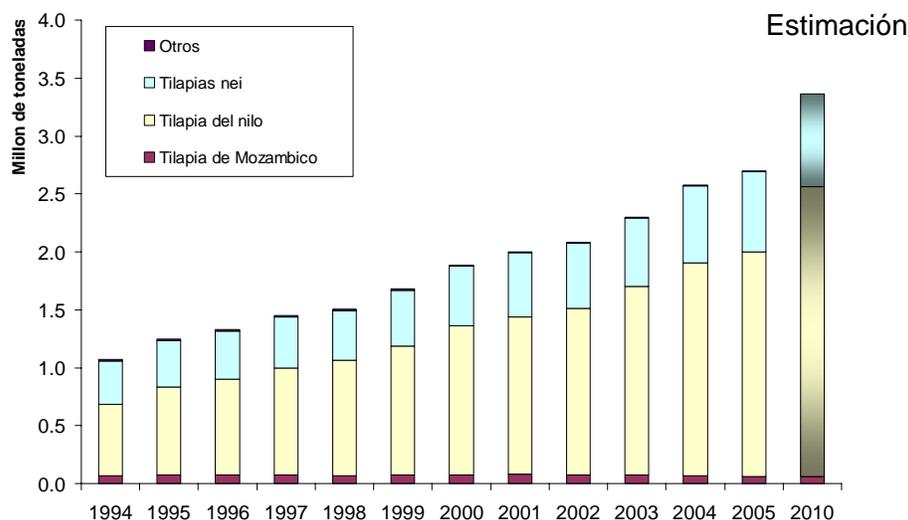


Figura 2. Producción mundial de tilapia por especie

La primera introducción de tilapias a México ocurrió en 1964.⁷ En 1978 se importó *O. niloticus* y a partir de ese año se efectuaron otras introducciones procedentes de EUA, Escocia y Centroamérica.³ En 1981 se importaron tilapias *O. mossambicus* roja y *O. urolepis hornorum* de Florida, EUA. En 1986 el Centro de Investigación y Estudios Avanzados Unidad Mérida importó ejemplares de *tilapia nilótica* rosa provenientes de la Universidad de Stirling, Escocia.^{3,4} En los 90's se introdujo la tilapia blanca Rocky Mountain,⁸ y *O. aureus*.⁹ La introducción de tilapias ha continuado debido al éxito obtenido en el país a nivel de producción.

Las tilapias en México han sido diseminadas en las diferentes regiones tropicales y en diversos sistemas de producción existentes, representando más del 60% de cultivo en los centros acuícolas.¹ Entre 1982 y 1986 México ocupó el primer lugar como país productor de tilapia con una producción anual con 60,200 toneladas por año. Entre 1987 y 1991 ocupó el tercer lugar y China el cuarto, sin embargo este último, para el siguiente año, duplicó su producción, y actualmente aporta el 46% de la producción mundial.⁴ A diferencia de China, México ha permanecido en la misma producción hasta el 2001, situación que debería de mejorar a la brevedad posible.¹⁰

El éxito del cultivo de las tilapias se debe a diferentes causas, por un lado presentan una carne blanca, firme, con olor y sabor ligeros a pescado,¹¹ además de presentar escasas espinas intermusculares, así como bajo contenido de lípidos y sodio.¹² Su crecimiento es rápido por lo que presentan favorables parámetros productivos y adaptación a diferentes sistemas de cultivo, resistencia al manejo y condiciones adversas de cultivo, resistencia a enfermedades, aceptación de diferentes tipos de alimentos, fácil reproducción en cautiverio,³ demanda local, nacional e internacional, diversidad de colores,^{13,14,15} así como varias formas de comercialización.³

En México los grupos genéticos de tilapia de mayor éxito son: *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*.¹⁰ *O. mossambicus* fue la primera en cultivarse fuera de África. Sin embargo, es la menos difundida debido a que *O. niloticus* gris y la *O. aureus* presentan un crecimiento más rápido y alcanzan un mayor tamaño,⁴ el conservar los cultivos de *O. mossambicus* se debe básicamente a la presencia de ejemplares rojos, ya que esta característica, ocasionalmente mejora el precio del producto e incrementa su aceptación en el mercado.¹⁶

Una parte importante del éxito en el incremento de la tilapicultura, ha sido la aplicación de programas de mejoramiento genético, enfocado sobre la selección de especímenes de color distinto al gris o tipo silvestre, principalmente de color rojo,^{5,17,18} sobre la comparación del crecimiento entre especies e híbridos,^{19,20,21} la obtención de progenies con alto porcentaje de machos²² y últimamente la formación de poblaciones compuestas o sintéticas, derivadas a partir de cruzamientos entre dos o

más grupos genéticos de estos cíclidos. Ejemplo de ello es la tilapia sintética, conocida como GIFT (Genetically Improved Farmed Tilapia) creada en Asia,²³ algunos estudios han demostrado que éste híbrido presenta una mayor ganancia de peso al incrementar el nivel de proteína sin comprometer la eficiencia en la conversión alimenticia,²⁴ además se ha observado que presenta mayor rendimiento de filete que otros grupos genéticos.²⁵

En 1988 en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT) ubicado en Martínez de la Torre, Veracruz, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se llevó a cabo una selección genética para obtener especímenes de tilapias de color distinto al gris. Como resultado de ese trabajo, se obtuvieron especímenes homocigóticos rojos y rosas de tilapia roja de Florida y *O. niloticus*.^{10,26} Con esos grupos genéticos y con la inclusión del grupo Rocky Mountain, se realizaron cruzamientos interespecíficos entre ellos, con la finalidad de evaluar y mejorar el desempeño productivo de las poblaciones rojas seleccionadas,^{18,27,28,29} en virtud de que se ha informado por otros autores que los especímenes de tilapias de colores distintos al tipo silvestre, principalmente rojas, presentan generalmente un menor crecimiento que las primeras.^{30,31}

A poco mas de 15 años de investigaciones, se logró generar la primera población sintética de tilapia roja mexicana nombrada Pargo-UNAM,¹⁶ la cual acumuló de las cruzas previas, un elevado grado de heterosis¹⁰ además de su coloración roja lo que le hace interesante como un pez que puede abrir un nicho de mercado en las tilapias de color rojo, ya que actualmente no hay evidencia de alguna tilapia roja que supere el crecimiento de la tilapia del Nilo gris.^{18,26,32}

Jiménez¹⁶ y Riego³³ compararon los rasgos productivos de la primera generación de la línea sintética de tilapia Pargo-UNAM cuya composición genética fue: $\frac{1}{4}$ *O. niloticus* rosa, $\frac{1}{4}$ Rocky Mountain y $\frac{1}{2}$ tilapia roja de Florida en dos variedades de color segregadas: a) rojo (RNFr) y b) perla con respecto (RNFp) a c) el trihíbrido del cual provinieron: (*O. aureus* x *O. niloticus*) ♂ x *O. mossambicus* ♀ (ANxM); d) el híbrido F1 *O. aureus* ♂ x *O. niloticus* ♀ (AxN), e) la especie *O. mossambicus*

MxM) y f) la especie *O. niloticus* (NxN). Esos autores informaron que el Pargo-UNAM, en sus dos colores: rojo y perla, mantuvieron una velocidad de crecimiento similar a los trihíbridos híbridos y especies seleccionadas, de las cuales preceden. Pargo-UNAM, mantuvo una heterosis sorprendentemente alta del 100% por lo que se consideró como una nueva población de tilapia roja con altas probabilidades de incorporarse a los sistemas de producción de tilapia existentes.

Lo anterior fue reforzado, en dos trabajos efectuados conjuntamente^{34,35} en donde se comparó el crecimiento de *O. mossambicus* roja, *O. niloticus* rosa, el híbrido de *O. mossambicus* por *O. niloticus* rosa, el cruce recíproco de este, *O. niloticus* gris y el grupo genético Pargo-UNAM, se observó que los especímenes rojos presentaron un menor crecimiento que *O. niloticus* gris, pero Pargo-UNAM presentó un desempeño similar a este último.

Una ventaja adicional, es que el Pargo-UNAM, por ser un grupo genético sintético, tiene la ventaja de que ya no es necesario realizar los cruzamientos de sus ancestros para generarla en cada ciclo de engorda, sino que es suficiente con cruzarla entre sí en sus generaciones subsecuentes.^{3,32,33}

Una vez que el Pargo-UNAM, fue evaluado experimentalmente en las instalaciones del CEIEGT. Se evaluó su crecimiento en cuatro explotaciones comerciales del estado de Veracruz, comparando su desarrollo con las especies de tilapia que se cultivan en cada una de las granjas participantes.^{32,36,37,38}

Salazar³⁶, Ortíz³⁷, Peña³⁸ y Ramírez³² compararon el desempeño productivo del Pargo-UNAM con las especies que se cultivaban en cuatro granjas de tilapia del estado de Veracruz durante las diferentes fases productivas. Los resultados obtenidos evidenciaron que el Pargo-UNAM muestra mejores parámetros productivos que las especies cultivadas en cada una de las granjas, por lo que concluyeron que es un nuevo grupo de tilapia con excelentes posibilidades de cultivo, al representar una alternativa para las explotaciones comerciales de tilapia roja.

El hecho de obtener un animal de mayor crecimiento como en este caso el Pargo-UNAM, motiva a estudiar si esta población tiene una calidad nutricional atractiva para el consumidor actual, el cual muestra una tendencia por preferir productos que además de su cantidad, tengan un aporte nutricional apropiado.^{39,40} Lo anterior es debido, a que especímenes híbridos que expresan un mayor crecimiento que especies puras de su categoría, es probable que requieran diferente nivel de nutrientes para realizar su aumentada actividad anabólica y observar un mejor desempeño productivo para el cual están habilitados.⁴⁰ En ese sentido, en el cultivo de tilapia, en primera instancia hay poca evidencia de la generación de razas sintéticas de tilapias rojas como el Pargo-UNAM y por lo tanto, son escasos los estudios en donde se hayan revisado los requerimientos nutricionales relacionados con el potencial de crecimiento de esos nuevos grupos genéticos.

Esta inquietud surge debido a que Rubio⁴¹ observó que al cultivar el Pargo-UNAM junto con otros cinco grupos genéticos, ese pez y *O. niloticus* de tipo silvestre, exhibieron los mejores crecimientos, pero presentaron en su carne una menor proporción de proteína y lípidos, lo que hace suponer que el alimento que se administró para evaluar los seis grupos genéticos puede presentar deficiencias de proteína para *O. niloticus* y el Pargo-UNAM.

El evaluar los requerimientos de proteína para la nueva línea genética permitirá ajustar el nivel empleado y se obtendrán mejores resultados en cuanto a los parámetros productivos.⁴¹ En la actualidad se formulan y venden alimentos para tilapia en general, sin tomar en cuenta la especie ni su capacidad de crecimiento, situación que puede tener como consecuencia que el pez mejorado para crecimiento no exprese el desarrollo esperado para el cual fue seleccionado, e incluso su misma tasa metabólica en aras de expresar su crecimiento, pueda reflejarse en la calidad química de la carne del animal.

Es por ello, que el propósito del presente estudio consiste en determinar la proporción apropiada de proteína dietética para obtener el mejor crecimiento y calidad química del Pargo-UNAM en sus dos fases de crecimiento: crianza y engorda.

1.1. Revisión de literatura

Importancia de la proteína dietética

Las proteínas son compuestos orgánicos complejos, característicos de los seres vivos, formadas por cadenas de aminoácidos cuya secuencia determina su estructura y función.⁴² Son el principal nutriente en la dieta de los peces debido a que son esenciales para su crecimiento, por ser el componente básico del tejido animal, lo que implica que este nutriente debe estar en la cantidad y calidad adecuadas con el objetivo de satisfacer las necesidades de crecimiento y mantenimiento de los organismos.⁴³

Los peces utilizan la proteína como fuente de energía; aproximadamente el 85% de la energía que utilizan estos organismos en actividades de rutina proviene del catabolismo de aminoácidos. Este fenómeno provoca que el requerimiento de proteína dietética para lograr el máximo crecimiento en peces sea sustancialmente mayor en comparación con el requerimiento de los organismos terrestres.⁴⁴ Esta forma de utilizar la proteína es una adaptación al medio en que viven, donde la provisión de alimentos de origen proteico es elevada y baja la de carbohidratos, por lo que solo una pequeña proporción de la proteína ingerida es utilizada para la generación de tejidos, de forma tal que el requerimiento de proteína para lograr el máximo crecimiento puede ser de 50% a 300% más alto en peces que en animales de granja.^{45,46,47}

Los peces como el resto de los animales no presentan un requerimiento de proteína como tal, sino más bien de una mezcla adecuadamente balanceada de aminoácidos esenciales y no esenciales. Los aminoácidos que no pueden ser sintetizados por los animales son considerados como esenciales y deben estar disponibles en la dieta.⁴² Se sabe que la mayoría de los animales requieren los mismos 10 aminoácidos esenciales: arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina.⁴⁸ Estos aminoácidos se utilizarán para sintetizar proteína tisular nueva, sustancias orgánicas, así como para satisfacer la mayoría de las necesidades energéticas.⁴²

En el ámbito de la producción acuícola, el conocimiento de los requerimientos nutricionales de los organismos acuáticos, es muy importante, principalmente para formular dietas apropiadas para los organismos en cultivo⁴² con la finalidad de que el acuicultor obtenga el mayor beneficio económico de su inversión, lo cual consiste en ofrecer la cantidad mínima de alimento con la calidad requerida para el óptimo desarrollo de los peces,⁴⁹ sobre todo en la acuicultura intensiva en la cual, el organismo depende totalmente de la dieta artificial que se le proporcione.⁴²

Factores que influyen en el requerimiento de proteína

El requerimiento de proteína se ve afectado por diversos factores tales como la variedad genética, tipo de dieta, la temperatura ambiente, la salinidad del agua y el tipo de pez (por ejemplo para el bagre de canal, se ha estimado un 35% y para la carpa común el 38%).⁵⁰

El sistema de cultivo influye también en el requerimiento de proteína. Esto debido a que en cultivos intensivos es necesario aportar a los organismos una dieta completa con un contenido adecuado de nutrientes, debido a que el pez dependerá totalmente de la cantidad y calidad de los nutrientes en la dieta. Lo anterior es diferente en el cultivo semi intensivo, donde hay producción primaria en el estanque y lo que se necesita es una dieta complementaria.⁵¹

El balance proteína:energía en la dieta, su perfil de aminoácidos y su digestibilidad, así como la cantidad de energía no proteica disponible, son factores que también influyen de manera importante en la determinación del requerimiento proteico.⁴² También se puede mencionar a la edad, estado fisiológico, fase reproductiva del animal, hábitos alimenticios, la temperatura ambiente, salinidad, entre otras variables fisicoquímicas del agua.³

De los factores antes mencionados la edad es uno de los más importantes, debido a que los requerimientos disminuyen con la edad del pez y pueden ser satisfechos variando el consumo de alimento o ser modificados dependiendo del

contenido energético de la dieta, de la disponibilidad y composición del alimento, de los cuales depende la síntesis de proteína.^{52,53,54}

En cuanto al contenido energético al formular dietas para peces se debe tener presente que estos organismos comen para satisfacer en primer término sus requerimientos de energía y por lo tanto un exceso de energía no proteica limitará el consumo del alimento, afectándose el depósito de proteína necesario para crecimiento.^{44,48}

Determinación del nivel óptimo de proteína

Diversos estudios se han enfocado en establecer el nivel óptimo de proteína para las especies de tilapia bajo diferentes condiciones.⁵⁵ La mayoría de los autores han concluido que niveles altos de proteína (mayores de 40%) son requeridos para animales pequeños y para peces grandes se han determinado niveles más bajos (25%-35%).^{12,55} En el Cuadro 1 se muestran los requerimientos óptimos de proteína dietética para tilapias calculados por diferentes autores.

Las variaciones que existen entre los diferentes estudios pueden deberse a las condiciones experimentales como la especie con la que se esté trabajando, el tamaño y edad, densidad de población, calidad de la proteína, higiene y condiciones ambientales, particularmente temperatura y salinidad.¹²

Cuadro 1. Requerimiento de proteína en diferentes especies de tilapia

Especie	Talla	Requerimiento de proteína (%)	Autor
<i>O. niloticus</i>	Juveniles	30	Hastings (1973) ⁵⁶
<i>O. niloticus</i>	Crías	40	Zeilton <i>et al.</i> (1976) ⁵⁷
	Juveniles	30	
<i>O. niloticus</i>	Juveniles	20-35	Newman <i>et al.</i> (1979) ⁵⁸
<i>O. niloticus</i>	< 1g	35-50	Balarin y Haller (1982) ⁵⁹
	1-5g	30-40	
	5-25g	25-30	
<i>O. niloticus</i>	-----	29-56	Jauncey y Ross (1982) ¹²
<i>O. niloticus</i>	Juveniles	25	Wang <i>et al.</i> (1985) ⁶⁰
<i>O. niloticus</i>	Juveniles	28-30 (agua salada 10‰)	De Silva y Perera (1985) ⁶¹
<i>O. niloticus</i>	Juveniles	19-29 (cultivo semiintensivo)	Wannigama <i>et al.</i> (1985) ⁶²
<i>O. niloticus</i>	Juveniles	30	Fineman y Camacho (1987) ⁶³
<i>O. niloticus</i>	25-50g	30-45	Wee y Tuan (1988) ⁶⁴
<i>O. niloticus</i>	Crías	28-30	De Silva <i>et al.</i> (1989) ⁴⁵
<i>O. niloticus</i>	< 1g	35-56	El Sayed y Teshima (1991) ⁶⁵
<i>O. niloticus</i>	3g	40	Gunasekera <i>et al.</i> (1995) ⁶⁶
<i>O. niloticus</i>	Crías	36-40	Wu y Rosati (1996) ⁶⁷
<i>O. niloticus</i>	Juveniles	15.8-25.5 (cultivo Semiintensivo)	Xie <i>et al.</i> (1998) ⁶⁸
<i>O. niloticus</i>	Crías	40	Al Hafedh (1999) ⁶⁹
	Juveniles	30	
Tilapias rojas	231-242g	44	Chang <i>et al.</i> (1988) ⁷⁰
Tilapia roja de Florida	Juveniles	20 (en agua salada)	Clark <i>et al.</i> (1990) ⁷¹
<i>O. mossambicus</i>	Juveniles	29-38	Cruz y Laudencia (1977) ⁵¹
<i>O. mossambicus</i>	Alevines	>50	Jauncey (1982) ⁷²
	10-30g	30-35	
<i>O. mossambicus</i>	2-7.5g	38	Tacon <i>et al.</i> (1983) ⁷³
<i>O. aureus</i>	Juveniles	25-36	Lovell (1980) ⁷⁴
<i>O. aureus</i>	Crías	34	Winfrey y Stickney (1981) ⁵²

La proteína como fuente de energía

Las necesidades energéticas de los peces son diferentes a las de los animales terrestres, debido principalmente a que no necesitan mantener una temperatura corporal distinta a la ambiental, demandan menor cantidad de energía para trasladarse y conservar su posición en la columna de agua, además de que no necesitan neutralizar sus metabolitos nitrogenados, mismos que son excretados directamente por difusión pasiva en branquias en forma de amoníaco, lo que les permite disponer de mayor cantidad de energía metabolizable a partir del catabolismo de proteínas en comparación con animales terrestres.^{46,47,75,76} Sin embargo su tasa metabólica está limitada por la baja capacidad que tienen para extraer oxígeno del agua,⁷⁷ lo cual implica un elevado gasto energético para bombear grandes cantidades de agua a través de las branquias para soportar un modesto nivel de metabolismo aeróbico, ya que tanto la osmorregulación como el balance iónico en branquias implican altos costos de energía.⁴⁹ Así mismo el elevado contenido proteico en la dieta de los peces trae consigo un considerable gasto energético, estimado entre 5% y 20% de la energía ingerida, a fin de satisfacer las necesidades asociadas con el catabolismo de la proteína y demás procesos relacionados con la digestión. Por lo mencionado anteriormente se puede asumir que el grado de utilización de la proteína como energía es variable para las diferentes actividades y especies.⁷⁸

Debido a que la proteína es la principal fuente energética de los peces y a la vez el nutriente de mayor costo en la dieta, se ha desarrollado una estrategia que tiene implicaciones económicas importantes orientada a reducir el contenido proteico en los alimentos, sustituyéndola con una fuente de energía más barata como son los lípidos y carbohidratos, de forma tal que estos nutrientes permiten “ahorrar” parte de la proteína y destinarla al crecimiento.^{79,80,81}

En el cultivo de tilapia el ahorro de proteína mediante la inclusión de lípidos es la práctica más empleada, debido a que estos peces son poco eficientes para la utilización de carbohidratos, sin embargo se recomienda al acuicultor incluir en la dieta la máxima cantidad soportada de éste nutriente y destinar la mayor proporción de proteína para las funciones anabólicas,⁴² de esta manera se pueden reducir los costos de alimentación y maximizar la retención de nitrógeno.⁸²

Los costos de alimentación usualmente representan entre 40% y 60% del costo total de producción.⁸³ La calidad del alimento tiene efectos colaterales sobre el nivel de producción y características de los organismos cultivados; por ejemplo, una mala alimentación reduce la tasa de crecimiento, lo que representa mayores costos de operación al mantener a los animales por periodos más largos. El suministro de alimentos inadecuados puede afectar la calidad del producto, así como incrementar la incidencia de enfermedades asociadas a la mala nutrición.

Al determinar el requerimiento de proteína no se debe dejar a un lado el aspecto económico, recordando que la proteína es el nutriente de mayor costo en el alimento, se debe optimizar su uso y evitar desperdicios. En este sentido, De Silva *et al.* (1989)⁴⁵ establecieron el equilibrio económico en cuanto al contenido de proteína dietético en cuatro especies de tilapia. Los resultados obtenidos revelaron que para juveniles de tilapia de 1-5g, con un buen balance económico el requerimiento proteico es de 25% - 28%. Sin embargo, el nivel en donde observaron el máximo crecimiento, estuvo entre 34%-36%. La meta es encontrar el nivel menor de proteína dietético sin comprometer el crecimiento de los peces.

2. HIPÓTESIS

El crecimiento y composición química corporal de la tilapia sintética roja denominada Pargo-UNAM, son influenciados por el nivel de proteína de la dieta en las etapas de cría y engorda.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Determinar el nivel de proteína óptimo en la dieta de la tilapia sintética roja denominada Pargo-UNAM, para su mejor desempeño sobre su crecimiento y composición química corporal en las etapas de cría y engorda.

3.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de seis niveles de proteína dietética sobre la supervivencia, el crecimiento y la eficiencia alimenticia del grupo genético Pargo-UNAM en la fase de Cría y de Engorda.
- Comparar el rendimiento del filete al finalizar la engorda de los peces del grupo genético Pargo-UNAM alimentados con seis niveles de proteína.
- Evaluar el efecto de dietas con distintos niveles de proteína en la tilapia sintética Pargo-UNAM sobre su composición química durante las etapas de Cría y Engorda.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Lugar de experimentación

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Acuicultura y Nutrición Acuícola del Departamento de Recursos del Mar, del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), Unidad Mérida, en Mérida, Yucatán, México.

4.2. Experimento 1. Etapa de crianza

Material biológico

Se usaron crías monosexo masculinizadas¹⁸ del grupo genético Pargo-UNAM, producidas en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT) debido a que es el lugar en donde se encuentran los reproductores, éstas se transportaron de Martínez de la Torre, Veracruz a Mérida mediante envío aéreo en bolsas de plástico con oxigenación, al iniciar el experimento presentaron un peso promedio de 956 ± 3.99 mg. Las crías se aclimataron al sistema experimental y manejo durante siete días previos al inicio de la fase experimental.



Figura 3. Cría de Pargo-UNAM al inicio del primer experimento

Sistema de aireación y recirculación de agua

Se emplearon 18 tinas de plástico de 20 L instaladas en el Laboratorio Húmedo del CINVESTAV, en cada una de las cuales se colocaron 10 peces. Las unidades experimentales contaron con un sistema de aireación y recirculación de agua con sedimentador y filtración biológica a fin de mantener las condiciones fisicoquímicas apropiadas para el desarrollo óptimo de las tilapias.^{8,11}



Figura 4. Sistema de recirculación del agua del Laboratorio Húmedo del CINVESTAV, utilizado durante la fase de crianza

Dietas experimentales

Se evaluaron por triplicado seis dietas experimentales isocalóricas, formuladas para aportar distintos niveles de proteína cruda, de acuerdo con Al Hafedh⁶⁹ con: 25% (C25), 30% (C30), 35% (C35), 40% (C40), 45% (C45) y 50% (C50) para *Oreochromis niloticus*. Las fórmulas de las dietas se muestran en el Cuadro 2. Los ingredientes utilizados fueron: harina de pescado, harina de soya, salvado de trigo,

almidón de maíz, aceite de pescado, aceite de maíz, premezclas de vitaminas, mezcla de minerales, carboximetil celulosa y alfa celulosa.⁴² Los alimentos se prepararon mezclando primero las harinas secas por 15 minutos y posteriormente se agregaron los aceites y el almidón de maíz pregelatinizado, así como agua suficiente para formar una pasta que pasara a través del molino para carne con la finalidad de formar un alimento granulado. Estos procesos se llevaron a cabo empleando una mezcladora Kitchen Aid, posteriormente se secaron en una estufa con aire forzado a 40°C por 24 horas, se trituraron y tamizaron para obtener partículas de 2mm aproximadamente, finalmente se almacenaron en bolsas de plástico a 5°C hasta su uso. Una muestra de cada dieta se separó para realizar los análisis químicos proximales correspondientes de acuerdo con métodos estándar (AOAC).⁸⁵

Cuadro 2. Composición de las dietas empleadas en la alimentación de crías de Pargo-UNAM durante la fase de crianza

Ingredientes (%)	Dieta					
	C25	C30	C35	C40	C45	C50
Harina de pescado	21.08	31.63	36.90	42.17	47.44	52.71
Harina de soya	12.80	19.19	22.39	25.59	28.79	31.99
Aceite de pescado	3.32	2.47	2.05	1.63	1.21	0.79
Aceite de maíz	4.91	4.93	4.93	4.93	4.93	5.0
Almidón de maíz	46.09	30.78	22.73	14.98	7.13	0.81
Salvadillo de trigo	3.50	3.00	3.0	3.0	3.0	---
Premezcla mineral ⁸¹	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Premezcla de vitaminas ⁸²	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Carboximetilcelulosa	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Alfa celulosa	0.8	0.5	0.5	0.2	----	1.2

Determinación de la composición corporal

El experimento duró siete semanas. Los peces iniciaron con un peso promedio de 956 ± 3.99 mg, al finalizar esta etapa los peces de las tres réplicas se colocaron en seis contenedores, uno para cada tratamiento, se mezclaron y tomaron al azar 15 peces por tratamiento, se sacrificaron por choque térmico con agua a 3°C^{5,84} y se analizó su composición química proximal. Cabe mencionar que al inicio del

experimento se tomó una muestra de 50 peces del mismo lote para realizar los análisis químicos proximales iniciales.^{61,69,85}

4.3. Experimento 2. Etapa de engorda

Material biológico

Simultáneamente al Experimento 1 en un estanque de concreto con un volumen operativo de 5 m³ se colocaron peces del mismo lote de Pargo-UNAM, provenientes del CEIEGT, los cuales se mantuvieron con una dieta comercial Nutripec 4310 C etapa de crianza marca Purina (humedad 10 %, proteína 43 %, grasa 10 %, fibra cruda 3.80%, cenizas 10 % y elementos libres de nitrógeno 23.20%) durante las primeras siete semanas y posteriormente 12 semanas con Nutripec 3006CT etapa de desarrollo marca Purina (humedad 12%, proteína 30%, grasa 6%, fibra cruda 5.5%, cenizas 11%, elementos libres de nitrógeno 35.5%) %, hasta que alcanzaron un peso promedio de 40.98g ± 0.33g,^{18,51} con el cual se inició la segunda fase del estudio.



Figura 5. Ejemplares de Pargo-UNAM con los que se inició la fase de engorda

Tanques empleados en la fase de engorda

Se emplearon 18 tinas de fibra de vidrio circulares con capacidad de 1000L, en cada una se colocaron 10 peces. Este conjunto de tinas contó con un sistema de aireación y recirculación de agua (Figura 6), instaladas bajo techo en la unidad para investigación del Laboratorio de Acuicultura y Nutrición Acuícola del CINVESTAV. El experimento tuvo una duración de 12 semanas.



Figura 6. Sistema de tinas de fibra de vidrio, empleado durante la fase de engorda del Pargo-UNAM

Dietas experimentales

Se evaluaron por triplicado seis dietas experimentales con: 20% (E20), 25% (E25), 30% (E30), 35% (E35), 40% (E40) y 45% (E45) de proteína cruda. La formulación, los ingredientes a utilizar, así como la elaboración del alimento fue la misma que la descrita en el Experimento 1.

Composición corporal

Al terminar la etapa de engorda se sacrificaron 24 peces por tratamiento en agua con hielo, de los cuales 15 se filetearon y nueve se destinaron para la determinación de la composición química proximal. Al igual que en el Experimento 1 se llevaron a cabo los análisis químico proximales iniciales utilizando una muestra de peces del mismo lote.

4.4. Manejo de los organismos experimentales

En ambos experimentos los peces se alimentaron de forma restringida. Se proporcionó alimento correspondiente al 6% de la biomasa en tres tomas al día: 8:00, 12:00 y 16:00.³ Se llevó a cabo un registro diario del alimento consumido y se obtuvo el peso total de la biomasa al inicio del ensayo y posteriormente cada siete días en el Experimento 1 y cada 14 días en el Experimento 2 (por la mañana) para ajustar la tasa de alimentación y para observar el incremento de peso de los organismos alimentados con los seis niveles de proteína, el cual se graficó utilizando una hoja de cálculo de Excel 2003. Finalmente se contaron los animales diariamente para calcular la supervivencia.

4.5. Calidad del agua

En ambos experimentos se determinaron las variables físico-químicas del agua, mediante la metodología que se presenta en el Cuadro 3, a fin de mantener las condiciones apropiadas para el desarrollo óptimo de las tilapias.^{5,28}

Cuadro 3. Variable, frecuencia, instrumento y/o método con que se llevó a cabo la medición de parámetros fisicoquímicos del agua

Variable	Frecuencia	Método y/o instrumento
Temperatura (°C)	Diario	Termómetro digital (YSI 550A)
Oxígeno disuelto (mg/l)	Diario	Oxímetro digital portátil (YSI 550A)
Amonio NH ₄ (mg/l)	Semanal	Autoanalizador (Technicon AAII system)
Nitritos NO ₂ (mg/l)	Semanal	Autoanalizador (Technicon AAII system)
Nitratos NO ₃ (mg/l)	Semanal	Autoanalizador (Technicon AAII system)
pH	Semanal	Potenciómetro (Corning ScHolar 425)

4.6. Métodos analíticos

Se realizó por triplicado, una evaluación químico proximal de las materias primas, de los alimentos formulados, de los peces completos al inicio y al finalizar los Experimentos 1 y 2, mediante técnicas estándar establecidas por la AOAC.⁸⁵ Humedad por deshidratación en una estufa para laboratorio a 105°C por 24 horas; proteína por el método de análisis elemental usando un autoanalizador Termo Quest AS 2000; extracto etéreo por el método Windee utilizando el aparato de Soxlet; y el contenido de ceniza mediante calcinación en una mufla a 450°C.

4.7. Parámetros de evaluación

Los resultados de los estudios se evaluaron en término del desempeño productivo y eficiencia de utilización del alimento empleando los siguientes modelos:⁸⁶

Supervivencia (%): Estima el porcentaje de peces que vivieron hasta el final del experimento

$$S = 100 (Nf / Ni)$$

Donde:

S = Supervivencia

Nf = Número de peces al final del experimento

Ni = Número de peces al inicio del experimento

100 = Constante para expresar el resultado en porcentaje

Ganancia diaria de peso (g / día): Indica el incremento de peso ganado en un día

$$GDP = (P_f - P_i) / \text{Tiempo (días)}$$

Donde:

GDP = Ganancia diaria de peso

Pf = Peso Final

Pi = Peso Inicial

Peso ganado porcentual (%): Indica el crecimiento absoluto

$$PG(\%) = 100 \frac{P_f - P_i}{P_i}$$

Donde:

PG(%) = Porcentaje de peso ganado

Pf = Peso final

Pi = Peso inicial

100 = Constante para expresar el resultado en porcentaje

Peso ganado individual (mg/día): Indica la velocidad de crecimiento por día

$$PGI(\text{mg} / \text{día}) = 1000 \left(\frac{\sum PGI \text{ semanal}}{\text{Tiempo}_{(\text{días})}} \right)$$

Donde:

PGI = Peso Ganado Individual

Σ PGI semanal = Sumatoria del peso ganado individual por semana

1000 = Constante para expresar el resultado en miligramos

Tasa específica de crecimiento (%/día): Medida de crecimiento instantáneo

$$TEC(\% / día) = 100 \left(\frac{(\ln P_f - \ln P_i)}{Tiempo_{(días)}} \right)$$

Donde:

TEC = Tasa específica de crecimiento

$\ln P_f$ = Logaritmo natural del peso final

$\ln P_i$ = Logaritmo natural del peso inicial

100 = Constante para expresar el valor en porcentaje

Alimento consumido individual (mg/día): Cantidad de alimento que consume cada pez en un día

$$ACI(mg / día) = 1000 \left(\frac{\sum ACI \text{ semanal}}{Tiempo_{(días)}} \right)$$

Donde:

ACI = Alimento consumido individual

Σ ACI semanal = Sumatoria del alimento consumido individual durante una semana

1000 = Constante para expresar el valor en miligramos

Tasa de conversión alimenticia: Indica el alimento utilizado para producir una unidad de peso de pez

$$TCA = \frac{ACI}{PGI}$$

Donde:

TCA = Tasa de conversión alimenticia

ACI = Alimento consumido individual

PGI = Peso ganado individual

Tasa de eficiencia proteica: Indica la ganancia de peso por unidad de proteína consumida

$$PER = \frac{PGI}{PC}$$

Donde:

PER = Tasa de eficiencia proteica

PGI = Peso ganado individual

PC = Proteína consumida

Retención de nitrógeno

Nitrógeno depositado en el cuerpo: Indica la cantidad de nitrógeno dietético que retiene el pez por día

$$RNC(mg / día) = ((P_f \times PC_f) - (P_i \times PC_i)) / 100 / tiempo_{(días)} / 6.25$$

Donde:

RNC = Nitrógeno depositado en el cuerpo

Pf = Peso final

PCf = Proteína cruda del cuerpo de los peces al final del experimento

Pi = Peso inicial

PCi = Proteína cruda del cuerpo de los peces al inicio del experimento

6.5 = Constante para calcular la cantidad de nitrógeno

Utilización aparente del nitrógeno (%): Medida indirecta del valor biológico de la proteína

$$UAN(\%) = 100 \left(\frac{RNC}{N \text{ consumido}} \right)$$

Donde:

UAN = Utilización aparente del nitrógeno

RNC = Nitrógeno retenido en el cuerpo

N consumido = Nitrógeno consumido

El requerimiento de proteína se calculó gráficamente utilizando una regresión cuadrática aplicada a los resultados de la Tasa Específica de Crecimiento, por ser el parámetro que dio el valor más elevado de R^2 . Una vez obtenida la curva se trazaron los niveles de confianza, se calculó la derivada de la curva para obtener el valor de proteína donde se registró el máximo crecimiento, posteriormente se trazó una línea paralela al eje de las "x" para obtener el rango de proteína mínimo que se sugiere sin comprometer el crecimiento.^{19, 66, 67}

Con los valores de peso promedio se graficaron las curvas de crecimiento de los híbridos de tilapia roja Pargo-UNAM durante las fases de cría y engorda alimentados con los niveles de proteína establecidos, utilizando una hoja de cálculo en Excel.

4.8. Diseño experimental y análisis estadísticos

Los experimentos se realizaron bajo un diseño totalmente aleatorizado con seis tratamientos y tres réplicas por tratamiento.

En ambos casos los resultados de los modelos se analizaron mediante ANDEVA (análisis de la varianza) modelo I de una vía⁸⁷ para seis tratamientos dados por las dietas C25, C30, C35, C40, C45 y C50 en el Experimento 1 y E20, E25, E30, E35, E40 y E45 en el Experimento 2, con un nivel de significancia del 95% se utilizó el paquete estadístico Infostat versión 1.1.⁸⁸ A las variables expresadas en porcentaje se les efectuó previamente una transformación arcoseno raíz cuadrada de la proporción de acuerdo a lo sugerido por Sokal y Rolf.⁸⁹

Los rasgos productivos se analizaron bajo el modelo:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Parámetro productivo observado en el tratamiento i en la unidad experimental j

μ = Media poblacional, un efecto común a todas las observaciones

t_i = Efecto del nivel de proteína i

E_{ij} = Efecto aleatorio del error de la unidad experimental j y del grupo genético i con distribución normal $(0, \sigma^2)$

Para identificar los tratamientos estadísticamente diferentes, estos se analizaron mediante la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey⁵² utilizando el paquete estadístico Infostat.^{87,88}

5. RESULTADOS

5.1. Experimento 1. Crianza

En el Cuadro 4 se muestran los promedios de las variables físico químicas del agua registrados durante la fase de crianza. Se observa que los organismos estuvieron en un ambiente confortable evitando afectar su desempeño.

Cuadro 4. Variables físico químicas del agua durante la fase de crianza de la tilapia sintética roja, el Pargo UNAM

Variable	Promedio \pm DE ¹	Máximo	Mínimo	Óptimo ^{68,69}
Temperatura (°C)	27.8 \pm 2.1	29.9	27.1	28-32
Oxígeno (mg/L)	7.58 \pm 1.4	8.47	6.39	> 6
NH ₄ (mg/L)	0.006 \pm 0.28	0.734	0.419	< 3
NO ₂ (mg/L)	0.034 \pm 0.031	0.416	0.288	< 1
NO ₃ (mg/L)	1.289 \pm 2.7	3.184	0.599	< 20
pH	7.12 \pm 0.5	7.50	7.37	6.5-9

¹Desviación estándar

En el Cuadro 5 se incluye la composición química proximal de las dietas utilizadas durante la crianza, donde se utilizaron seis niveles de inclusión de proteína.

Cuadro 5. Composición química proximal de dietas empleadas en la etapa de crianza de la tilapia sintética, el Pargo-UNAM

Composición (%)	Dieta					
	C25	C30	C35	C40	C45	C50
Humedad	2 \pm 0.02	4.54 \pm 0.15	4.54 \pm 0.09	4.50 \pm 0.15	3.72 \pm 0.04	3.01 \pm 0.06
Proteína Cruda	24.34 \pm 1.04	31.22 \pm 0.03	34.06 \pm 0.13	39.97 \pm 0.31	44.06 \pm 1.16	51.95 \pm 0.53
Extracto Etéreo	4.35 \pm 0.21	5.53 \pm 0.17	5.54 \pm 0.04	7.63 \pm 0.11	7.66 \pm 0.83	8.93 \pm 0.67
Ceniza	13.13 \pm 0.25	13.87 \pm 0.47	15.05 \pm 0.11	16.98 \pm 0.07	17.43 \pm 0.22	19.24 \pm 0.28
Fibra Cruda	2.11 \pm 0.04	2.71 \pm 0.45	2.54 \pm 0.28	2.55 \pm 0.01	2.57 \pm 0.02	3.50 \pm 0.07
¹ ELN	54.07 \pm 1.27	42.13 \pm 0.63	38.27 \pm 0.13	28.37 \pm 0.60	24.56 \pm 0.81	13.37 \pm 0.86

¹ELN = Extracto libre de nitrógeno (100-%humedad-%proteína-%grasa-%ceniza-%fibra)

Se muestran las medias \pm las desviaciones estándar

La Figura 7 describe el comportamiento del crecimiento de las crías de tilapia registrado durante siete semanas. Se observa que a medida que se incrementó el nivel de proteína en la dieta, aumentó el peso promedio. Es notorio que los peces alimentados con la dieta C25 sufrieron un retraso en su crecimiento, lo que sugiere que este nivel no cubre los requerimientos de los peces en estudio. Los mejores pesos se encontraron en los peces alimentados con la dieta C50.

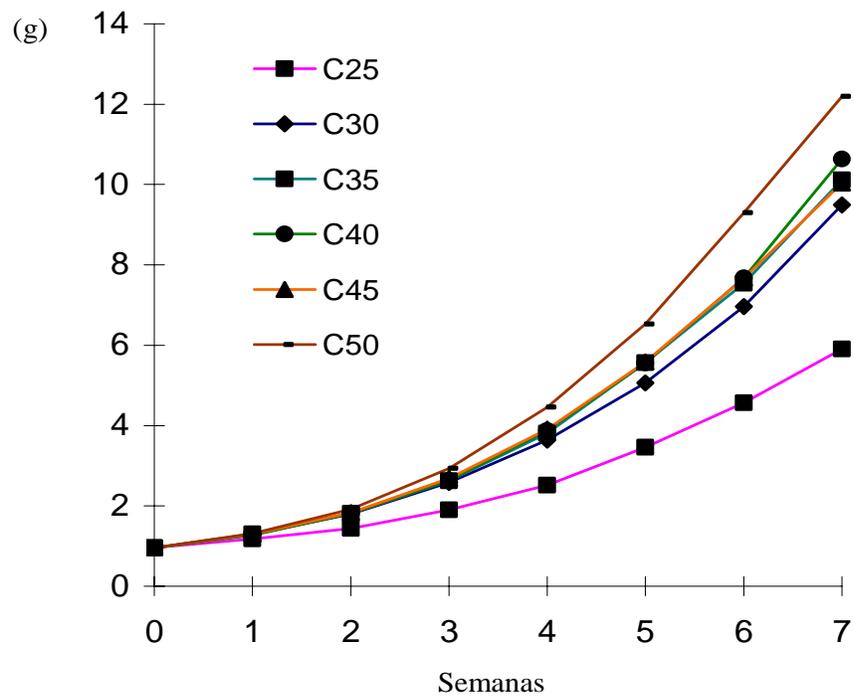


Figura 7. Incremento de peso de crías de la tilapia sintética roja, Pargo-UNAM alimentados con dietas con seis niveles de proteína durante la fase de crianza

En el Cuadro 6 se presentan las variables de crecimiento y de la eficiencia alimenticia del Pargo-UNAM en la crianza. Se observa que la supervivencia fue similar entre los tratamientos ($P>0.05$). Los valores de las variables que expresan el comportamiento del crecimiento son el peso final promedio (PFP), el peso ganado individual (PGI), el peso ganado en porcentaje (PGP) y la tasa específica de crecimiento (TEC), los cuales fueron significativamente más bajos en los peces que recibieron la dieta C25 ($P<0.05$) en comparación con los obtenidos con los demás tratamientos, los cuales fueron similares ($P>0.05$).

El consumo individual de alimento fue significativamente más bajo en los peces alimentados con la dieta C25 ($P<0.05$). No se encontraron diferencias significativas entre los demás tratamientos ($P>0.05$), a excepción de la dieta C50 que presentó el valor mayor ($P<0.05$), de la dieta C30 a la C45 se observa que el consumo de alimento es mayor conforme se incrementa el nivel de proteína, lo cual se asocia a que la tasa de alimentación se ajustó cada semana al 6%, lo que ocasionó que con mayor biomasa la cantidad de alimento ofrecido fuera superior.

No se observaron diferencias estadísticas entre los seis tratamientos en cuanto a la tasa de conversión alimenticia ($P>0.05$). El Consumo de Proteína y Consumo de Nitrógeno fueron diferentes entre los tratamientos, debido a la variación en el porcentaje de inclusión de la proteína ($P<0.05$).

En lo que respecta al nitrógeno retenido en el cuerpo, se observa que los peces alimentados con la dieta C25 presentaron un valor significativamente menor ($P<0.05$) en comparación con las otras cinco dietas.

Cuadro 6. Promedios de los rasgos productivos de los peces Pargo-UNAM alimentados con seis niveles de proteína durante la fase de crianza

Variable	Dieta						EE ¹³
	C25	C30	C35	C40	C45	C50	
Supervivencia (%)	96.67 ^a	100 ^a	100 ^a	96.67 ^a	90 ^a	96.67 ^a	1.81
PIP ¹ (mg)	960.00 ^a	957.67 ^a	953.33 ^a	954.00 ^a	956.33 ^a	957.33 ^a	0.94
PFP ² (g)	5.90 ^a	9.49 ^b	10.11 ^b	10.64 ^b	9.77 ^b	12.18 ^b	0.52
PGI ³ (g/día)	0.10 ^a	0.17 ^b	0.18 ^b	0.19 ^b	0.17 ^b	0.22 ^b	0.01
PG ⁴ (%)	515.34 ^a	891.07 ^b	961.19 ^b	1015.99 ^b	922.71 ^b	1172.43 ^b	54.80
TEC ⁵ (%/día)	3.71 ^a	4.67 ^b	4.82 ^b	4.92 ^b	4.70 ^b	5.18 ^b	0.12
ACI ⁶ mg/día	136.29 ^a	190.98 ^b	202.56 ^b	204.41 ^b	204.18 ^b	229.56 ^c	7.14
TCA ⁷ (%)	1.35 ^a	1.10 ^a	1.08 ^a	1.04 ^a	1.18 ^a	1.01 ^a	0.04
CP ⁸ mg/día	33.17 ^a	61.51 ^b	73.67 ^c	84.03 ^d	94.02 ^d	119.02 ^e	6.52
CN ⁹ mg/día	5.31 ^a	9.84 ^b	11.79 ^c	13.45 ^d	15.04 ^d	19.04 ^e	1.04
NR ¹⁰ mg/día	2.50 ^a	4.44 ^b	4.84 ^b	4.86 ^b	4.76 ^b	5.94 ^b	0.28
PER ¹¹	3.04 ^c	2.82 ^{bc}	2.54 ^{bc}	2.35 ^{ab}	1.90 ^a	1.92 ^a	0.11
UAN ¹² (%)	47.12 ^c	45.02 ^{bc}	41.02 ^{bc}	36.12 ^{ab}	31.44 ^a	31.15 ^a	1.65

Superíndices diferentes en el mismo renglón indican diferencias significativas (P<= 0.05)

¹PIP = Peso Inicial Promedio, ²PFP = Peso Final Promedio, ³PGI = Peso Ganado Individual, ⁴PG = Peso Ganado en Porcentaje, ⁵TEC = Tasa Específica de Crecimiento ⁶ACI = Alimento Consumido Individual, ⁷TCA = Tasa de Conversión Alimenticia, ⁸CP = Consumo de Proteína, ⁹CN = Consumo de Nitrógeno, ¹⁰NR = Nitrógeno Retenido, ¹¹PER = Tasa de Eficiencia Proteica, ¹²UAN = Utilización Aparente de Nitrógeno

¹³EE = Error estándar de la media, calculado a partir del CME del ANDEVA

Grados de libertad = 12

n = 18

Haciendo mención a la tasa de eficiencia proteica (PER), se observa que existen diferencias entre los diferentes tratamientos, los peces alimentados con las dietas C40, C45 y C50 presentaron valores inferiores en comparación con los peces alimentados con la dieta C25 (P<0.05), es notorio que a medida que incrementa el nivel de proteína en la dieta se reduce la utilización aparente de nitrógeno.

Finalmente en la utilización aparente de nitrógeno (UAN) se aprecia que cuando se eleva el nivel de proteína la UAN decrece, lo cual es posible que se deba al desperdicio de proteína. Se observa que la utilización aparente de nitrógeno fue menor en los peces alimentados con las dietas C40, C45 y C50 en comparación con la UAN obtenida en los peces alimentados con la dieta C25 ($P < 0.05$).

Los resultados de los análisis químicos proximales de los cuerpos completos de los peces se resumen en el Cuadro 7, donde se observa que el contenido de humedad fue mayor en el cuerpo de los peces alimentados con la dieta C40 y el menor contenido de humedad se registró en los peces alimentados con la dieta C25 ($P < 0.05$).

Se observa que la proporción de proteína corporal de los peces alimentados con las dietas C25 y C40 fue menor comparada con los alimentados con las dietas C30, C35, C45 y C50 ($P < 0.05$).

En cuanto al contenido de lípidos, se puede observar que fue diferente en cada una de las dietas ($P < 0.05$), el valor mayor se observó en los peces alimentados con la dieta C25 y el menor en los peces alimentados con la dieta C40.

Finalmente en lo que respecta al contenido de cenizas, se observa que hubo diferencias entre los tratamientos, se identificó que las proporciones de cenizas fueron menores en los peces alimentados con las dietas C25 y C30 en comparación con las dietas C40, C45 y C50 ($P < 0.05$).

Cuadro 7. Composición química de las crías del híbrido de tilapia roja el Pargo-UNAM

Composición (%)	Inicial	Dieta					EE	
		C25	C30	C35	C40	C45		C50
Humedad	79.98 ± 0.44	73.23 ^a	74.28 ^{ab}	75.27 ^{ab}	76.52 ^b	74.97 ^{ab}	75.65 ^{ab}	0.0032
Proteína Cruda	12.69 ± 0.39	15.02 ^a	15.61 ^b	15.84 ^{bc}	15.13 ^a	16.14 ^c	15.93 ^{bc}	0.001
Extracto Etéreo	2.40 ± 0.03	8.27 ^f	6.41 ^d	4.87 ^c	3.47 ^a	4.37 ^b	6.83 ^e	0.04
Cenizas	3.72 ± 0.01	3.81 ^a	3.79 ^a	4.07 ^{ab}	4.34 ^{bc}	4.53 ^c	4.25 ^{bc}	0.01

Superíndices diferentes en el mismo renglón indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$)

EE = Error estándar de la media, calculado a partir del CME del ANOVA

Grados de libertad = 12

n = 18

Se realizaron análisis de regresión cuadrática con los diferentes parámetros de crecimiento, observándose que la TEC fue la que tuvo el mayor valor de R^2 , por lo que se utilizó para estimar el requerimiento de proteína, el cual se muestra en la Figura 8, donde se estima que el nivel proteico para máximo crecimiento fue de 43.76%, mientras que 34% y 37% fueron los niveles de proteína que pueden ser utilizados sin comprometer el crecimiento de los peces.

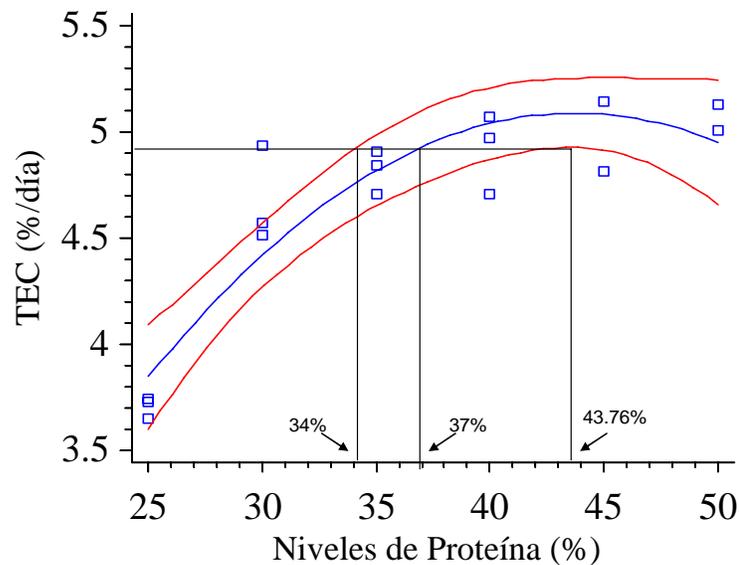


Figura 8. Requerimiento óptimo de proteína dietética en la fase de Crianza (TEC = $-1.67209 + 0.30900013 * \% \text{ proteína} - 0.00353074 * \% \text{ proteína}^2$. $R^2 = 0.8413$. Error Estándar de la Estimación = 0.21521)

5.2. Experimento 2. Engorda

En el Cuadro 8 se presentan los promedios de las condiciones físico químicas del agua durante las 12 semanas de experimentación, donde se observa que los peces estuvieron en condiciones óptimas para su cultivo.

Cuadro 8. Promedios de las variables físico químicas medidas durante la fase de engorda

Variable	Promedio \pm DE	Máximo	Mínimo	Óptimo ^{68,69}
Temperatura °C	25.8 \pm 2.4	27.8	23.1	28-32
Oxígeno mg/L	7.83 \pm 0.67	9.47	6.45	> 6
NH ₄ mg/L	0.148 \pm 0.08	0.005	0.846	< 3
NO ₂ mg/L	0.506 \pm 0.11	0.323	0.851	< 1
NO ₃ mg/L	5.004 \pm 0.27	2.669	7.188	< 20
pH	6.8 \pm 0.29	7.0	6.3	6.5-9

Al mismo tiempo que se llevó a cabo la aclimatación de los peces al sistema y al manejo se elaboraron las seis dietas y posteriormente se analizó su composición química que se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Composición química proximal de las dietas para Pargo-UNAM en la etapa de engorda

Composición (%)	Dieta					
	E20	E25	E30	E35	E40	E45
Humedad	5.81 \pm 0.08	8.11 \pm 0.33	5.19 \pm 0.11	5.18 \pm 0.06	5.91 \pm 0.05	5.48 \pm 0.04
Proteína Cruda	18.22 \pm 0.27	23.08 \pm 0.44	30.90 \pm 0.35	35.82 \pm 0.33	39.72 \pm 0.35	45.01 \pm 0.32
Extracto Etéreo	10.77 \pm 0.06	10.65 \pm 0.03	11.00 \pm 0.04	10.48 \pm 0.06	9.21 \pm 0.07	9.93 \pm 0.03
Cenizas	6.83 \pm 0.05	8.24 \pm 0.02	11.17 \pm 0.02	12.60 \pm 0.02	12.31 \pm 0.06	14.50 \pm 0.11
Fibra Cruda	2.40 \pm 0.24	3.09 \pm 0.13	2.93 \pm 0.01	2.29 \pm 0.53	2.25 \pm 0.01	2.88 \pm 0.03
¹ ELN	55.97 \pm 0.21	46.83 \pm 0.61	38.81 \pm 0.52	33.63 \pm 0.63	30.60 \pm 0.30	22.20 \pm 0.48

¹ELN = Extracto libre de nitrógeno (100-%humedad-%proteína-%extracto etéreo-%ceniza-%fibra)

En la Figura 9 se representa el crecimiento promedio de los peces sometidos a diferentes niveles de inclusión de proteína durante la fase de engorda. Hasta el tiempo dos se observa que a medida que aumentó el contenido de proteína en la dieta incrementó el peso; a partir del pesaje tres ocurrió una desaceleración en la tasa de crecimiento de los peces alimentados con un exceso o deficiencia de proteína, y la mejor respuesta se observa con la dieta con 35% del nutriente.

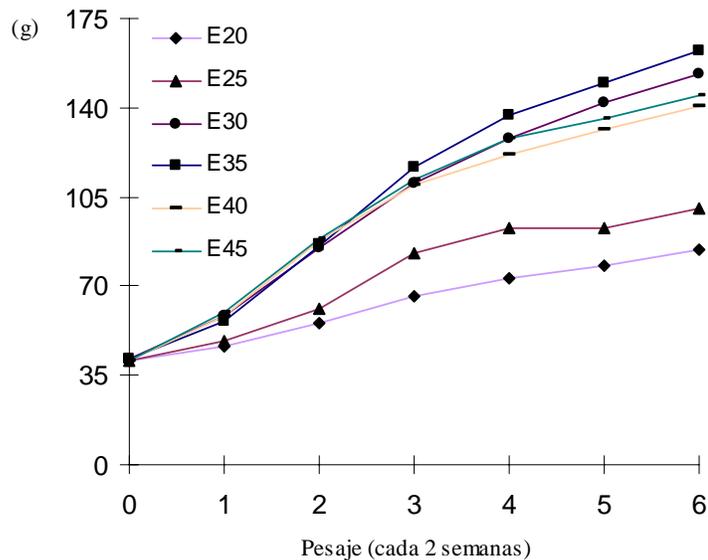


Figura 9. Incremento de peso del híbrido de tilapia roja Pargo-UNAM alimentados con seis niveles de proteína durante la fase de Engorda

En el Cuadro 10 se muestran los resultados obtenidos durante la fase de engorda. Los valores de Supervivencia cercanos al 100% no fueron afectados por las dietas elaboradas con diferentes niveles de proteína, el peso final promedio (PFP), el peso ganado individual (PGI), el peso ganado en porcentaje (PGP) y la tasa específica de crecimiento (TEC) fueron más bajos en los peces alimentados con las dietas E20 y E25 en comparación con en el resto de los tratamientos ($P < 0.05$), lo que indica que menos del 30% de proteína no cubre las demandas de los peces.

De la misma manera el alimento consumido individual (ACI) fue más bajo en los peces que recibieron las dietas E20 y E25 ($P < 0.05$), mientras que en las otras cuatro dietas no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$). La tasa de conversión alimenticia (TCA) más favorable se encontró al alimentar los peces con la dieta E35. Se puede apreciar que esta tasa se incrementa cuando el aporte de proteína es deficiente o excesivo.

Cuadro 10. Promedios de los rasgos productivos de los peces Pargo-UNAM alimentados con seis niveles de proteína durante la fase de engorda

Variable	Dieta						
	E20	E25	E30	E35	E40	E45	EE ¹⁴
Supervivencia (%)	100.0 ^a	100.0 ^a	96.67 ^a	100.0 ^a	100.0 ^a	100.0 ^a	0.56
PIP ¹ (g)	40.98 ^a	40.93 ^a	41.17 ^a	41.26 ^a	40.75 ^a	40.84 ^a	81.89
PFP ² (g)	84.18 ^a	100.40 ^a	152.86 ^b	162.43 ^b	140.85 ^b	144.46 ^b	7.38
PGI ³ (mg/día)	514.37 ^a	708.06 ^a	1329.64 ^b	1442.58 ^b	1191.63 ^b	1233.53 ^b	87.84
PG ⁴ (%)	105.36 ^a	145.68 ^a	271.38 ^b	293.79 ^b	245.66 ^b	253.72 ^b	17.97
ACI ⁵ (g/día)	1.744 ^a	1.941 ^a	2.570 ^b	2.626 ^b	2.540 ^b	2.596 ^b	87.56
TEC ⁶ (%/día)	0.86 ^a	1.05 ^a	1.56 ^b	1.63 ^b	1.47 ^b	1.50 ^b	0.07
TCA ⁷ (%)	3.42 ^c	2.94 ^{bc}	1.94 ^{ab}	1.84 ^a	2.14 ^{ab}	2.12 ^{ab}	0.16
CP ⁸ (mg/día)	317.83 ^a	448.08 ^b	794.13 ^c	940.76 ^d	1008.96 ^e	1168.50 ^f	73.85
CN ⁹ (mg/día)	50.85 ^a	71.69 ^b	127.06 ^c	150.52 ^d	161.43 ^e	186.96 ^f	11.82
NR ¹⁰ (mg/día)	12.33 ^a	17.19 ^{ab}	33.97 ^c	36.58 ^c	27.01 ^{bc}	29.38 ^c	2.26
PER ¹¹	1.62 ^{ab}	1.56 ^{ab}	1.67 ^b	1.53 ^{ab}	1.18 ^{ab}	1.05 ^a	0.017
UAN ¹² (%)	24.21 ^{ab}	23.62 ^{ab}	26.75 ^b	24.26 ^{ab}	16.71 ^a	15.68 ^a	1.23
RF ¹³ (%)	27.92 ^a	29.54 ^{ab}	30.91 ^b	31.05 ^b	30.49 ^b	31.29 ^b	0.27

Superíndices diferentes indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$)

¹PIP = Peso Inicial Promedio, ²PFP = Peso Final Promedio, ³PGI = Peso Ganado Individual, ⁴PG = Peso Ganado en Porcentaje,

⁵ACI = Alimento Consumido Individual, ⁶TEC = Tasa Específica de Crecimiento, ⁷TCA = Tasa de Conversión Alimenticia, ⁸CP

= Consumo de Proteína, ⁹CN = Consumo de Nitrógeno, ¹⁰NR = Nitrógeno Retenido, ¹¹PER = Tasa de Eficiencia Proteica,

¹²UAN = Utilización Aparente de Nitrógeno, ¹³RF = Rendimiento del Filete

¹⁴EE = Error estándar de la media, calculado a partir del CME del ADEVA

Grados de libertad = 12

n = 18

En el mismo cuadro se observa que el consumo de proteína (CP) y el de nitrógeno (CN) fueron significativamente diferentes entre los tratamientos debido a los niveles de inclusión de proteína en las dietas ($P < 0.05$).

La retención de nitrógeno corporal (RN) fue más baja en los peces alimentados con las dietas E20 y E25 ($P < 0.05$), mientras que los tratamientos E30 y E35 dieron los mejores resultados con niveles más elevados que en los demás tratamientos, observándose una caída significativa al incrementar la proteína dietética por arriba de 35%.

La tasa de eficiencia proteica (PER) fue más baja en los peces alimentados con la dieta C45, mientras que con la dieta E30 la tasa observada fue mayor ($P < 0.05$).

La utilización aparente de nitrógeno (UAN) fue mayor en los peces alimentados con la dieta E30, el valor menor se observó en los peces alimentados con la dieta E40 ($P < 0.05$).

Los peces alimentados con la dieta E20 fueron los que presentaron el rendimiento de filete menor ($P < 0.05$).

La composición química proximal corporal de los peces se resume en el Cuadro 11, se observa que todos los tratamientos fueron similares en cuanto al contenido de humedad y proteína ($P > 0.05$), mientras que los lípidos presentaron un comportamiento claro con un decremento significativo a medida que se eleva el nivel de proteína dietético ($P < 0.05$). Por otra parte, el contenido de cenizas fue menor en los peces alimentados con la dieta E40 ($P < 0.05$), aún cuando las diferencias entre los tratamientos E20, E25, E30, E35 y E45 no son significativas ($P > 0.05$); los valores mayores se observan en los peces alimentados con las dietas E30 y E45.

Cuadro 11. Composición química de los peces del híbrido de tilapia roja el Pargo-UNAM al finalizar la etapa de Engorda

Composición (%)	Dieta							
	Inicial	E20	E25	E30	E35	E40	E45	EE
Humedad	75.72 ± 0.84	69.45 ^a	69.66 ^a	71.20 ^a	71.41 ^a	73.64 ^a	72.46 ^a	0.50
Proteína Cruda	15.96 ± 0.72	16.42 ^a	16.30 ^a	16.50 ^a	16.38 ^a	15.26 ^a	15.75 ^a	0.18
Extracto Etéreo	12.01 ± 0.12	10.57 ^d	10.76 ^d	8.09 ^c	7.61 ^b	7.51 ^b	6.86 ^a	0.37
Cenizas	4.55 ± 0.001	4.37 ^{ab}	4.34 ^{ab}	4.45 ^b	4.15 ^{ab}	3.82 ^a	4.48 ^b	0.07

Superíndices diferentes indican diferencias significativas (P< 0.05)

Para determinar el nivel óptimo de proteína en la dieta del “Pargo-UNAM” se realizaron análisis de regresión cuadrática con las variables relacionadas con el crecimiento. Se utilizó a la tasa específica de crecimiento porque fue la que dio la mayor R², la Figura 10 esquematiza que el nivel donde se logró el mayor crecimiento fue de 37%. Sin embargo, se puede aportar alimento con un nivel de proteína entre 29% y 31.5% sin comprometer el crecimiento de los peces durante esta fase.

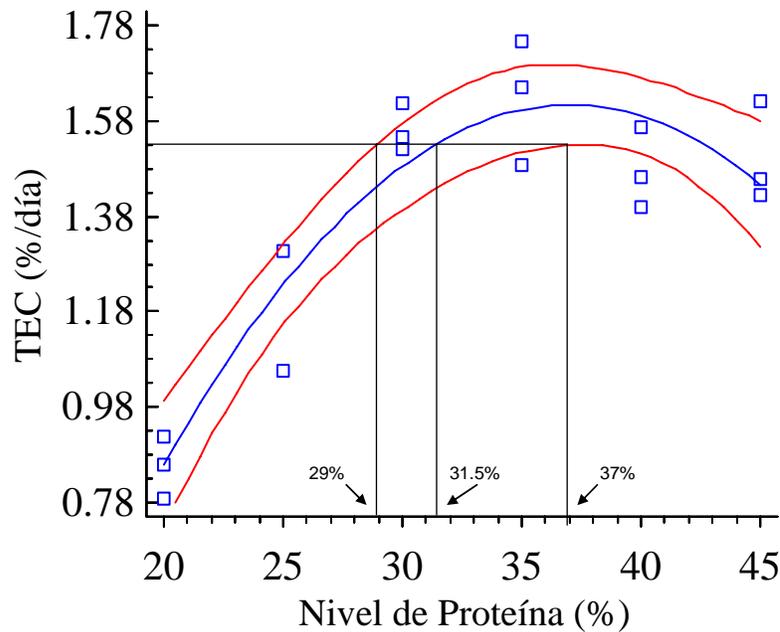


Figura 10. Requerimiento óptimo de proteína dietética en la etapa de Engorda (TEC = -1.95557 + 0.192814*% de proteína-0.00260456*% de proteína². R² = 0.8617. Error Estándar de la Estimación = 0.1164)

6. DISCUSIÓN

6.1 Supervivencia

La supervivencia del Pargo-UNAM en el presente estudio fue alta, tanto en la fase de crianza como en la de engorda. Los valores obtenidos se aproximaron al 100%. En otros estudios con este pez, también se han asociado supervivencias elevadas, cercanas al 80% cuando se han empleado alimentos comerciales con niveles de proteína similares a las de esta investigación.^{34,36,38} De igual forma, al compararlos con otros grupos genéticos de tilapia y alimentarlos con dietas comerciales con niveles de proteína parecidos, la supervivencia del Pargo UNAM, ha sido alta.³⁶ La alta supervivencia que se presentó con todos los niveles de proteína empleados, significa que el Pargo-UNAM, puede ser alimentado con dietas desde 25% hasta 50% de proteína en la fase de cría y de 20% al 45% en la de engorda respectivamente, sin influir negativamente en su supervivencia. Esto independientemente de que se vea modificado su crecimiento y productividad.

6.2 Crecimiento

Durante la fase de Crianza el crecimiento aumentó progresivamente al incrementar el nivel de proteína dietética de 25% a 50%. A partir de la segunda semana, los peces alimentados con la dieta C25 presentaron un retraso en su crecimiento, lo que sugiere que las dietas con 25% de proteína o menos no cubren los requerimientos de las crías de Pargo-UNAM. Al Hafedh (1999)⁶⁹ y Zeilton *et al.* (1976)⁵⁷ concuerdan con el presente estudio, en sus trabajos con *tilapia nilótica* que el nivel de proteína está relacionado directamente con el crecimiento.

En la fase de engorda se observó un incremento de peso con el aumento del nivel de proteína durante las primeras mediciones. Sin embargo, conforme pasó el tiempo, el crecimiento de los organismos alimentados con dietas con elevado contenido de proteína exhibió una desaceleración en comparación con los peces alimentados con dietas próximas al de 30%, lo que indica un desperdicio del nutriente, pues se ha demostrado que con niveles elevados de proteína el organismo

en lugar de utilizarla para la síntesis de tejido tiene que eliminar el exceso, lo que le demanda mayor cantidad de energía,⁸⁶ lo cual ocasiona que una porción importante de este nutriente no se aproveche para la síntesis de tejido, cabe recordar que los peces utilizan la proteína en primera instancia para cubrir sus necesidades fisiológicas de mantenimiento y posteriormente para crecimiento.⁴² Este comportamiento fue también observado por De Silva y Perera (1985),⁶¹ ya que cuando disminuyeron el nivel de proteína de 35% a 30% la tasa de crecimiento aumentó, sin embargo niveles por debajo del 20% ocasionaron tasas de crecimiento bajas. Jauncey y Ross(1982)¹² expresaron que en los juveniles de *tilapia mosambica* una vez que recibían el nivel óptimo de proteína el crecimiento ya no podía superarse, observaciones que son similares a las de Santiago *et al.* (1982),⁹⁰ quienes trabajaron con juveniles de *tilapia nilótica*. La importancia de determinar el requerimiento de proteína del Pargo-UNAM radica en optimizar las prácticas de nutrición y alimentación, evitando un déficit o un exceso del nutriente en la dieta y aprovechar al máximo el potencial de este nuevo grupo genético logrando producciones más rentables.

Con la rápida diseminación del cultivo de tilapia surge la necesidad de establecer estrategias de alimentación para optimizar la producción de éste pez, como en el caso de la trucha y el salmón que son especies que han sido más estudiadas, en cuyo cultivo se emplean alimentos balanceados acordes con la etapa del ciclo productivo, pudiendo constituir hasta 9 etapas diferentes, basándose en formulaciones diferentes y en tamaños de *pellets* crecientes de manera gradual.⁹¹

En la fase de Crianza del pargo-UNAM, no se observaron diferencias en cuanto al PFP, PGI, PG y TEC al alimentar los peces con las dietas C30, C35, C40, C45 y C50. En cambio los peces alimentados con la dieta C25 registraron los valores de crecimiento menores, por lo que se infiere que una dieta para cría de Pargo-UNAM debe tener más del 25% de proteína dietética para que exprese su potencial en términos de crecimiento. En otros estudios, el Pargo-UNAM ha mostrado una mayor ganancia de peso en porcentaje en comparación con el que se observó en este estudio,^{32,36} esto posiblemente fue debido a que el peso inicial fue menor, a la duración de experimento, así como al régimen de alimentación. Un aspecto que hay que resaltar, es que al no haber diferencias entre los peces alimentados con niveles de

proteína entre 30% y 50% en las variables antes mencionadas, se tiene que encontrar un nivel en donde no se comprometa el crecimiento y que el precio de la dieta no afecte los costos de producción, recordando que la proteína es el nutriente de mayor costo.

Al finalizar la Fase de Engorda, se observó los PFP, PGI, PG y TEC, los valores más bajos se registraron en los peces alimentados con las dietas con E20 y E25, por lo que se considera que estos organismos requieren en su dieta más de 25% de proteína. Otros estudios en lo que se ha alimentado al Pargo-UNAM con dietas comerciales informaron de valores cercanos a los encontrados en este estudio.^{32,37}

6.3 Conversión alimenticia

Las TCA en la fase de Crianza no fueron diferentes entre los tratamientos encontrándose entre 1.01 y 1.35 coincidiendo con el valor encontrado por Ramírez (2009)³² en la etapa de Crianza 1 y Preengorda. Valores menores fueron encontrados por Morales (2005)³⁴ y por Salazar (2008)³⁶ donde el híbrido en estudio presentó una TCA de 0.67 y 0.77 respectivamente al proporcionarle alimento comercial a saciedad con 45% de proteína. Con los datos aportados por los estudios antes mencionados se observa que el Pargo-UNAM es altamente eficiente para la conversión del alimento, por lo que su cultivo es recomendable para aquellas personas que deseen cultivar tilapias de color rojo con un alto potencial productivo.

En la fase de engorda las TCA se encontraron entre 1.84 y 3.42 se incrementaron al aportar dietas con niveles elevados y deficientes de proteína. Los datos encontrados son mayores a los que registró Salazar (2008),³⁶ debido tal vez a las temperaturas bajas presentadas durante las últimas semanas de duración del experimento, ya que a temperaturas bajas el consumo de alimento disminuye y el crecimiento se ve afectado. Cabe mencionar que las mejores conversiones alimenticias se observaron en un nivel entre 30% y 35%. Esto ocurre debido a que al aportar dietas con bajo contenido de proteína, el organismo consume mayor cantidad de alimento, para tratar de compensar el déficit de proteína de la dieta incrementando

la TCA. Si ocurre lo contrario, es decir que haya un exceso del nutriente se va a estar desperdiciando la proteína al eliminar el excedente del organismo, en ambos casos se ve afectado el crecimiento y por ende la rentabilidad del cultivo.

6.4 Eficiencia proteica y utilización aparente de nitrógeno

En ambos experimentos se observó que a medida que se incrementó el nivel de proteína en la dieta disminuyeron tanto la PER como la UAN, lo que se explica porque al haber una menor disponibilidad de proteína, el animal tiende a aprovechar al máximo el nutriente para tratar de cubrir sus necesidades. Sin embargo, cuando la disponibilidad de la proteína supera el requerimiento se ocasiona un desperdicio, lo cual coincide con lo observado por De Silva *et al.* (1989)⁴⁵ y Jauncey y Ross(1982)¹² con tilapia, Ogino y Saito(1970)⁹² con la carpa común y Mazid *et al.* (1979)⁹³ con la *T. zilli*. Adicionalmente, hay que tomar en cuenta que la tasa de eficiencia proteica se puede afectar por otros factores. Por ejemplo Al Hafedh (1999)⁶⁹ indica que disminuye cuando incrementa la edad del pez coincidiendo con Jauncey y Ross (1982)¹² y De Silva (1989),⁴⁵ ya que conforme crece el animal se reduce su tasa de crecimiento y con ello la eficiencia de utilización del nutriente asociado al peso corporal, por lo que es indispensable conocer los requerimientos nutricionales durante las diferentes etapas y establecer el manejo de la alimentación y de esta manera optimizar el cultivo.

En la fase de crianza, el nitrógeno retenido en los peces alimentados con la dieta C25 fue diferente al resto, aún cuando se observa que aumenta con el incremento del nivel de proteína, lo cual fue contrario a lo expresado por Xie *et al.* (1998),⁶⁸ quienes afirman que la retención de proteína fue mayor cuando las dietas contenían niveles bajos de proteína, pero explica que esta respuesta se debió, a que buena parte de la proteína adicional provenía de la producción natural en el estanque. En el Experimento 2 los valores mas favorables de NR se observan en la parte central de los niveles establecidos, ya que al aportar dietas deficientes o con exceso de proteína los valores de esta variable disminuyen.

6.5 Requerimiento de proteína

El nivel de proteína dietético requerido para un óptimo crecimiento en las diferentes especies de tilapias ha sido determinado por diversos autores. La información se presenta resumida en el Cuadro 1, donde se observan valores entre 20% y 56%. Esta variación se debe a múltiples factores, tales como la edad, sexo, especie y capacidad genética del pez. Así como a factores ambientales y especialmente las condiciones experimentales bajo las que se calculó el requerimiento.

En el presente trabajo el nivel proteico calculado para el máximo crecimiento de las crías fue de 43.76%. Sin embargo, al aportar alimento con proteína entre 34% y 37% no se compromete el crecimiento. En el Experimento 2 el nivel donde se logró el máximo crecimiento fue de 37.71%, aunque con dietas entre 28% y 31% de proteína no se afecta sacrifica el crecimiento, bajo las condiciones experimentales anteriormente descritas. Valores menores a los encontrados en este estudio fueron propuestos por De Silva y Perera (1985)⁶¹ trabajando con crías de *Tilapia nilótica* en cuatro niveles de salinidad, obteniendo el mayor crecimiento con dietas de 28% a 30%, lo que se atribuye a que las dietas tenían un elevado contenido de lípidos favoreciendo el ahorro de proteína. Además hay que considerar en ese estudio que al ser la tilapia un pez que puede vivir en aguas salinas, al mantenerse en agua salobre se reducen sus necesidades energéticas para osmoregulación, lo cual favorece el uso de la proteína para crecimiento (Suresh y Lin 1992,⁹⁴ Boeuf y Payan 2001,⁹⁵ Kamal y Mair 2005⁹⁶). Según Abdel y El-Sayed (2006)⁹⁷ la *tilapia* requiere menor cantidad de proteína en ambientes con un nivel óptimo de salinidad para el proceso osmorregulatorio, debido a que se alcanza un punto isosmótico disminuyendo el gasto energético.

Los requerimientos de proteína durante la fase de engorda fueron muy parecidos a los que expusieron Cruz y Laudencia (1977)⁵¹ para la *tilapia mosambica*, ya que ellos obtuvieron las mejores ganancias de peso con dietas entre 30% y 35% de proteína. Tomando en cuenta que en la actualidad los alimentos comerciales para crías de tilapia están formulados con un contenido de proteína de alrededor de 40-50% y con 35% para engorda, es evidente que al alimentar al Pargo-UNAM con los

alimentos comerciales se estaría generando un desperdicio de proteína, ya que ambos valores superan los requerimientos del híbrido, lo cual ocasionaría un incremento en los costos de producción, disminuyendo la rentabilidad del cultivo, por lo que es importante conocer los requerimientos nutricionales en las diferentes fases del cultivo y aprovechar las características productivas de la línea genética propuesta.

Existen estudios que han identificado diversos factores que influyen en el requerimiento de proteína. De acuerdo con Xie *et al.* (1998)⁶⁸ el nivel óptimo de proteína en jaulas en cultivo semi-intensivo se encontró entre 15.8% y 25.5% en la fase de engorda, este requerimiento es mas bajo que el determinado en el laboratorio (30%-35%) debido a que los peces aprovechan la producción primaria del estanque y completan sus necesidades con la dieta balanceada, coincidiendo con Wannigama *et al.* (1985)⁶² quienes indican que el nivel óptimo se encuentra entre 19% y 29%.

Wilson y Halver (1986)⁴⁸ señalan que el requerimiento de proteína disminuye con el aumento de la talla y edad del pez. En este sentido Ballarin y Haller (1982)⁵⁹ llegaron a una conclusión general en el sentido de que las crías de tilapia debían ser alimentadas con dietas con 25% a 50% dependiendo el peso. Un dato parecido reveló El Sayed y Teshima (1991)⁹⁸ quienes indican que crías de tilapia de menos de 1g deben se alimentadas con dietas entre 35%-56% de proteína. Los rangos que se manejan son mas estrechos para el Pargo UNAM, ya que en este estudio se recomienda alimentar a las crías de esta tilapia con dietas conteniendo 34% a 43.76% de proteína y disminuir el nivel del nutriente en la fase de engorda dentro de un rango de 29% a 37%, debido a que niveles más bajos o más elevados disminuyen la velocidad de crecimiento.

Al Hafedh (1999)⁶⁹ indica que el nivel óptimo de proteína dietética resulta en un máximo crecimiento, por ejemplo De Silva *et al.* (1989)⁴⁵ encontraron el mayor crecimiento con 34% a 36%. Un rango más amplio fue el sugerido por Wee y Tuan (1988)⁶⁴ quienes observaron un incremento progresivo en el crecimiento cuando se elevó el nivel de proteína de 20% a 50%, siendo significativamente menor únicamente en los peces alimentados con 20%.

En lo que respecta al requerimiento de los adultos de tilapias rojas, Chang *et al.* (1988)⁷⁰ observaron un mejor crecimiento en los peces alimentados con niveles superiores a 44%, comparados con los peces alimentados con dietas entre 21% y 27%.

En un rango de 34% a 37% de proteína dietética para las crías y de 28% a 31% para los peces de la fase de engorda se puede lograr buenos resultados sin comprometer al crecimiento de acuerdo a lo descrito por De Silva *et al.* (1989),⁴⁵ quienes determinaron el requerimiento de proteína al menor costo para juveniles de *tilapia nilótica* en relación con el crecimiento y recomendaron dietas de 25% a 28% para la fase de engorda, esto debido a que el requerimiento en el campo es menor ya que se aprovecha la producción primaria del estanque. Al Hafedh (1999)⁶⁹ recomienda dar dietas con 40% a los juveniles de *tilapia nilótica* y 30% a los adultos, es evidente que éstos valores son superiores a lo que se observaron en este estudio, se sugiere la elaboración de alimentos con niveles específicos de proteína para los diferentes grupos genéticos de *tilapias* y de esta manera aprovechar al máximo su potencial.

6.6 Composición química corporal

Se observaron diferencias en la composición química corporal de los peces alimentados con diferentes niveles de proteína durante las fases de crianza y engorda, lo que indica que el nivel de proteína dietética no solo influye en la velocidad de crecimiento de los organismos si no también en su composición química.

6.6.1 Humedad

El cuerpo de los peces contiene aproximadamente 75% de agua.⁴¹ En la composición química corporal de las crías se identificaron diferencias en cuanto al contenido de humedad entre las dietas C25 (73.23%) y C40 (76.52%), en las que se observa que el contenido de humedad está inversamente relacionado con el contenido

de lípidos, siendo los peces alimentados con la dieta C25 los que presentaron la mayor proporción de lípidos en su cuerpo (8.27%) y los que presentaron la menor fueron los alimentados con la dieta C40 (3.47%). Cabe mencionar que no se observó un patrón para afirmar que el contenido de humedad está relacionado con el nivel de proteína coincidiendo con Anderson (1981),⁹⁹ Wang *et al.* (1985)⁶⁰ y Papoutsoglou y Alexis (1986).¹⁰⁰

En los adultos no hubo diferencias en cuanto al contenido de humedad entre los seis tratamientos (69.45%-73.64%). Sin embargo, estos valores fueron inferiores a los que observó Rubio (2007)⁴¹ en los filetes del mismo grupo genético alimentados con alimento comercial, esto se debió a que en el presente estudio, se realizó el análisis químico proximal del cuerpo completo de los peces y no solo del filete. Los datos obtenidos no coinciden con Xie *et al.* (1998),⁶⁸ quienes indican que conforme disminuyeron el nivel de proteína en la dieta, fue mayor la cantidad de humedad en la composición corporal de los peces, concordando con Millikin (1982),¹⁰¹ Jauncey y Ross (1982)¹² y Wee y Tacon (1982)¹⁰² quienes afirmaron que la materia seca incrementa con el aumento del nivel de proteína. Esta variación puede deberse a la diferencia de peso de los peces, en virtud a que la humedad en un pez cultivado en condiciones apropiadas para la especie, disminuye al aumentar la edad o tamaño de acuerdo con Shearer (1994)⁴⁰ y Rasmussen (2001).³⁹

6.6.2 Proteína

Se observaron diferencias en cuanto al contenido de proteína corporal de las crías entre los tratamientos, siendo menores en los peces alimentados con las dietas C25 (15.02%) y C40 (15.13%). Sin embargo, no se observó el comportamiento descrito por: Jauncey y Ross (1982),¹² Wee y Tacon (1982),¹⁰² Wang *et al.* (1985)⁶⁰ y Al Hafedh (1999),⁶⁹ quienes encontraron que el contenido de proteína aumenta conforme se incrementa el nivel de proteína en la dieta. Por lo tanto, en la fase de crianza el nivel de proteína dietética, no influyó en la proporción del mismo nutriente en la composición química corporal de las crías del pez sintético Pargo-UNAM, por

lo que pueden ser alimentadas con dietas desde 25% hasta 50% de proteína sin afectar su composición química corporal, aunque si su crecimiento.

En la fase de engorda no se encontraron diferencias en la proporción de proteína del cuerpo de los peces del grupo genético Pargo-UNAM entre los diferentes tratamientos (15.26%-16.42%). Rubio (2007)⁴¹ informó un valor de 17.6% al analizar los filetes del mismo grupo genético, lo cual puede deberse a que en este estudio se analizó la composición química del cuerpo completo y no solo del filete, así como a la duración del ciclo de cultivo. Los datos encontrados en este estudio no coinciden con lo que describe Shearer (1994)⁴⁰ en un estudio con salmónidos, donde observó que el nivel de proteína corporal de estos peces aumenta cuando se incrementa el nivel de proteína en la dieta. Al Hafedh (1999)⁶⁹ encontró los mismo resultados pero en *O. niloticus*. El no encontrar diferencias entre los tratamientos es una ventaja para el Pargo-UNAM ya que puede ser alimentado con dietas desde 20% hasta 45% sin afectar su proporción de proteína corporal, independientemente del efecto que tenga sobre el crecimiento.

6.6.3 Lípidos

En cuanto a la proporción de lípidos corporales de las crías se observó que a medida que se incrementó el nivel de proteína de 25% a 40% los lípidos disminuyeron. Sin embargo, con dietas superiores a 40% la cantidad de grasa se incrementa. También se aprecia la relación inversamente proporcional de los lípidos con la humedad, ya que la menor proporción se registró en los peces alimentados con la dieta C40 (3.47%), mismos que tuvieron el porcentaje mayor de humedad, contrario a lo ocurrido con los peces de la dieta C25 (8.27%) quienes tuvieron la proporción mayor de extracto etéreo y el menor contenido de humedad. Se observa que con niveles muy bajos de proteína y con niveles elevados los peces se engrasan.

En la engorda se observó que los lípidos disminuyeron a medida que se incrementó el nivel de proteína dietético, esto mismo fue observado por Jauncey y Ross (1982),¹² Millikin (1982)¹⁰¹ y Al Hafedh (1999).⁶⁹ La relación inversa observada

entre el nivel de proteína dietética y la proporción de lípidos se debe a que el elevado contenido proteico de la dieta implica adicionalmente un considerable gasto energético, estimado entre el 5% y el 20% de la energía ingerida, a fin de satisfacer las necesidades asociadas con la hidrólisis de las proteínas y demás procesos relacionados con la digestión, evitando que haya acumulación de lípidos como reserva energética. Estos resultados significan que al aportar a los peces un nivel óptimo de proteína dietética se van a prevenir problemas de engrasamiento, lo cual es indeseable ya que se alteraría la palatabilidad del producto final.

6.6.4 Cenizas

En la composición corporal de las crías los valores más bajos de cenizas se observaron en las dietas C25 (3.81%), C30 (3.79%) y C35 (4.07%). En la fase de engorda la menor proporción de cenizas se observó en el cuerpo de los peces alimentados con la dieta E40 (3.82%), no se observa relación alguna entre el contenido de cenizas y el nivel de proteína en la dieta coincidiendo con lo observado por Viola *et al.* (1994)¹⁰³ quienes indicaron que el contenido de ceniza corporal fue similar al alimentar con tres niveles de proteína 25%, 30% y 35%. Algunos autores han encontrado proporciones de cenizas menores a los encontrados en este estudio, lo cual se atribuye a que realizaron el análisis químico solo del filete a diferencia de este estudio, en el que se analizó el cuerpo completo.⁴¹

6.7 Rendimiento de filete

El rendimiento de filete fue más bajo en los peces alimentados con las dietas E20 y E25, lo que indica que el nivel de proteína dietética afecta este parámetro, tomando en cuenta que para el caso de las tilapias se menciona que un rendimiento aceptable debe ser cercano al 30% y éste únicamente se logró alimentando con dietas con 30% de proteína o más. Peña (2009),³⁸ Ramírez (2009)³² y Salazar (2008)³⁶ obtuvieron valores superiores al 30%. Valores inferiores fueron reportados por Clement y Lovell (1994),¹⁰⁴ quienes obtuvieron un rendimiento de 25% en *tilapia*

nilótica. Sin embargo, Garduño (2003)²⁷ obtuvo valores superiores en *O. niloticus* rosa, tilapia roja de Florida y un híbrido rojo con 35.8%, 37.6% y 35.3% respectivamente. Los valores encontrados en éste estudio fueron menores siendo cercanos a 30% debido al peso al que se filetearon los animales. La importancia de determinar el requerimiento de proteína del Pargo-UNAM es para lograr mayores rendimientos productivos, lo anterior basándonos en que el nivel de proteína dietético influye en el rendimiento del filete.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los resultados de este estudio, se concluye lo siguiente:

1. El nivel de proteína en los niveles evaluados no afectó la supervivencia del Pargo-UNAM en las fases de Crianza y Engorda.
2. El nivel de proteína dietético afecta el crecimiento en la Etapa de Crianza y Engorda del Pargo-UNAM.
3. El nivel de proteína dietético donde se logró el mayor crecimiento en la Etapa de Crianza del Pargo-UNAM fue de 43.76%
4. El nivel de proteína para engorda donde se logró el máximo crecimiento bajo las condiciones descrita en este estudio es de 37%.
5. El nivel de proteína influye sobre la composición corporal aún cuando adicionalmente existen otros factores tanto intrínsecos como extrínsecos que también tienen influencia tanto en la Etapa de Crianza como en la Engorda.
6. El rendimiento de filete es afectado por el nivel de proteína dietética, ya que con dietas con menos de 30% el rendimiento fue menor a 30%.
7. De acuerdo con los resultados de este estudio y bajo las condiciones experimentales en que se realizó, se recomienda el cultivo de crías de 0.09g durante siete semanas con una dieta con 37% de proteína e iniciar la engorda con juveniles de 40.98g alimentados con una dieta 31.5% de proteína durante 12 semanas o hasta que alcance el peso comercial dependiendo el mercado al que se dirija.

El determinar los requerimientos de proteína permite establecer estrategias de alimentación para optimizar el cultivo, sobre todo en casos como el de este estudio, ya que se trabajó con un híbrido de tilapia manipulado genéticamente y por consiguiente sus requerimientos son diferentes a los establecidos para otras tilapias, logrando mejores resultados al tomar en cuenta los factores genéticos y los nutricionales.

Finalmente este tipo de estudios son de importancia para la acuicultura ya que la tilapia es una de las especies mas cultivadas a nivel mundial por lo que su evolución en cuanto a requerimientos nutricionales no debe limitarse, se debe tratar de incrementar el conocimiento en cuanto al manejo adecuado de los organismos y favorecer la explotación de los mismos debido al éxito obtenido, ya que aunque se esté trabajando con un animal mejorado genéticamente si no se cubren adecuadamente sus requerimientos nutricionales los resultados obtenidos nunca serán los esperados.

8. LITERATURA CITADA

1. FAO. El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2008. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma 2009.
2. Álvarez TP. Análisis de la Problemática de la Producción e Investigación Acuícola en Aguas Continentales en México. Memorias de la Segunda Reunión de la Red Nacional de Investigadores para Acuicultura en Aguas Continentales. REDACUI, Pátzcuaro, Mich. Instituto Nacional de la Pesca. 1996.
3. Olvera NM. Guía práctica para el Cultivo de Tilapia. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Unidad Mérida. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, SAGARPA. 2005; 1-36.
4. Morales DA. Biología, Cultivo y Pesquerías. México DF: AGT Editor S.A. 1991.
5. Boyd EC. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Alabama: Birmingham Publishing Co. 1990.
6. <ftp://ftp.fao.org/fi/stat/summary/b-1.pdf>) Descargado el 21 de marzo del 2009.
7. Arredondo FJ, Lozano GS. La Acuicultura en México. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa. México 2003; 266.
8. Arredondo FJ, Lozano GS. El cultivo de tilapia en México. In: Primer Curso Internacional de Producción de Tilapia. México DF: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México 1996; 7-18.
9. García M, Auró A. Principios de Acuicultura (CD-ROM). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México 2001; 7.
10. Muñoz CG, Garduño LM. Mejoramiento Genético en Tilapia: Sistemas de Cruzamiento y Mecanismos Genéticos en la Determinación del Color. SIGOLFO-CONACYT; FMVZ-UNAM. Primera edición 2003; 84.
11. Balarin JD, Hatton JP. Tilapia. A guide to their Biology and Culture in Africa. University of Stirling. Stirling, Scotland 1979; 174.
12. Jauncey K, Ross B. A Guide to Tilapia Feeds and Feeding. Institute of Aquaculture. University of Stirling. Scotland 1982; 111.
13. Castillo LF. Historia Genética y Cultivo de la Tilapia Roja. Ideal, Cali (Valle) Colombia 1994, 330.
14. Kuo H. Progress in genetic improvement of the red hybrids tilapias in Taiwan. Aquaculture 1988.
15. McAndrew BJ, Roubal ER, Roberts RJ, Bullok AM, McEwen IM. The genetics and histology of red, blond and associated color variants in *Oreochromis niloticus*. Genética 1988; 76: 127-137.

16. Jiménez REA. Comportamiento productivo y heterosis retenida de la primera generación de una línea sintética de tres especies de tilapia (*Oreochromis aureus*, *O. niloticus*, *O. mossambicus*) en la zona centro norte del estado de Veracruz. Tesis de Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México 2002.
17. Secretaría de Pesca. Piscicultura de agua dulce. México DF: Secretaría de Pesca, 1986.
18. Muñoz CG. Heterosis, habilidad combinatoria, proporción de sexos y segregación del color rojo en un cruzamiento dialélico completo de tres especies de tilapia (*Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*). Tesis de Maestría en Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México 2000.
19. Wohlfarth GW, Hulata G. Applied genetics of tilapias. ICLARM Studies and Reviews Manila, Philippines: International Center for Living Aquatic Resource and Management 1983.
20. DeWandel R. Avances en la Acuicultura de las Tilapias en Aguas Salobres. Memorias del Primer Curso Internacional de Producción de Tilapia. México DF. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México 1996; 225-231.
21. Fitzsimons K. Marketing of Tilapia in the USA. (serial online) Available from: <http://ag.arizona.edu/azaqua/tilapia/tjailand/paper.html>
22. Behrends LL, Smitherman RO. Development of a cold-tolerant population of red tilapia through introgressive hybridization. Journal of World Mariculture Society 1984; 15: 219-234.
23. Bentsen HB, Eknath AE, Vera PM, Danting JC, Bolivar HL, Reyes RA. Genetic Improvement of Farmed Tilapias: growth performance in a complete diallel cross experiment with eight strains of *Oreochromis niloticus*. Aquaculture 1998; 160: 145-173.
24. Wing KN, Hanim R. Performance of genetically improved Nile tilapia compared with red hybrid tilapia fed diets containing two protein levels. Aquaculture Society 2006; 37: 218-223.
25. Rutten MJ, Bovenhuis H, Komen H. Modeling fillet traits based on body measurements in three Nile tilapia strains (*Oreochromis niloticus* L.). Aquaculture 2004; 231: 113-122.
26. Garduño LM, Muñoz CG, Olvera NMA. Mass selection for red color in *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758). Aquaculture Research 2004; 35: 340-344.
27. Garduño LM. Selección genética de *Oreochromis niloticus* para producir poblaciones monosexo de color rojo. Tesis de Doctorado en Ciencias Marinas, CINVESTAV-IPN, Mérida, Yucatán, México 2003; 161.
28. Garduño LM, Granados AI, Olvera NMA, Muñoz CG. Comparison of growth, fillet yield and proximate composition between Stirling Nile tilapia

- (wild type) (*Oreochromis niloticus*, Linneus) and red hybrid tilapia (Florida red tilapia x Stirling red *O. niloticus*) males. *Aquaculture Research* 2003; 34: 1023-1028.
29. Rubio GM, Muñoz CG, Garduño LM, Mercado VG, Salazar UM. *Gyrodactylus* sp. infection in four genetic groups of tilapia farmed in Veracruz, México. 7th International Symposium on Fish Parasites, Parasitology 2007; 249.
 30. Matricia T, Talbot AJ, Doyle RW. Instantaneous growth rate of tilapia genotypes in undisturbed aquaculture systems. 1 'Red' and 'Grey' morphs in Indonesia. *Aquaculture* 1989; 77: 295-306.
 31. Macaranas JM, Mather PB, Lal SN, Vereivalu T, Lagibalavu M, Capra MF. Genotype and environment, a comparative evaluation of four tilapia stocks in Fiji. *Aquaculture* 1997; 150: 11-24.
 32. Ramírez PJG. Comparación del desempeño productivo de la población sintética de tilapia roja Pargo-UNAM y la tilapia del Nilo gris bajo condiciones de cultivo intensivo. Tesis de Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México 2009.
 33. Riego RM. Comportamiento productivo y heterosis retenida de una población sintética de tilapia ($\frac{1}{4}$ tilapia Rocky Mountain, $\frac{1}{4}$ *Oreochromis niloticus* y $\frac{1}{2}$ tilapia roja de Florida) durante la etapa de engorda). Tesis de Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México 2005.
 34. Morales AV. Desempeño productivo del Pargo-UNAM ($\frac{1}{4}$ tilapia Rocky Mountain, $\frac{1}{4}$ *Oreochromis niloticus* y $\frac{1}{2}$ tilapia roja de Florida) y la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus). Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Veracruz 2005; 60-64.
 35. Velázquez LMC. Heterosis y desempeño productivo en un cruzamiento dialélico entre *Oreochromis niloticus* y *O. mossambicus*. Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Veracruz 2005; 65-69.
 36. Salazar UM. Desempeño productivo de cuatro grupos genéticos de tilapia (*Oreochromis* spp) en la zona centro-norte del estado de Veracruz. Tesis de licenciatura en Ingeniería Agrohidráulica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla 2008.
 37. Ortiz RF. Desempeño productivo de la tilapia del Nilo y la población sintética Pargo-UNAM bajo cultivo intensivo en una explotación comercial en el estado de Veracruz. Tesis de licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México 2008.
 38. Peña DC. Comparación de crecimiento y rendimiento de filete entre una población sintética de tilapia roja, el Pargo-UNAM, la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y un híbrido rojo en Medellín de Bravo, Veracruz. Tesis de licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia. Facultad de

Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México 2009.

39. Rasmussen RS. Quality of farmed salmonids with emphasis on proximate composition, yield and sensory characteristics. *Aquaculture Research* 2001; 32: 767-786.
40. Shearer DK. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids. *Aquaculture* 1994; 119: 63-88
41. Rubio MOL. Composición química del filete de seis grupos genéticos de tilapia (*Oreochromis* spp.). Tesis de Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México 2007.
42. Olvera NM, Olivera CL. Nutrición y Alimentación de la Tilapia. Primer Curso Internacional de Producción de Tilapia 1996; 20-22.
43. Ogunji JO, Wirth M. Influence of dietary protein deficiency on amino acids and fatty acid composition in tilapia, *O. niloticus*, Fingerlings. *The Israeli Journal of Aquaculture* 2002; 54: 64-72.
44. Cowey CB. Aspects of protein utilization by fish. *Proceeding of the Nutrition Society* 1975; 34: 57-63.
45. De Silva SS, Gunasekera RM, Atapattu D. The dietary protein requirements of young tilapia and an evaluation of the least cost dietary protein levels. *Aquaculture* 1989; 80: 271-284.
46. Tacon AGJ, Cowey CB. Protein and amino acid requirements. In: P. Tyler and P. Calow (Editors), *Fish energetics: New Perspectives*. Croom Helm, London, Great Britain 1985; 155-184. Citado por Olvera NMA 1994.
47. Walton MJ. Metabolismo de proteínas y aminoácidos en peces. In: J. Espinosa de los Monteros y U. Labarta (Editores), *Nutrición en Acuicultura I. Plan de Formación de Técnicos Superiores en Acuicultura*, Madrid, España 1987; 225-303. Citado por Olvera NMA 1994.
48. Wilson RP, Halver JE. Protein and amino acid requirement of fishes. *Annual Review of Nutrition* 1986; 6: 225-244.
49. Knights B. Energetics and fish farming. In: P. Tyler and P. Calow (Editors), *Fish Energetics: New Perspectives*. Croom Helm, London, Great Britain 1985; 309-340.
50. Furuya WM, Pezzato LE, Barros MM, Furuya VRB, Miranda EC. Use of ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in fish-meal-free diets for juvenile Nile tilapia (*O. niloticus* L.). *Aquaculture Research* 2004; 35: 1110-1116.
51. Cruz EM, Laudencia LI. Protein requirements of tilapia mosambica fingerlings. *Freshwater Aquaculture Center, Kalikasan* 1977; 6:2, 177-182.
52. Winfree RA, Stickney RR. Effects of dietary protein and energy on growth, feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aurea*. *Journal Nutrition* 1981; 111: 1001-1012.

53. Philips Jr. AM. Nutrition, digestion and energy utilization. In: W. S. Hoar and D. J. Randall (Editors), *Fish Physiology*, Vol. 1. Academic Press, New York, USA 1969; 391-432. Citado por Olvera NMA 1994.
54. Lied E, Lie O, Lambertsen G. Nutritional evaluation in fish by measurement of *in vitro* protein synthesis in white trunk muscle tissue. In: C. B. Cowey, A. M. Mackie and J. G. Bell (Editors), *Nutrition and Feeding in Fish*. Academic Press, London 1985; 169-176. Citado por Olvera NMA 1994.
55. Luquet P. *Tilapia Oreochromis* spp. Handbook of Nutrient Requirements of Finfish 1991; 169-179.
56. Hastings WH. Project regional de recherche et de formation piscicoles. FAO Doc. FI/RAF/66/054/1, 1973; 22.
57. Zeilton IH, Ullrey DE, Magee WT. Quantifying nutrients requirements for fish. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 1976; 33: 167-172. Citado por Al Hafed 1999.
58. Newman MW, Huezio HE, Hugues DG. The response of all-male tilapia hybrids to four levels of protein in isocaloric diets. *Proceedings World Mariculture Society* 1979; 10: 788-792.
59. Balarin JD, Haller RD. The intensive culture of tilapia in tanks, raceways and cages. *Recent Advances in Aquaculture* 1982; 265-356.
60. Wang K, Takeuche T, Watanabe T. Effect of dietary protein levels on growth of *Tilapia nilotica*. *Bulletin Japanese Society Science Fish* 1985; 51: 133-140.
61. De Silva SS, Perera MK. Effects of dietary protein level on growth, food conversion and protein use in young *tilapia nilotica* at four salinities. *Transactions of the American Fisheries Society* 1985; 114: 584-589.
62. Wannigama ND, Weerakoon DEM, Muthukumarana G. Cage culture of *Sarotherodon niloticus* in Sri Lanka: effect of stocking density and dietary crude protein levels on growth. International Development Research Centre, Ottawa, Ontario 1985; 113-117. Citado por Xie *et al.* 1998.
63. Fineman KAS, Camacho AS. The effects of supplemental feed containing different protein: energy ratio on the growth and survival of *Oreochromis niloticus* (L.) in brackish water ponds. *Aquaculture Fish Manage* 1987; 18: 139-149.
64. Wee KL, Tuan NA. Effects of dietary protein level on growth and reproduction in Nile Tilapia (*O. niloticus*). The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Manila Philippines 1988; 401-410.
65. El Sayed AM, Teshima S. Protein and energy requirements of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, fry. *Aquaculture* 1992; 103: 55-63.
66. Gunasekera RM, Shim KF, Lam TJ. Effect of dietary protein level on puberty, oocyte growth and egg chemicals composition in the tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) *Aquaculture* 1995; 134: 169-183.

67. Wu YV, Rosati RR, Brown PB. Effect of diets containing various levels of protein and ethanol coproducts from corn on growth of tilapia fry. *Journal Agriculture Food Chemical* 1996; 44: 1491-1493.
68. Xie S, Cui Y, Yang Y, Liu J. Effect of protein level in supplemental diets on the growth of cage-cultured Nile Tilapia in the East Lake, P. R. China. *Asian Fisheries Science* 1998; 10: 233-240.
69. Al Hafedh YS. Effects of dietary protein on growth and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Research* 1999; 30: 385-393.
70. Chang S, Huang C, Liao I. The effect of various feeds on seed production by Taiwanese red tilapia. *The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture* 1988; 319-322.
71. Clark AE, Watanabe WO, Olla BL, Wicklund RI. Growth, feed conversion and protein utilization of Florida red Tilapia after isocaloric diets with different protein levels in seawater pools. *Aquaculture* 1990; 88:1, 75-85.
72. Jauncey K. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body compositions of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*). *Aquaculture* 1982; 27: 43-54.
73. Tacon AGJ, Jauncey K, Falayne A, Pantha M, Macgowen I, Stafford EA. The use of meat and bone meal, hydrolyzed feather meal and soybean in practical fry and fingerling diets for *Oreochromis niloticus*. In: *Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture* (ed. by L. Fishelson and Z. Yaron). Tel Aviv University Press. Tel Aviv, Israel 1983; 336-365.
74. Lovell RT. Feeding Tilapia. *Aquaculture Magazine* 1980; 7: 42-43.
75. Robinson EH. Channel catfish nutrition. *Reviews in Aquatic Sciences* 1989; 1: 3, 365-391.
76. Murai T. Protein nutrition of rainbow trout. *Aquaculture* 1992; 100: 191-207.
77. Pried IG. Metabolic scope in fishes. In: P. Tyler and P. Calow (Editors), *Fish Energetic: new Perspectives*. Croom Helm, London, Great Britain 1985; 33-64.
78. Viola S, Arieli Y. Evaluation of different grains as basic ingredients in complete feeds for carp and tilapia in intensive culture. *Bamidgeh* 1984; 35 (2): 38-43.
79. Garling DL, Wilson RP. Effects of dietary carbohydrate-to-lipid ratio on growth and body composition of fingerling channel catfish. *The Progressive Fish-Culturist* 1977; 39: 43-47.
80. El Sayed AM, Garling DL Jr. Carbohydrate-to-lipid ratio in diets for *Tilapia zilli* fingerlings. *Aquaculture* 1988; 73: 157-163.
81. Ellis SC, Reigh RC. Effects of dietary lipid and carbohydrate levels on growth and body composition of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture* 1991; 97: 383-394.

82. Ben SC, Shi YS. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *O. niloticus* x *O. aureus*. *Aquaculture* 1996; 143: 185-195.
83. Tacon AGJ, Jackson AJ. Utilization of conventional and unconventional protein sources in practical fish feeds. In: C. B. Cowey, A. M. Mackie and JG Bell (Editors), *Nutrition and Feeding in Fish*. Academic Press, London 1985; 119-145. Citado por Olvera NMA 1994.
84. Brown L. *Acuicultura para Veterinarios: Producción y clínica de peces*. Ed. Acribia. Zaragoza, España 445.
85. AOAC. *Official Methods of Analysis*, 14th edition. Arlington VA., USA 1994.
86. Olvera NMA. Utilización de proteínas vegetales en la alimentación de crías de tilapia, *Oreochromis mossambicus*, *O. niloticus* y *Tilapia rendalli*. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Mérida, Yucatán, México 1994; 68-70.
87. Steel GDR, Torrie JH. *Bioestadística Principios y Procedimientos*. 2nd. ed, McGraw-Hill, Bogotá, Colombia 1986; 622.
88. Infostat versión 1.1
89. Sokal RR, Rohlf FJ. *Biometry*. 3rd edn. W.H. Freeman and Company, New York, USA 1998; 877.
90. Santiago, CB, Bañez AM, Laron MA. Dietary crude protein requirement of *Tilapia nilotica* fry. *Kalikasan, Philippines Journal Biology* 1982; 11(2-3): 255-265.
91. Shimada MA. *Nutrición Animal*. Segunda Edición, Trillas, México 2009; 397.
92. Ogino C, Saito K. Protein nutrition in fish. The utilization of dietary protein by carp. *Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries* 1970; 36: 797-800.
93. Mazid MA, Tanaka Y, Katayama T, Rahaman MA, Simpson M. Growth responses of *Tilapia zillii* fingerlings fed isocaloric diets with variable protein levels. *Aquaculture* 1979; 18: 115-122.
94. Suresh AV, Lin CK. Tilapia culture in saline waters: a review. *Aquaculture* 1992; 106: 201-226.
95. Boeuf G, Payan P. How should salinity influence fish growth? *Comparative Biochemistry Physiology* 2001; 130C: 411-423.
96. Kamal A, Mair GC. Salinity tolerance in superior genotypes of tilapia, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis mossambicus* and their hybrids. *Aquaculture* 2005; 247, 189-201.
97. Abdel F, El-Sayed M. Tilapia culture in salt water: environmental requirements, nutritional implications and economic potentials. *Avances en Nutrición Acuícola VII. VII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. Universidad de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México 2006; 95-106

98. El Sayed AM, Teshima S. Tilapia nutrition in aquaculture. Reviews in Aquatic Sciences 1991; 5: 247-265.
99. Anderson RJ, Kienholz EW, Flickinger SA. Protein requirement of smallmouth bass and largemouth bass. Journal of Nutrition 1981; 111: 1085-1097.
100. Papoutsoglou PE, Alexis MN. Protein requirements of young grey mullet, *Mugil capito*. Aquaculture 1986; 52: 105-115.
101. Millikin MR. Effects of dietary protein concentration on growth, feed efficiency, and body composition of age 0 striped bass. Transactions of the American Fishery Society 1982; 111: 373-378.
102. Wee KL, Tacon AGJ. A preliminary study on the dietary protein requirement of juvenile snakehead. Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries 1982; 48: 1463-1468.
103. Viola S, Angeoni H, Lahav E. Present limits of protein sparing by aminoacid supplementation of practical carp and tilapia feeds. The Israeli Journal of Aquaculture 1994; 46: 203-211.
104. Clement S, Lovell RT. Comparison of processing yield and nutrient composition of cultured Nile tilapia (*O. niloticus*) and channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Aquaculture 1994; 119: 299-310.