

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**



**“ENERGÍA DIGESTIBLE DE INGREDIENTES Y
DETERMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO DE ENERGÍA DEL
SÁBALO COLA ROJA (*Brycon erythropterum*)”**

**Presentada por:
ANDREA ALEXANDRA MARCHÁN TIMORÁN**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGÍSTER SCIENTIAE EN NUTRICIÓN**

Lima – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN NUTRICIÓN

**“ENERGÍA DIGESTIBLE DE INGREDIENTES Y
DETERMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO DE ENERGÍA DEL
SÁBALO COLA ROJA (*Brycon erythropterum*)”**

Tesis para optar el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE EN NUTRICIÓN

Presentado por:

ANDREA ALEXANDRA MARCHÁN TIMORÁN

Patrocinada por:

Mg Sc. Víctor Vergara Rubín

Sustentada y aprobada ante el siguiente Jurado:

Mg. Sc. Víctor Hidalgo Lozano

PRESIDENTE

Mg. Sc. Víctor Vergara Rubín

PATROCINADOR

Ph. D. Víctor Guevara Carrasco

MIEMBRO

Ph. D. Carlos Gómez Bravo

MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente para cumplir cada una de mis metas y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía.

A mi familia, por su apoyo, cariño, comprensión y por haber estado a mi lado en este largo camino.

AGRADECIMIENTOS

A INNOVATE PERÚ por el financiamiento del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Víctor Vergara por su orientación y apoyo en la elaboración del presente trabajo.

A los miembros del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos y al laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos, quienes apoyaron con el desarrollo de la fase experimental.

A los miembros del jurado por las observaciones que ayudaron a mejorar esta investigación.

A Freddy Horna por haber estado presente en cada etapa, pues su compañía, consejos y apoyo fueron muy valiosos.

A todos ellos, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1.	Sábalo Cola Roja	2
2.1.1.	Generalidades	2
2.1.2.	Morfología Digestiva	3
2.1.3.	Ciclo de Vida	5
2.1.4.	Hábitos y comportamiento alimenticio en estado natural	5
2.1.5.	Requerimientos Nutricionales	6
2.2.	Coefficiente de Digestibilidad	7
2.2.1.	Estudios de Digestibilidad en otras Especies Amazónicas	8
2.3.	Energía	9
2.3.1.	Energía Digestible	10
2.3.2.	Métodos estadísticos para la estimación de los requerimientos de Energía	10
2.3.3.	Estudios de Energía Digestible en otras Especies Amazónicas	12
2.4.	Ingredientes Energéticos	12
2.4.1.	Maíz	12
2.4.2.	Harinilla de trigo	14
2.5.	Parámetros Ambientales	16
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1.	Lugar y Fecha de Ejecución	18
3.2.	Etapas de la Investigación	18
3.3.	Experimento I: Digestibilidad y Energía Digestible de Ingredientes Energéticos	18
3.3.1.	Animales Experimentales	18
3.3.2.	Instalaciones y Equipos	18
3.3.3.	Tratamientos	19
3.3.4.	Dietas Experimentales	19
3.3.5.	Análisis de Datos	21
3.4.	Experimento II: Determinación del Requerimiento de Energía Digestible	23
3.4.1.	Animales Experimentales	23
3.4.2.	Instalaciones y Equipos	23
3.4.3.	Tratamientos	23
3.4.4.	Dietas Experimentales	23
3.4.5.	Metodología Dosis-Respuesta	24
3.4.6.	Parámetros	24

3.4.7.	Análisis de Datos	26
3.5.	Calidad del Agua	27
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1.	Experimento I: Digestibilidad y Energía Digestible de Ingredientes Energéticos	30
4.1.1.	Coeficientes de Digestibilidad aparente del Maíz	30
4.1.2.	Coeficientes de Digestibilidad Aparente de la harinilla	33
4.1.3.	Energía Digestible del Maíz	34
4.1.4.	Energía Digestible de la Harinilla de Trigo	35
4.2.	Experimento II: Estimación del requerimiento de Energía Digestible	35
a.	Biomasa, Peso Corporal y talla	35
b.	Consumo de Alimento	36
c.	Conversión Alimenticia	38
d.	Eficiencia alimenticia	38
e.	Composición Corporal	39
f.	Tasa Retención de Energía	41
g.	Tasa de Retención de Proteína	41
V.	CONCLUSIONES	49
VI.	RECOMENDACIONES	50
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	51
VIII.	ANEXOS	62

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Cosecha de recursos hidrobiológicos procedentes de la actividad por ámbito y especie, 2005-2015 (toneladas).	4
Cuadro 2: Valor nutritivo del maíz amarillo duro (base fresca).....	14
Cuadro 3: Valor nutritivo de la harinilla de trigo	15
Cuadro 4: Valores promedio de los parámetros físico-químicos del agua que se encuentran en la literatura.....	17
Cuadro 5: Formulas de la dieta de referencia (dr), la dieta prueba con maíz (dm) y la dieta prueba con harinilla (dh) para la prueba de digestibilidad y el valor nutritivo calculado (base fresca).....	20
Cuadro 6: Coeficientes de digestibilidad aparente (cda) de la materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, energía bruta y energía digestible aparente de los ingredientes maíz y harinilla de trigo suministrada al “sábalo cola roja” (<i>brycon erythropterum</i>) en base seca.	31
Cuadro 7: Efecto del nivel de energía digestible sobre el comportamiento productivo del sábalo cola roja.	37
Cuadro 8: Efecto del nivel de energía sobre la composición corporal del sábalo cola roja (base fresca).....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Cuadro 9. Comparativo de requerimientos obtenidos mediante diferentes métodos..	48

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable ganancia de peso diaria ..	43
Gráfico 2. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable eficiencia alimenticia	43
Gráfico 3. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable tasa de retención de energía	44
Gráfico 4. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable tasa de retención de proteína	44
Gráfico 5: curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable ganancia de peso diaria.....	46
Gráfico 6: curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable eficiencia alimenticia	46
Gráfico 7: curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable tasa de retención de energía.....	47
Gráfico 8: curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable tasa de retención de proteína	47

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Parámetros de calidad de agua medidos durante el ensayo.	63
Anexo 2. Análisis químico proximal de los ingredientes prueba (base fresca).....	64
Anexo 3. Análisis químico proximal de la dieta de referencia.....	64
Anexo 4. Análisis químico proximal de las dietas prueba.	64
Anexo 5. Análisis químico proximal de las heces obtenidas de la dieta referencia ...	65
Anexo 6. Análisis químico proximal de las heces obtenidas de las dietas prueba.	65
Anexo 7. Coeficientes de digestibilidad aparente de los ingredientes prueba.....	65
Anexo 8. Coeficientes de digestibilidad de los componentes de las dietas brindadas.....	66
Anexo 9. Análisis químico proximal de la carcasa al inicio y al final del experimento II. (base húmeda)	66
Anexo 10. Pesos iniciales, pesos finales y consumo de alimento en el experimento II.	67
Anexo 11. Análisis de variancia del dca para ganancia de biomasa.	68
Anexo 12. Análisis de varianza del dca para ganancia de peso.	68
Anexo 13. Análisis de varianza del dca para incremento de longitud.....	68
Anexo 14. Análisis de varianza del dca para consumo.	69
Anexo 15. Análisis de varianza del dca para conversión alimenticia.	69
Anexo 16. Análisis de variancia del dca para eficiencia alimenticia	69
Anexo 17. Análisis de variancia del dca para tasa de retención de energía	70
Anexo 18. Análisis de variancia del dca para tasa de retención de proteína.....	70
Anexo 19. Análisis de variancia del dca para humedad en carcasa.	70
Anexo 20. Análisis de variancia del dca para proteína en carcasa.	71
Anexo 21. Análisis de variancia del dca para grasa en carcasa.....	71
Anexo 22. Análisis de variancia del dca para ceniza en carcasa.	71
Anexo 23. Análisis de variancia de la regresión polinomial para ganancia de peso diaria.....	72
Anexo 24. Análisis de variancia de la regresión polinomial para eficiencia alimenticia	72
Anexo 25. Análisis de variancia de la regresión polinomial para la tasa de retención de energía.....	72

Anexo 26. Análisis de variancia de la regresión polinomial para la tasa de retención de proteína	73
Anexo 27. Diagrama del laboratorio de investigación en nutrición y alimentación de peces y crustáceos.....	74

RESUMEN

El presente trabajo de investigación estuvo conformado por dos experimentos, el objetivo del primer experimento fue determinar los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de los nutrientes de dos ingredientes energéticos, harinilla de trigo y maíz amarillo. El objetivo del siguiente experimento fue establecer el requerimiento energético del sábalo cola roja mediante el método de dosis-respuesta evaluando cinco niveles de energía digestible, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 Mcal/Kg; utilizando los (CDA) para la adecuada formulación de los alimentos. El CDA obtenidos para el maíz, fue de 68.07 por ciento para materia seca, 73.90 % para proteína, 88.27 % para extracto etéreo, 83.40 % para extracto libre de nitrógeno y 68.92 % para energía bruta y la Energía Digestible (ED) fue de 3.18 Mcal/Kg en base seca. El CDA obtenidos para la harinilla de trigo, fue de 52.27 % para materia seca, 88.70 % para proteína, 88.95 % para extracto etéreo, 45.89 % para extracto libre de nitrógeno y 53.29 % para energía bruta, siendo la energía digestible de 2.12 Mcal/Kg en base seca. De acuerdo al modelo de regresión polinomial de segundo orden el requerimiento de Energía Digestible del sábalo cola roja para maximizar la ganancia de peso, eficiencia alimenticia, retención de energía y retención de proteína es 3.48 Mcal ED/Kg, 3.54 Mcal ED/Kg, 3.49 Mcal ED/Kg y 3.52 Mcal ED/Kg, respectivamente.

Palabras Claves: Sábalo cola roja, requerimiento de energía, dosis respuesta.

ABSTRACT

The present investigation was aimed at establishing the Digestible Energy requirement of sabalo cola roja (*Brycon erythropterum*) fingerlings. Apparent digestibility coefficients (ADC) of nutrients and energy of corn and wheat middling was determined to be used in experimental diet formulations for energy requirement. Test diets for ADC determination were prepared by incorporation of 40% of test ingredients into the reference diet and 0.5% Cr₂O₃ as an inert indicator. The ADCs for dry matter, crude protein, crude lipid, nitrogen-free extract and gross energy were 68.07%, 73.90%, 88.27%, 83.40%, 68.92% for corn and 68.07%, 73.90%, 88.27%, 83.40%, 68.92% for wheat middlings. Energy requirement was obtained by feeding to satiation five experimental diets containing increasing dietary energy levels (3.3, 3.4, 3.5, 3.6 and 3.7 Mcal DE/Kg). Weight gain significantly increased in fishes fed a dietary level of 3.4 Mcal DE/Kg. No significant differences were observed among, feed intake, feed efficiency, energy retention and protein retention. Body composition was not affected significantly ($P > 0.05$) by dietary energy levels, however, increasing levels of dietary energy showed an increasing level of fat deposition. Second order polynomial regression analysis showed that the optimum dietary energy requirement under the experimental conditions for maximum weight gain, feed efficiency, energy retention and protein retention of *B. erythropterum* fingerlings was 3.48 Mcal ED / Kg, 3.54 Mcal ED / Kg, 3.49 Mcal ED / Kg and 3.52 Mcal ED / Kg, respectively.

Keywords: *Brycon erythropterum*, energy requirement, fish nutrition

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura en nuestro país se encuentra en crecimiento acelerado, pues es una actividad productiva importante, no sólo al contribuir con los ingresos per cápita sino también como fuente de proteína para la alimentación del poblador amazónico. Recientemente hay un creciente interés por desarrollar cultivos a nivel comercial de especies nativas amazónicas. Una de las especies promisorias, por su alta calidad, valor nutritivo de su carne y demanda, es el Sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*).

La producción del Sábalo cola roja en sistemas intensivos aún no se ha desarrollado completamente. Una de las razones es la falta de investigaciones que permitan estimar los requerimientos nutricionales para poder desarrollar alimentos adecuados para esta especie. A la fecha, existen diversos estudios que estiman el requerimiento de proteína en el género *Brycon*, sin embargo, hay pocas investigaciones relacionadas a la estimación del requerimiento de energía, asimismo, hay escasa información respecto a los valores energéticos de los ingredientes usados en la formulación de dietas.

Por lo tanto, la presente investigación tiene como **objetivos** determinar la Energía Digestible del maíz y harinilla de trigo; y el requerimiento de Energía Digestible de alevines de sábalo cola roja. A través de los parámetros de peso vivo, longitud, ganancia de peso, incremento de longitud, consumo de alimento, conversión alimentaria, y retención de energía.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Sábalo Cola Roja

2.1.1. Generalidades

El sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*), es una pez de la clase Actinopterygii, orden Characiformes y familia Characidae. Vive en zonas de clima tropical entre 22°C - 26°C de temperatura, por lo que es posible encontrarlo en el río Amazonas, en Bolivia y Perú. (FISHBASE 2016). En nuestro país, las principales zonas de cultivo son, Loreto, Ucayali, Madre de Dios y San Martín.

Es un pez típicamente fusiforme, cuerpo hidrodinámico, habiéndose encontrado ejemplares de hasta 56 cm de longitud total y de 4 kg de peso. La región dorsal es gris azulada; los lados plateados y blanquecinos; el vientre, y los extremos de los lóbulos de la aleta caudal tienen tonalidad rojiza, al igual que la aleta adiposa y en menor medida las demás aletas y opérculo (Pereyra 2013).

Es un pez omnívoro, encontrándose en su contenido estomacal frutos, semillas, restos vegetales, insectos, arácnidos, crustáceos y peces, entre otros, su boca amplia le facilita ser un excelente cazador, convirtiéndolo en un pez de expectativa para la pesca deportiva con carnada y señuelo. En sus estadíos tempranos tiende al canibalismo; por lo cual requiere manipulación cuidadosa cuando se reproduce en cautiverio o cuando se obtiene alevinos del medio natural, razón por la que se debe estabular peces de igual tamaño (Pereyra 2013).

Los mejores resultados con esta especie, se logran en policultivos, porque tanto la gamitana, paco, boquichico o lisa no consumen los bujurquis o mojarras que son peces plaga que compiten por alimento, en cambio el sábalo los aprovecha, por su tendencia a ser carnívoro en estadíos juveniles, teniendo una conversión alimenticia de 1.5 a 1, es un pez que puede estar ofertándose a los 3 ó 4 meses de cultivo, acepta alimento balanceado, obteniéndose producciones entre 8 y 10 TM/Ha a una tasa de siembra de 1 pez/m²; asimila bien la proteína de origen vegetal (Produce 2016).

Como se puede observar en el cuadro 1, la mayor cosecha de sábalo cola roja en nuestro país fue en el año 2010, alcanzando un total de 114 toneladas. En el 2015 se puede ver la disminución de la cosecha, que solo llega a 33 toneladas, siendo Loreto uno de los principales departamentos donde se cosecha esta especie. Por el contrario, otras especies como la gamitana, tuvo una cosecha de hasta 299 toneladas y la Tilapia llega a 3,250 toneladas en el año 2015. La distribución de la cosecha total de recursos hidrobiológicos procedentes de la actividad de acuicultura del 2005 al 2015, tiene como principales especies cosechadas en nuestro país a la trucha (211,415 toneladas), seguida por la tilapia (25,139 toneladas) y la gamitana en tercer lugar (5,101 toneladas). Se puede esperar entonces, que mayor información en temas nutricionales, puedan facilitar la cría de esta especie, aumentando así la cosecha anual (Produce 2015).

2.1.2. Morfología Digestiva

El Género *Brycon* posee la boca en la parte terminal, tomando como ejemplos al *Brycon hilarii* (Oliveira et al. 2012), *Brycon siebenthalae* y *Brycon orbignyanus* (Maciel et al. 2010), una característica común en los peces carnívoros, probablemente la boca en esa posición facilite la captura de la presa. Los dientes están dispuestos en una serie de tres, son gruesos y multicuspidados, las hendiduras branquiales son más gruesas, más separadas entre sí y en menor número. Aun siendo una especie omnívora, la dentición oral está bien desarrollada, este tipo de dentición probablemente sirve para la preparación pre-digestiva de alimentos de origen vegetal y para capturar de alimentos de origen animal (Silva 2007).

El *Brycon sp.n. "Cristalino"*, tiene la cavidad peritoneal larga y ancha, presentándose ovalada en la sección transversal craneal y ligeramente comprimida en la parte caudal, donde la mayoría de los órganos tienden a estirarse hacia atrás, similar a lo que ocurre en el *Brycon lundii* (Silva 2007). El tracto digestivo se puede dividir en dos segmentos: intestino anterior (esófago y estomago), y el intestino medio, siendo éste último subdividido en, bolsa intestinal en la región proximal, tubo rectilíneo con pliegues transversales en la región media y el intestino estrecho en la región distal, con pliegues longitudinales paralelos en el segmento rectal, además de la presencia de ciegos pilóricos (Freitas 2010).

Cuadro 1: Cosecha de Recursos Hidrobiológicos procedentes de la actividad por ámbito y especie, 2005-2015 (Toneladas).

Ámbito/ Especie	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Boquichico	60	12	15	25	27	36	15	35	56	6	9
Camarón Gigante	18	11	4	6	11	15	13	11	20	78	21
Carachama	0	0	1	4	1	22	6	7	10	5	4
Carpa	3	11	13	15	15	19	8	19	6	2	4
Gamitana	251	344	414	539	564	680	522	453	531	504	299
Paco	43	38	34	71	75	101	130	299	443	453	825
Pacotana	17	6	86	59	12	3	12	17	15	9	219
Paiche	14	2	-	1	3	48	422	537	94	55	135
Tilapia	619	494	1741	1714	1261	2013	2423	3174	3840	4610	3250
Trucha	5475	5794	6997	12497	12817	14250	19962	24762	34992	32923	40946
Sábalo	85	78	41	52	49	114	95	46	58	37	33
Otros	1	3	2	3	2	19	0	102	3	1	12
Total	25978	28387	39531	43119	44317	89021	92201	72293	125693	115	45218

Fuente: PRODUCE (2015)

2.1.3. Ciclo de Vida

En la investigación realizada por Romagosa et al. (2001) se describió el proceso de desarrollo de la ova del *Brycon cephalus*, pudiéndose observar tres estadios diferenciados, el estadio embrional, el estadio larval y el estadio juvenil (alevino). En el estadio de división fue posible observar la presencia de alveolos corticales organizados en el citoplasma periférico 40 minutos después de la fertilización. Después de cinco horas y treinta minutos, se observa la segmentación somática y el comienzo de la diferenciación de la cola y la cabeza. Siete horas después, las vesículas ópticas pueden ser visualizadas, luego de lo cual se presenta los primeros latidos del corazón y la circulación es visible. La eclosión se produce de 10 a 11 horas después de la fecundación. El embrión presenta el cuerpo ligeramente pigmentado y los ojos muy evidentes. La delimitación del sistema digestivo se pueda ver en esta etapa.

El estadio larval se da 23 horas después de la fertilización, es esta etapa se observará la disminución del saco vitelino por lo que después de 30 horas de fertilización comenzara la nutrición exógena, donde se puede observar el canibalismo. El *Brycon cephalus* llega al estadio juvenil 48 horas después de la fertilización, se podrá ver entonces que los alevinos presentan estructuras similares a los especímenes adultos, el cuerpo totalmente pigmentado, escamas plateadas y aletas caudales y pectorales bien formadas. En nuestro país, en el año 2008 se estableció por primera vez una tecnología para la reproducción y producción de semillas de sábalo cola roja (*Brycon erythropterus*) (Vergara et al. 2008).

2.1.4. Hábitos y comportamiento alimenticio en estado natural

Las especies de *Brycon* parecen mostrar una elevada capacidad de adaptación al alimento disponible u ofrecido, siendo capaces de digerir muy bien la proteína de origen animal y vegetal. García-Carreño et al. (2002) realizaron estudios sobre enzimas digestivas en *Brycon orbignyanus* demostrando que esta especie muestra un mecanismo de enzimas que se adapta rápidamente al régimen y calidad del alimento por cambios en la cantidad y composición de las proteasas digestivas. Es así que en estudios sobre el contenido estomacal de especies del género *Brycon* como el realizador Silva (2007), se encuentra que en peces adultos obtenidos del medio natural, se pudo observar que el contenido estomacal estaba compuesto por semillas, frutas y verduras en tiempos de inundación y peces, artrópodos y otros animales en la estación seca. Además observó que a medida que aumenta el tamaño de los peces, estos tienden a ingerir una mayor gama de productos alimenticios.

2.1.5. Requerimientos Nutricionales

Los peces del género *Brycon* poseen altas tasas de canibalismo que dificulta su crianza, siendo éste un factor limitante por el daño económico que causa. Baras et al. (2000), investigaron maneras de mitigar este problema encontrando que los embriones y larvas de *Brycon moorei* que consumieron alimento balanceado durante la primera semana de la alimentación exógena no sobrevivieron, a excepción de los que ejercieron el canibalismo. Sin embargo, al ofrecer nauplios de *Artemia* en exceso las larvas mostraron un crecimiento más homogéneo y supervivencia más alta, los actos de canibalismo se limitaron a las primeras 24 h de la alimentación exógena, reduciendo el canibalismo temprano de 41 a 15%.

Borba et al. (2006) presentaron un estudio donde evaluaron los efectos de cinco concentraciones de energía y dos relaciones entre carbohidratos y lípidos, en el rendimiento y composición corporal del *piracanjuba* (*Brycon orbignyianus*). Encontraron que 3.16 Mcal es la concentración de energía más adecuada para 30% de proteína cruda en dietas de *piracanjuba* cuando se crían en cautiverio, ya que permite una alta ganancia de peso, así como la utilización satisfactoria del alimento y deposición de grasa corporal. Vergara et al. (2016), encontraron un valor mayor al evaluar cinco niveles de energía digestible en dietas isoproteicas en sábalo cola roja (*Brycon erythropterus*), estableciendo como requerimiento 3.49 Mcal de ED/Kg de alimento.

Con respecto a requerimiento de proteína encontramos investigaciones como la realizada por Izel et al. (2004), quienes probaron cinco niveles de proteína en dietas isocalóricas de juveniles de *Brycon cephalus*, encontrando que las dietas deben contener al menos un 28% de proteína cruda para satisfacer sus necesidades proteicas. Sá y Fracalossi (2002) realizaron una investigación en alevines *Brycon orbignyianus*, probaron seis niveles de proteína en dietas isocalóricas, encontrando que el nivel que mejor se ajustaba fue de 29% de proteína bruta. Gaviria y Arroyale (2015) evaluaron dos niveles de proteína (24 y 26%) en *Brycon henni*, no encontraron diferencias significativas en los parámetros evaluados. Por otra parte, Zaniboni-Filho et al. (2006), evaluaron niveles de proteína bruta (que variaron entre 24% y 42%) en *B. orbignyianus*, observando que el mejor desempeño ocurrió con 29% de proteína. Por otro lado, Vergara et al. (2016), determinaron que el nivel de 35.7% es el más adecuado para sábalo cola roja en etapa de alevinaje. Por otro lado, López et al. (2004) realizaron un investigación donde determinaron la relación energía digestible/proteína (DE kcal/PB%) más favorable en dietas para juveniles de *yamú* (*Brycon siebenthalae*). En este estudio, la

relación E/P más eficiente fue 14.22 kcal ED/g PB, con unos valores parciales de 22.5% PB y 3.2 kcal ED/g.

De Borba et al. (2003), realizaron una investigación sobre el crecimiento y composición corporal de *Piracanjuba* (*Brycon orbignyanus*) alimentados con dietas preparadas combinando dos niveles de proteína (30% y 32%) y tres niveles de lípidos (5.5%, 8.8% y 12.1%). Encontrándose que, un aumento de 5,5% a 12,1% de los lípidos en la dieta, a una concentración de proteína de la dieta de 30% o 32%, favorece la acumulación de grasa corporal en alevines *piracanjuba* con ninguna mejora en el crecimiento, lo que sugiere que el requisito de lípidos para esta especie debería ser 5% o menos, cuando son criados para fines comerciales.

En el caso de la fibra, Pereira-Filho et al. (1995) evaluaron nueve dietas, combinando tres niveles de proteína (19,25 y 31%) y tres niveles de fibra (2, 10 y 20 %) en *Brycon cephalus*. El peso final fue influenciado positivamente por aquellas dietas con niveles más altos de proteína, pero no fue influenciado por los niveles de fibra. Los niveles más altos de proteína en la dieta, produjeron aumento del contenido de proteínas de la carcasa, y la disminución del contenido de grasa y cenizas, mientras que los peces alimentados con los niveles más ricos en fibra asimilan más proteínas, tiene un mayor porcentaje de cenizas y un menor contenido de grasa en la composición corporal. Los resultados indicaron que ingredientes con altos niveles de fibra pueden ser bien asimilados por *Brycon cephalus*, aumentando de esta manera la gama de subproductos agrícolas, normalmente ricos en fibra, que pueden utilizarse para formular dietas prácticas para esta especie.

2.2. Coeficiente de Digestibilidad

En la determinación de coeficientes de digestibilidad aparente de una dieta o una materia prima, es común utilizar la recolección de las heces del animal, pues es un procedimiento económico y que no representa mayor esfuerzo. En animales terrestres es fácil realizar este procedimiento, pero en peces se dificulta por la existencia del medio acuático (Clavijo 2011).

Los métodos más utilizados para determinar la digestibilidad son el método directo e indirecto. El primer método consiste en la colecta total de heces, mientras que el segundo método utiliza algún tipo de marcador no digerible cumpliendo con tres requisitos muy

importantes: debe ser totalmente indigerible y con una tasa de evacuación igual a la del contenido estomacal; debe analizarse en laboratorio fácilmente; y no debe afectar la palatabilidad de la dieta ni causarle algún daño al animal. (Clavijo 2011). Para este método se conocen dos tipos de marcadores: los que se añaden a la dieta o marcadores externos como óxido crómico (Akiyama et al 1989, citado por Montoya, 2012); y los que se encuentran en ella como componentes naturales o marcadores internos, tales como la fibra cruda y la ceniza ácido resistente (De Silva y Perera 1984, citado por Montoya 2012).

2.2.1. Estudios de Digestibilidad en otras Especies Amazónicas

Estudios en gamitana (*Colossoma macropomun*) por Gutiérrez et al. (2008) realizaron investigaciones sobre coeficientes de digestibilidad aparente de la harina de pescado peruana y maíz amarillo duro obteniendo lo siguiente, para materia seca, proteína cruda, lípido crudo y energía bruta de la harina de pescado peruana los coeficientes de digestibilidad aparente fueron de, $88,06 \pm 0,83\%$, $87,08 \pm 1,34\%$, $85,87 \pm 2,69$ y $87,29 \pm 1,57\%$ respectivamente. Igualmente los Coeficientes de digestibilidad aparente para MS, PC, LC y EB del Maíz fueron de $82,38 \pm 1,02\%$, $75,46 \pm 1,53\%$, $76,17 \pm 2,43\%$ y $75,04 \pm 1,80\%$ respectivamente. La energía digestible aparente calculada fue de 3950 Kcal/kg para la HPP y 2830 kcal/kg para el Maíz.

Así mismo, se encuentran también investigaciones en otra especie similar a la gamitana, como las evaluaciones realizadas por Fernandes et al. (2004), que evaluaron los coeficientes de digestibilidad en *Piaractus brachypomu*. Los valores de energía digestible de la harina de soja (HS), harina de pescado (HP), el maíz (M), y el salvado de trigo (ST) fueron 2382, 3826, 3353, y 1784 kcal / kg, respectivamente. Los coeficientes de digestibilidad aparente de materia seca fueron 83,72, 90,14, 89,13, y 82,05% para HS, HP, M, y el ST, respectivamente. Los coeficientes de digestibilidad aparente de proteína cruda fueron 75,88, 90,49, 85,06, y 61,62% para HS, HP, M, y el ST, respectivamente. Los coeficientes de digestibilidad aparente de lípidos fueron 63,03, 77,00, 83,01, y 82,45% para HS, HP, M, y ST, respectivamente. Sin embargo Vásquez-Torres et al. (2013) investigando en la misma especie, obtienen valores de CDA para harina de trigo de tercera y maíz amarillo americano de 48.5 y 59.9 % de materia seca y 57.6 y 69 % de proteína.

Por otro lado, otra especie omnívora comparable con el sábalo cola roja es la tilapia. Boscolo et al. (2002), evaluaron los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de la materia seca (MS), energía bruta (EB) y proteína bruta (PB) de la harina de soya (FS), el maíz (MO), trigo (TG) y harina de trigo (FT), en alevines de tilapia del Nilo tailandés. CDA de MS, PB y EB fue 65.49, 89.28 y 71.38 para FS; 73.22, 93.40 y 76.63 de MO; 86.51, 96.30 y 87.07 de TG; 66.79, y 91.00 y 68.81% para el FT. Resultados similares se encuentran en la investigación realizada por Pezzato et al. (2002), en tilapias de Nilo, encontrando valores de CDA que el coeficiente de digestibilidad de MS, PB y extracto etéreo de 52.52, 91.66, 69.02 para el maíz, 48.66, 91.99, 58.80 para la Fécula de maíz, 69.87, 89.62 y 81.24 para el maíz extruido, 66.05, 91.13, 67.37 para la harina de trigo, 59.29, 94.86 57,47 para la harina de arroz 23.44, 67.83, 38.61 para el sorgo y 54.54, 86.77, 74.90 para el germen de maíz; respectivamente.

Resultados comparables son los que se encuentran en la investigación realizada por De Alencar Teixeira et al. (2010), trabajando en Juveniles de *Pseudoplatystoma* sp, donde evaluaron el CDA de la harina de maíz, el salvado de arroz, el arroz molido y el sorgo. El Coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca de harina de maíz fue de 62,3%; de salvado de arroz, 59,7%; de arroz molido, 40,4%, y para el sorgo, el 38%. Los coeficientes de digestibilidad de la proteína cruda fueron, por este orden, los siguientes: 87.4, 83.8, 85.3 y 81.1% y la digestibilidad coeficiente de energía bruta fueron: 62,4, 66,4, 46,9 y 47,8%. Entre los ingredientes evaluados, el que tiene la más alta digestibilidad de la materia seca, proteína cruda, y la energía bruta es el salvado de arroz y el ingrediente con la digestibilidad más baja es el sorgo.

2.3. Energía

La energía no es un nutriente. Es más bien un producto final de los nutrientes, los cuales liberan energía cuando son oxidados y metabolizados. Todos los compuestos orgánicos en la alimentación de peces liberan calor en la combustión, y por lo tanto son fuentes potenciales de energía. Para los peces salmónidos, los lípidos y las proteínas proporcionan las fuentes dietéticas primarias de energía, al parecer los carbohidratos de la dieta no juegan un papel tan importante. Fisiológicamente, los lípidos y las proteínas forman una parte importante de la estructura de un pez, pero la necesidad de energía química puede impedir su incorporación a los tejidos y pueden implicar su catabolismo como fuente de energía. Por

lo tanto, la utilización de la energía y nutrientes de cada dieta depende tanto del nivel de la ingesta y de la composición de la dieta (Cho y Bureau 1995).

2.3.1. Energía Digestible

Algunos componentes de la alimentación resisten la digestión y una gran parte de estos pasan a través del tracto digestivo para ser eliminado como heces. La energía que habría sido liberado por la combustión de la materia fecal es eliminada por el animal y se refiere como la pérdida de energía fecal (FE). La diferencia entre la energía bruta del alimento suministrado y de la energía bruta de las heces derivado de una cantidad unitaria de alimento se denomina el valor de energía digestible (Cho y Bureau 1995).

La variación en la digestibilidad de los alimentos es generalmente el factor más importante que afecta a la variación de su utilidad como fuentes de energía para el animal, ya que la pérdida de energía fecal es la pérdida más importante de la energía bruta ingerida. Por lo tanto los valores de energía digestible y la digestibilidad de los nutrientes individuales, tales como proteínas, grasas y carbohidratos deben ser utilizados para estimar los niveles de nutrientes disponibles en los ingredientes de alimentos para la formulación de dietas (Cho y Bureau 1995).

2.3.2. Métodos estadísticos para la estimación de los requerimientos de Energía

Las estimaciones de los requerimientos de nutrientes están influenciadas no sólo por las metodologías utilizadas sino también por los métodos estadísticos elegidos para evaluar la respuesta de las metodologías a las diferentes concentraciones de nutrientes en la dieta. La línea quebrada parece ser el método más utilizado para evaluar los datos de dosis-respuesta de los estudios de requerimientos de nutrientes en peces. Esta técnica implica el uso de dos líneas rectas para modelar la relación dosis-respuesta. La línea ascendente representa el aumento de la respuesta con el aumento de la ingesta de nutrientes, mientras que la línea horizontal (el método de una sola pendiente) representa el nivel de nutrientes. Algunos autores adaptan una línea descendente después del punto de quiebre (el método de dos pendiente). El punto de quiebre, utilizando cualquiera de los métodos, corresponde al requerimiento del nutriente o el mínimo nivel de nutriente que producirá la máxima respuesta (Shearer 2000).

Los modelos no lineales comenzaron a utilizarse en un esfuerzo para abordar situaciones en las que los datos no se ajustaban adecuadamente al modelo de línea quebrada. En estos casos, el aumento de peso del animal alcanzó un máximo y disminuyó significativamente. Por lo tanto, el modelo no lineal se basa en el principio biológico que a menudo se conoce como la ley de rendimientos decrecientes (NRC, 2011). Dentro del enfoque no lineal, podemos encontrar el modelo sigmoideal, el cual consta de cuatro parámetros que describen la forma sigmoideal de la curva de respuesta. Cada sección de la curva se definen como nivel de inicio, deficiencia, adecuado y óptimo.

El modelo exponencial también entra dentro del enfoque mencionado líneas arriba debido a que describe que la respuesta al aumento de la ingesta de nutrientes no es lineal y se define como un incremento decreciente en la ganancia como resultado de incrementos del nutriente dietético añadidos cerca del nivel en el que se obtiene la máxima ganancia. Rodehutschord et al. (1995) presentan el modelo exponencial como $Y = Y_{\max}(1 - e^{-b(x-c)})$, donde “ Y_{\max} ” es la meseta de la curva (asíntota superior), “ x ” es la concentración del nutriente, “ b ” es el parámetro que describe la pendiente de la curva y “ c ” es la concentración de nutriente a $y = 0$. En niveles altamente deficientes, los primeros niveles de suplementación del nutriente limitante resultarán en un aumento significativo en el rendimiento (respuesta lineal). Los efectos disminuirán progresivamente con mayores niveles de suplementación, evidenciados por la pendiente de la curva que disminuye progresivamente, hasta que no se produzca ningún aumento adicional en la respuesta. La desventaja del modelo exponencial y sigmoideal es que la máxima respuesta nunca se alcanza, sólo se aproxima asíntoticamente.

El análisis de regresión polinomial de segundo orden es otro método utilizado para evaluar la respuesta del animal a diferentes concentraciones del nutriente prueba. Se representa por la ecuación $Y = B_0 + B_1X + B_2X^2$. Esta curva se caracteriza por tener un punto máximo único (Y_{\max}) a lo largo de su rango. El valor de X_{\max} que corresponde a Y_{\max} se define como la concentración máxima del nutriente en la dieta que produce un crecimiento óptimo, y más allá del cual el crecimiento se deprime. La ventaja de este procedimiento es que a menudo proporciona un mejor ajuste empírico a las respuestas de crecimiento de los organismos vivos que no presentan un cambio brusco de la linealidad postulada en el análisis de línea quebrada. El enfoque polinomial tiene la ventaja de ser continuo, como la relación de crecimiento-dosis, y debería ser más preciso que los otros métodos si los intervalos entre las concentraciones de nutrientes en las dietas experimentales son amplios. Además, el método

polinomial se adapta bien al análisis económico, si se dispone de información sobre los costos y rendimientos (Zeitoun et al. 1976).

2.3.3. Estudios de Energía Digestible en otras Especies Amazónicas

Gutierrez et al. (1996), realizaron una investigación donde formularon seis dietas experimentales que contenían dos niveles de proteína bruta (27,4 % y 29,8 %) y tres niveles de energía digestible (2700, 2900 y 3100 kcal/Kg. de alimento) por cada nivel de proteína para determinar los requerimientos de proteínas y energía y la relación óptima energía/proteínas para alevinos de paco (*Piaractus brachypomus*) en condiciones controladas, el análisis estadístico demostró que niveles mínimos de 29,8% de proteína bruta y 2700 kcal de energía son los niveles requeridos por esta especie.

Gutierrez et al. (2009) examinaron el efecto de la interacción de dos niveles de proteína (25 y 35%) y tres niveles de energía digestible (2.3, 2.5 y 2.7 kcal/g de alimento) en la dieta sobre la ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA), energía retenida (ER) y el cociente de eficiencia proteica (REP) en la gamitana (*Colossoma macropomum*). Se concluye que la gamitana obtuvo mejor rendimiento cuando fue alimentada con una dieta de 2.7 kcal/g de energía digestible y 25 % de proteína.

Teixeira et al. (2013) realizaron investigaciones en *Pseudoplatystoma* sp, evaluando diferentes niveles de energía, 18.0, 18.8, 19.6, 20.5, 21.3 MJ/kg. Se llegó a la conclusión que el nivel de energía más favorable para el aumento de peso fue de 20,3 MJ / kg.

2.4. Ingredientes Energéticos

2.4.1. Maíz

El maíz amarillo duro es uno de los cultivos más importantes del Perú. Con 283,000 hectáreas cultivadas en 2007, es el segundo en extensión a nivel nacional, después del arroz. Se siembra mayormente en la costa y la selva, siendo Lambayeque, La Libertad, Áncash, Lima y San Martín los principales departamentos productores, que, en conjunto, representan el 55% de área cultivada. Destaca en especial el departamento selvático de San Martín, que cubre aproximadamente el 25% de la extensión sembrada (CEPES 2008).

El maíz molido o harina de maíz es una fuente excelente de energía, pero baja en proteínas. Es un ingrediente importante de alimentación para animales de granja terrestres y es considerado el más palatable de los cereales utilizados para la alimentación animal. Su utilización por los animales puede ser mejorada por tratamiento térmico o hidrotérmico (Hertrampf y Piedad-Pascual 2012).

El maíz es el grano de cereal de mayor valor energético, debido a su alto contenido en almidón y grasa, y su bajo nivel de fibra. La fracción fibrosa (8%) está concentrada en el salvado (82-92%) e incluye principalmente celulosa y pentosanas. Su grado de lignificación es muy bajo. Como consecuencia, el coeficiente de digestibilidad de la fibra es superior al de otros cereales (cebada, trigo), especialmente en monogástricos. El maíz tiene un contenido apreciable de grasa, siendo una buena fuente de ácido linoleico (1,8%). Por ello, tiene interés en dietas para avicultura pobres en grasa. Sin embargo, su uso debe limitarse en animales en cebo para evitar la producción de canales con grasa blanda (FEDNA 2016).

El maíz es deficitario en proteína, que además no está bien equilibrada, especialmente en lisina y triptófano. La fracción nitrogenada del grano tiene una baja proporción de proteínas metabólicas solubles (albúminas y globulinas, 6%) y alta de proteínas de reserva (40% de glutelina y 54% de prolamina). Esta última es muy insoluble y responsable de la relativamente baja degradabilidad de la proteína en rumiantes (45%). Al igual que otros cereales, el maíz es muy deficitario en calcio, sodio, microminerales y vitaminas hidrosolubles. El contenido en fósforo es aceptable (0,25%) pero en gran parte se encuentra en forma de fitatos poco disponibles (FEDNA, 2016).

a. Valor Nutritivo

El análisis proximal del Maíz se presenta en el cuadro 2 según el NRC (2011), para peces. Se puede observar que el valor de Energía Digestible encontrado para *Ictalurus punctatus* es de 2200 Kcal ED/kg.

Cuadro 2: Valor Nutritivo del Maíz Amarillo Duro (base fresca)

Mat. Seca %	88
Proteína %	8.5
Lípidos%	3.6
Fibra%	2.5
Lisina %	0.25
Metionina %	0.17
Treonina %	0.35
Triptófano %	0.08
Energía Digestible <i>Ictalurus punctatus</i> (Kcal/Kg)	2200

Fuente: NRC (2011)

2.4.2. Harinilla de trigo

Los coproductos de la industria de molinería se obtienen en las sucesivas etapas del proceso de molturación y cernido del trigo para la obtención de harina. Estos coproductos representan en su conjunto en torno al 25% del peso del grano. Las fracciones obtenidas reciben distintos nombres en función de la localización geográfica de la industria y, en numerosos casos, resultan de la mezcla de fracciones diferentes. Los nombres más comunes utilizados son los de salvado de hoja, salvado, cuartas, tercerillas, segundas, harinillas y harina baja. Todos ellos están constituidos por porciones variables de tegumentos, germen, capa de aleurona, y endospermo harinoso. En función de las diversas proporciones el contenido de almidón aumenta desde un 20% del salvado hasta el 60% de la harina baja. El contenido de fibra disminuye paralelamente desde un 10% hasta un 2% de fibra bruta, al igual que el fósforo (desde 1,0% hasta 0,4%) mientras que la proteína permanece relativamente estable (14%-15%). Esta terminología se presta a confusión, al identificar los nombres de las mezclas con el de fracciones puras, cuando su composición es, a veces, notablemente diferente. En cualquier caso, el valor nutricional viene definido no por la denominación sino por el contenido de almidón, y en defecto, en fibra bruta (FEDNA 2011).

b. Proceso de Producción

El procesamiento del trigo inicia con el control de la materia prima, ésta tiene que clasificarse, homogenizarse y asegurarse que esté libre de cualquier sustancia química. Antes de realizar la molienda es necesario retirar todas las impurezas del grano, por lo cual este será sometido a separadores de tipo vaivén; que remueven piedras, ramas o cualquier material grueso, separadores de aire; que remueven impurezas finas, separadores de disco; para remover semillas extrañas y separadores magnéticos para evitar el paso de cualquier material metálico. Después al trigo se le adiciona agua para poder ablandar las capas externas que son las más duras para luego poder molerlo. El proceso de molienda se realiza gradualmente, pasando por rodillos más finos y por tamices que van a ir separando la parte de harina de otras partículas de mayor tamaño. La harina de trigo pasa por un proceso de blanqueo y por último de envasado.

c. Valor Nutritivo

El valor nutritivo del trigo (cuadro 3) se ve afectada por la variedad, la precipitación, la temperatura, el riego, la textura y la composición del suelo y en gran medida, el proceso de molienda, las clases de trigo a partir del cual se muele la harina o salvado, y el uso de fertilizantes (Hertrampf y Piedad-Pascual 2012).

Cuadro 3: Valor Nutritivo de la Harinilla de trigo

Mat. Seca %	89.00
Proteína %	17.00
Lípidos%	4.30
Fibra%	8.00
Lisina %	0.67
Metionina %	0.18
Treonina %	0.54
Triptófano %	0.20
Isoleucina %	0.67
Valina %	0.75
Arginina %	0.98
Energía Digestible Trucha arcoíris (Kcal/Kg)	2173

Fuente: NRC (2011)

2.5. Parámetros Ambientales

Los parámetros físico-químicos del agua son factores clave para crecimiento de los animales en cautiverio. La gama de tolerancia a estos parámetros (oxígeno disuelto, temperatura, pH, alcalinidad, amoníaco total, turbidez, dureza y conductividad) depende de cada organismo animal. Los parámetros analizados para *matrinxã* alcanzaron niveles mínimo y máximo, respectivamente, oxígeno 2.03 mg / L-1 y 73,5 mg / L-1; temperatura, 22.46 ° C y 30.86 ° C; pH 5,64 a 8; alcalinidad 8,13 mg / L a 87,82 mg / L; turbidez 2,11 NTU y 50 NTU; amoníaco 0,03 mg / L y 0,64 mg / L; y la conductividad 45 y 140.33 (cuadro 4). Para la mayoría de los peces tropicales, la concentración mínima de oxígeno disuelto para el cultivo debe ser mayor a 4,0 mg /L-1, niveles más bajos convertirían el ambiente estresante y el crecimiento se vería comprometido (Gomes y Urbinati 2005, citado por Gadelha y Araujo 2013).

Cuadro 4: Valores Promedio de los Parámetros Físico-químicos del agua que se encuentran en la Literatura.

Oxígeno (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	Amonio total (mg/L)	Conductividad (µS/cm)	Autor
6.92	27.74	7.25	-	-	0.03	-	Zanuzzo, 2010
7.35	24.5	6.9	51.4	-	-	-	Dias et al., 2011
3.9	22.46	8	27.67	-	-	-	Frasca-Scorvo et al., 2001
5	28.9	-	-	-	-	45	Arbeláez-Rojas et al., 2002
6.4	26.6	7	-	-	-	-	Oda, 2009
-	28	-	-	-	-	-	Freitas, 2010
-	24.98	-	-	-	-	-	Carvalho y Urbinati, 2005
2.72	24.28	6.49	-	-	-	140.33	Pedreira et al., 2010
6.06	30.86	5.64	8.13	7.13	0.29	-	Brandão et al., 2005
6.7	28.08	6.8	77.33	-	0.061	-	Neumann, 2008
6.49	30.07	7.65	87.82	-	0.64	-	Neumann, 2008
5.8	26	7.2	-	-	-	69.7	Pedreira et al., 2008

Fuente: Gagelha y Araujo (2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar y Fecha de Ejecución

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC), perteneciente al Departamento Académico de Nutrición de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina, durante los meses de febrero a abril del 2016. Los análisis químicos fueron realizados en La Molina Calidad Total Laboratorios y la determinación de Energía Bruta fue realizada en el Instituto de Investigación Nutricional.

3.2. Etapas de la Investigación

La investigación fue realizada en dos etapas: Experimento I, fue realizado durante 30 días y se obtuvo la energía digestible (ED) del maíz y la harinilla de trigo en alevines de Sábalo cola roja, mediante la determinación del coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) utilizando el método indirecto. Experimento II, fue realizado durante 37 días y tuvo como objetivo estimar el requerimiento de energía digestible en Alevines de Sábalo cola roja, utilizando los valores de ED de los insumos del Experimento I.

3.3. Experimento I: Digestibilidad y Energía Digestible de Ingredientes Energéticos

3.3.1. Animales Experimentales

Para la prueba de digestibilidad se utilizaron 36 peces, distribuidos en nueve acuarios con cuatro peces cada uno. El peso promedio fue de 110 g con una longitud promedio de 20 cm.

3.3.2. Instalaciones y Equipos

La evaluación se realizó en los Acuarios de Digestibilidad del LINAPC (Anexo XX). Los acuarios son de tipo Guelph, fabricados de fibra de vidrio con capacidad para 54L de agua. Poseen una medidas de 0.47 x 0.47 x 0.50m, paredes rectas y aristas curvadas $r=6\text{cm}$. El tipo del material es 450 g/m² anhidra, con un espesor hasta 6mm, con base plana.

3.3.3. Tratamientos

El cuadro 5 muestra las fórmulas de las dietas experimentales a utilizar. Se realizaron tres dietas, cada una con tres repeticiones. El primer tratamiento estuvo conformado por la dieta de referencia, la cual fue elaborada a partir de la dieta comercial para sábalo cola roja más la adición del óxido crómico. El segundo tratamiento fue elaborado a partir de la dieta de referencia con la adición de maíz en 40%. Por último, el tratamiento tres, se elaboró a partir de la dieta de referencia y la adición de la harinilla de trigo en 40%.

Tratamiento 1: Dieta de referencia, 99.5% de dieta comercial y 0.5% de óxido de cromo (Cr₂O₃)

Tratamiento 2: Dieta de prueba de maíz, con 40% de Maíz, 59.5% de la dieta referencia, y 0.5% de óxido de cromo (Cr₂O₃)

Tratamiento 3: Dieta de prueba de harinilla, con 40% de Harinilla de trigo, 59.5% de la dieta referencia, y 0.5% de óxido de cromo (Cr₂O₃)

3.3.4. Dietas Experimentales

La dieta de referencia se obtuvo utilizando la formulación al mínimo costo por programación Lineal, la cual cubrió los requerimientos recomendados por Vergara et al. (2016). En la preparación de la dieta de referencia se utilizaron insumos comerciales de fácil disponibilidad, tales como harina de pescado, maíz amarillo duro, harinilla de trigo, torta de soya, aceite de soya y aditivos tales como carbonato de calcio, premezcla de vitaminas y minerales, inhibidor de hongos y antioxidante. El óxido de cromo (Cr₂O₃) fue usado como un indicador inerte a una concentración de 0.5 %, el cual fue incluido homogéneamente a través de diluciones consecutivas. Las tres dietas experimentales mencionadas fueron peletizadas formando pellets de 3 mm de diámetro y 5 mm de longitud. El alimento peletizado se dejó enfriar y después se procedió a zarandearlo con una malla de 2.5mm, para asegurar el tamaño adecuado de los pellets.

Cuadro 5: Formulas de la Dieta de Referencia (DR), la dieta prueba con Maíz (DM) y la dieta prueba con Harinilla (DH) para la Prueba de Digestibilidad y el Valor Nutritivo Calculado (base fresca)

TRATAMIENTOS			
Ingredientes %	DR	DM	DH
Torta de soya, 46	36.02	21.61	21.61
Maíz	22.89	53.15	13.68
Harina de Pescado, 66	19.90	11.94	11.94
Harinilla de trigo	16.45	9.87	49.29
Aceite de soya	3.30	1.98	1.98
Sal	0.40	0.40	0.40
Premezcla vitaminas y minerales	0.20	0.20	0.20
Cloruro de colina	0.10	0.06	0.06
Inhibidor de Hongos	0.05	0.03	0.03
Antioxidante	0.20	0.20	0.20
Oxido de Cromo	0.50	0.50	0.50
TOTAL	100	100	100
Valor Nutricional Estimado %			
Mat. Seca %	89.48	88.14	89.34
Proteína %	35.00	24.38	27.18
Fibra %	2.64	2.17	3.57
Grasa %	7.99	6.44	6.56
ED Sábalo (Mcal/Kg)	3.45	3.31	3.35
Lisina %	2.32	1.48	1.67
Metionina %	0.73	0.51	0.53
Cistina %	0.44	0.29	0.34
Arginina %	2.38	1.58	1.82
Treonina %	1.41	0.97	1.05
Triptófano %	0.45	0.29	0.34
Valina %	1.86	1.29	1.39
Met. + Cist. %	1.22	0.88	0.95
Fen. + Tir %	2.90	2.06	2.13
Ac. Gs. N-3 %	1.03	0.61	0.61
Ac. Gs. N-6 %	2.21	2.16	1.32
Fosf. Total %	0.94	0.67	0.92
Calcio %	0.87	0.52	0.57
Sodio %	0.40	0.24	0.29
Potasio %	1.21	0.85	1.11
Cloro %	0.48	0.3	0.3
Colina (ppm)	2757.70	2001.24	2140.05
Prot. Dig.	28.88	20.32	22.79

3.3.5. Análisis de Datos

a. Recolección de Heces

Durante el Experimento I, el alimento fue ofrecido dos veces al día, en la mañana 8:00 am. y en la tarde a las 5:00pm. Para poder asegurar que todo el alimento ofrecido sea ingerido por los peces, se ofreció el alimento pellet a pellet. Al comienzo de la prueba los peces fueron alimentados con las dietas experimentales durante 3 días son coleccionar las heces. Ya en el cuarto día, una hora después de la última alimentación cada acuario tuvo que someterse a limpieza con el fin de eliminar del sistema los residuos de alimento y heces. Para lo cual un tercio del agua de cada acuario fue vaciado. El día siguiente, a las 8:00 am, las heces sedimentadas fueron extraídas cuidadosamente del sistema de colección de heces y se pasó a través de una malla de 100um para poder colocarlas en placas Petri para posteriormente ser secadas en la estufa a 65°C por 6 horas de tal manera que se pueda reducir la humedad, luego se congelaron y almacenaron hasta su análisis. Este procedimiento fue repetido por 30 días para recolectar 15 gramos de heces secas por acuario aproximadamente.

b. Análisis de Laboratorio

Se realizó el análisis químico proximal para determinar el contenido de humedad, proteína, lípidos, ceniza y extracto libre de nitrógeno de los ingredientes, dietas y heces por unidad experimental. Así mismo la energía bruta se cuantificó utilizando la bomba calorimétrica. Se determinó las concentraciones de óxido de cromo en las dietas y heces por el método AOAC (1990).

c. Calculo del Coeficiente de Digestibilidad Aparente de la Energía, Proteína, Lípidos y ELN

Las estimaciones del porcentaje de digestibilidad aparente se realizaron sobre la base de la cantidad de heces en cada una de las réplicas colectadas durante 30 días. Los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) para materia seca, proteína cruda, lípido crudo y energía bruta, fueron determinados utilizando las ecuaciones descritas por NRC (2011).

$$CDA d = 1 - \frac{\%Cr2O3 d}{\%Cr2O3 h} \times \frac{\%Nh}{\%Nd}$$

Dónde:

CDA (d) = Coeficiente de digestibilidad aparente de la dietas

Cr2O3d = % de óxido de cromo en las dietas

Cr2O3h = % de óxido de cromo en las heces

Nd = concentración del componente en las dietas

Nh = concentración del componente en las heces

Fórmulas para determinar digestibilidad del ingrediente (NRC, 2011)

$$CDA\ ing = CDA\ dp + ((CDA\ dp - CDA\ dr) \times (b \times Dr / a \times Ding))$$

Dónde:

CDA (ing) = Coeficiente de digestibilidad aparente del ingrediente prueba

CDA (dp) = Coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta prueba

CDA (dr) = Coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta referencial

a = porcentaje del ingrediente prueba

b = porcentaje de la dieta referencial

Dr = porcentaje del nutriente o kcal/energía bruta de la dieta de referencia

Ding = porcentaje de nutriente o kcal/energía bruta del ingrediente

d. Calculo de la Digestibilidad de los Nutrientes y Energía Digestible del Maíz y la Harinilla de Trigo

En base a los resultados obtenidos del análisis proximal del maíz y la harinilla de trigo, se determinó el coeficiente de digestibilidad de los nutrientes (%). Esto resultó del producto entre la concentración en %, del nutriente en el ingrediente y su coeficiente de digestibilidad aparente, previamente calculado. Con la siguiente fórmula se encontró la digestibilidad aparente de la materia seca, proteína, extracto etéreo (EE) y extracto libre de nitrógeno (ELN), fibra cruda, ceniza y energía digestible.

$$D = (\% N) * (CDA\ ing)$$

Donde:

D: Valor obtenido de la energía digestible o digestibilidad de la proteína, EE o ELN del maíz o harinilla de trigo

% N: Contenido de energía bruta o porcentaje de proteína, EE o ELN del maíz o harinilla de trigo

CDA ing: coeficiente de digestibilidad aparente de la energía o nutrientes obtenidos en la prueba de digestibilidad.

3.4. Experimento II: Determinación del Requerimiento de Energía Digestible

3.4.1. Animales Experimentales

Para la prueba de crecimiento (Experimento II), se utilizaron 105 peces, distribuidos en quince acuarios con siete peces cada uno. El peso promedio fue de 46 g.

3.4.2. Instalaciones y Equipos

La evaluación se realizó en los acuarios de crecimiento del LINAPC, fabricados de fibra de vidrio con capacidad de hasta 75L de agua (Anexo XX).

Durante todo el experimento la calidad del agua permaneció estable, con las siguientes condiciones: oxígeno disuelto entre 5-6 mg/L, el pH entre 7 – 8, temperatura 27– 29°C y amonio 0.0 mg/L.

3.4.3. Tratamientos

El cuadro 6 muestra las fórmulas utilizadas. Se evaluaron cinco niveles de Energía Digestible en dietas isoproteicas, 35% de Proteína Bruta (Vergara et al. 2016), teniendo como resultado los siguientes tratamientos:

Tratamiento 1: 3.3 Mcal de Energía Digestible (ED)/ Kg.

Tratamiento 2: 3.4 Mcal ED/ Kg.

Tratamiento 3: 3.5 Mcal ED/ Kg

Tratamiento 4: 3.6 Mcal ED/ Kg.

Tratamiento 5: 3.7 Mcal ED/ Kg

3.4.4. Dietas Experimentales

Las cinco dietas experimentales se obtuvieron utilizando la formulación al mínimo costo por programación Lineal, la cual cubrió el requerimiento proteico de los sábalo. En la preparación de la dieta de referencia se utilizaron insumos comerciales tales como harina de

pescado, maíz amarillo duro, harinilla de trigo, torta de soya, aceite de soya y aditivos tales como carbonato de calcio y premix de vitaminas y minerales.

3.4.5. Metodología Dosis-Respuesta

El método dosis-respuesta, determina los requerimientos con base en la respuesta del desempeño de los animales, alimentados con dietas que contienen niveles crecientes del nutriente estudiado (Campos et al. 2008). En este trabajo de investigación, los peces fueron alimentados con dietas experimentales que contenían niveles crecientes de Energía Digestible, obteniendo cinco dietas con niveles de ED creciente, de 3.3-3.7 Mcal/Kg, como se expuso en líneas anteriores. La respuesta se determinó evaluando el desempeño de los peces mediante los parámetros definidos en puntos más adelante.

3.4.6. Parámetros

a. Ganancia de Peso e Incremento de Talla

Al inicio y al final del experimento se registró el peso unitario y la talla de los peces de cada acuario.

Ganancia peso = Peso final - Peso inicial

Incremento de Talla = Talla final- Talla inicial

b. Ganancia de Biomasa

La ganancia de biomasa fue hallada por diferencia entre el peso biomasa final e inicial.

GB= biomasa final – Biomasa inicial

c. Consumo de Alimento

La cantidad de alimento ofrecido, fue calculado considerando la biomasa total de peces por acuario, y la tasa de alimentación, comenzando con 8 por ciento de la biomasa, y se ajustó luego de cada biometría. Luego se pesó el alimento restante y por diferencia se obtendrá la cantidad de alimento consumido.

d. Conversión Alimentaria

La conversión alimenticia se determinó dividiendo el alimento consumido en el periodo de alimentación, entre la ganancia de peso en dicho periodo.

$$\text{Conversión alimentaria} = \frac{\text{Alimento consumido}}{\text{Incremento de peso}}$$

e. Eficiencia Alimenticia

La eficiencia alimenticia se determinó dividiendo el incremento de peso entre alimento consumido en el periodo de tiempo experimental.

$$\text{Eficiencia alimenticia} = \frac{\text{Incremento de peso}}{\text{Alimento consumido}}$$

f. Tasa de Retención de Energía

Se determinó la Tasa de Retención de Energía según la fórmula citada en la investigación de Da Cunha et al. (2015).

$$TRE (\%) = 100X(EC_1W_1 - EC_0W_0)/Consumo EB$$

Dónde:

W₀ y W₁: Peso inicial y final

EC₁ y EC₀: Concentración de Energía Bruta en el pez al inicio y al final (Kcal por kg de peso húmedo)

g. Tasa de Retención de Proteína

Se determinó la Tasa de Retención de Energía según la fórmula citada en la investigación de Da Cunha et al. (2015).

$$TRE (\%) = 100X(PC_1W_1 - PC_0W_0)/Consumo Proteína$$

Dónde:

W₀ y W₁: Peso inicial y final

PC₁ y PC₀: Concentración de Proteína Bruta en el pez al inicio y al final (Kcal por kg de peso húmedo)

3.4.7. Análisis de Datos

a. Evaluación de Crecimiento

Los alevines fueron separados aleatoriamente para formar unidades experimentales con pesos homogéneos para distribuirlos al azar en 15 peceras con 7 peces cada una. Se procedió a realizar la biometría inicial, que consistió en tomar el peso y talla inicial. Este procedimiento se repitió al final de la prueba.

b. Análisis de Laboratorio

Se realizó el análisis químico proximal para determinar los contenidos de humedad, proteína, lípidos, fibra, ceniza y extracto libre de nitrógeno de las dietas experimentales. Así mismo la energía bruta fue cuantificada utilizando la bomba calorimétrica.

Se realizó análisis de proteína, grasa, ceniza y humedad a la carcasa de los peces, para lo cual se tomó una muestra representativa al inicio y al final del experimento por cada tratamiento.

c. Diseño Experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cinco tratamientos (niveles de Energía Digestible) y 3 repeticiones para cada uno.

El modelo es el siguiente:

$$Y_{ik} = \mu + T_i + e_{ik}$$

Dónde:

Y_{ik} = el valor observado del i-ésimo tratamiento y la k-ésima repetición

μ = media general

T_i = efecto del tratamiento i, siendo i = las diferentes dietas

e_{ik} = error aleatorio asociado a cada observación

El análisis de varianza se realizó aplicando el procedimiento ANOVA y las diferencias significativas entre las medias fueron clasificadas según la prueba de rangos múltiples de Duncan.

Para la determinación del requerimiento de energía se utilizó el análisis de regresión teniendo como variable independiente el nivel de energía digestible de la dieta y como variables respuesta la ganancia de peso, la eficiencia alimenticia y la tasa de retención de energía y proteína. Se utilizaron las ecuaciones de regresión de la línea quebrada y polinomial planteados Robbins et al. (2006) y Zeitoun et al. (1976), respectivamente.

- Ecuación para el análisis de regresión línea quebrada.

$$y = \langle M ; \text{si } x > \text{requerimiento} \mid \mid M - b * (R - x) ; \text{si } x \leq \text{requerimiento} \rangle$$

Dónde:

y = ganancia de peso diaria (g) o conversión alimenticia.

x = valor ED del alimento (Kcal/Kg)

M = es la ordenada en el punto de inflexión del modelo.

R = es la abscisa en el punto de inflexión del modelo.

b = pendiente

- Ecuación para el análisis de regresión polinomial de segundo orden

El punto máximo de la curva se obtuvo sacando la derivada e igualando a cero la ecuación. La curva se caracteriza por tener un punto máximo único a lo largo de su rango que corresponde a la concentración del nutriente que produce la máxima respuesta.

La ecuación de la regresión polinomial de segundo orden es:

$$Y = B_0 + B_1X + B_2X^2$$

Dónde:

X = es la concentración del nutriente evaluado

B_{0,1 y 2} = Coeficientes de la regresión

Para el análisis estadístico se utilizó el Software Statistical Analysis System (SAS 1998).

3.5. Calidad del Agua

Los parámetros de calidad del agua fueron medidos tres veces por semana; directamente del acuario: temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, dureza, NH₄ y NO₃. A continuación se detallan los equipos utilizados.

Temperatura: Se utilizó un termómetro ambiental y uno digital con sensor externo utilizado en los acuarios, ambos de la marca de la marca Sper Scientific. El rango de medición de los termómetros es de -50°C - 50°C , con 0.1°C de precisión.

Oxígeno: Se utilizó un oxímetro Pin Point II, el cual medirá el oxígeno disuelto mediante electrodos. Compensado para temperaturas de 0 a 50°C , con una precisión de ± 0.2 mg/l. El rango de medición es de 0-20 mg/L

Dureza: Se utilizó el kit de tres reactivos LaMotte, el cual utiliza el valorador de lectura directa, que proporciona una lectura dentro del rango de 0-200 ppm, con una sensibilidad de 4 ppm.

Amoniaco: Se utilizó el kit de reactivos LaMotte y el medidor de amoniaco de la marca Hanna Instruments. El rango de medición es de 0.00 – 3.00 mg/L, con una precisión de 0.01 mg/L.

Potencial de hidrógeno (pH): La medida del pH se realizó mediante el pHmetro lápiz Phestr 10. El rango de medición es -1.0 to 15.0 pH, con una precisión de 0.1 pH.

Nitritio: Fue medido mediante el kit colorimétrico de tres reactivos de la marca Sera. El rango de medición es de 0.0 – 400.0 mg/L.

Conductividad: Se utilizó un medidor de Conductividad eléctrica de la marca Hanna Instruments. . El rango de medición es 0.00 a 20.00 mS/cm, con una precisión de $\pm 2\%$ F.S. El siguiente trabajo experimental cumplió con los parámetros requeridos de calidad de agua para sábalo cola roja (*Brycon erythropterus*). Los parámetros de calidad de agua obtenidos en el presente experimento se muestran en el Anexo 1. Como se puede observar, se encuentran dentro de los valores que necesita la especie Brycon para desarrollarse de manera óptima. La temperatura del agua en los acuarios durante la fase experimental fue en promedio de 28.3°C , encontrándose dentro del rango recomendado por Guimarães y Storti-Filho (2003), quienes mencionan que el rango de tolerancia para *Brycon cephalus* es de $18-36^{\circ}\text{C}$, siendo 27°C la temperatura óptima. Parámetros similares son los expuestos por Flores y Brown (2010) quienes exponen unos intervalos de temperatura del agua para el cultivo de *B. orbignyanus* y *B. hilairei* entre 14 a 33°C , mientras que para *B. amazonicus* y otras especies

amazónicas entre: 18 a 34° C, siendo la temperatura adecuada para la fisiología del Género Brycon entre 25 – 28°C.

En la medida del potencial de hidrogeno (pH) el valor promedio mantenido en la presente evaluación fue 7.42, valor que se encuentra cercano al nivel óptimo probado por Oda (2009), $7,0 \pm 0,4$. Por otro lado, se registró que el promedio de oxígeno disuelto en la presente investigación fue de 5.48 mg/L, Arbeláez-Rojas et al. (2000) menciona que los valores adecuados para la crianza del Brycon cephalus con respecto al nivel de oxígeno disuelto debe ser en promedio 5 mg/L, mientras que Rodríguez-Franco et al. (2014), encuentra niveles de 6.5 ± 1.2 en Brycon moorei.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Experimento I: Digestibilidad y Energía Digestible de Ingredientes Energéticos

4.1.1. Coeficientes de Digestibilidad aparente del Maíz

El coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) para la materia seca del maíz se presenta en el cuadro 7, donde se registra un valor de 68.07%. Meurer (1999) citado por De Oliveira Filho y Fracalossi (2006), quien trabajó con *Brycon orbignyanus*, encontraron que el coeficiente de materia seca para el maíz fue de 84.8%, valor mayor en 16.73% al encontrado en esta investigación. Sin embargo, en trabajos realizados en tilapia por Furuya et al. (2008), se encontró que el CDA de la materia seca para el maíz en dietas peletizadas fue 78.08%, valor más cercano al compararlo con el resultado del presente trabajo. Guimaraes et al. (2008) por otro lado, utilizando la misma especie, encontraron que el CDA de la materia seca para maíz fue 82.21%, la diferencia puede deberse a que las dietas fueron extruidas. Dong et al. (2010) trabajaron con juveniles de tilapias de Nilo de 7gr en promedio, hallaron los CDA de la materia seca en harina de gluten de maíz y de germen de maíz, encontrando valores de 77.4% y 64.4%, respectivamente. Así mismo, Meurer et al. (2003), trabajando con la misma especie, encuentran que el CDA para gluten de maíz fue de 91.01%. Se puede concluir entonces que el CDA de la materia seca del gluten de maíz es mayor en comparación con el germen de maíz y el maíz entero. Investigaciones en otras especies similares como gamitana (*Colossoma macropomum*) y paco (*Piaractus brachypomus*), nos muestran resultados de CDA para la materia seca del maíz de 82.38% (Gutiérrez et al., 2008), y 89.1% (Fernandes et al. 2004).

El coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína del maíz se presenta en el cuadro 7. El resultado obtenido en este trabajo es de 73.90%, menor al valor obtenido por Meurer (1999) citado por De Oliveira Filho y Fracalossi (2006), quien obtuvo 92.4% de coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína del maíz. Boscolo et al. (2002), trabajando con tilapias de Nilo, también encontraron un valor mayor para el CDA del maíz, 93.40%. Sin embargo en investigaciones en la misma especie, Furuya et al. (2008), encontraron que el CDA de la proteína para el maíz era 87.12%.

Cuadro 6: Coeficientes de Digestibilidad Aparente (CDA) de la Materia Seca, Proteína Cruda, Extracto Etéreo, Energía Bruta y Energía Digestible Aparente de los Ingredientes Maíz y Harinilla de Trigo suministrada al “Sábalo Cola Roja” (*Brycon erythropterum*) en Base Seca.

Nutrientes %	MAIZ	HARINILLA DE TRIGO
Materia Seca	68.07	52.27
Proteína	73.90	88.70
Extracto etéreo	88.27	88.95
Ceniza	43.97	68.79
ELN	83.40	45.89
EB	68.92	53.29
*EDA Mcal/kg	3.18	2.12

Por otro lado, Guimaraes et al. (2008), también trabajando con tilapias, encontraron que el CDA de la proteína para maíz fue 72.86%, valor similar a lo encontrado en esta investigación. Por otra parte, al evaluar los subproductos del maíz en tilapias del Nilo se puede observar que el gluten de maíz poseen valores de CDA de la proteína, mayores en comparación al grano de maíz, como lo demuestran Dong et al. (2010) y Meurer et al. (2003), con valores 95.4 y 97.61%, respectivamente. En otras especies amazónicas, Abimorad y Carneiro (2004) trabajando en *Piaractus mesopotamicus* y Fernandes et al (2004), trabajando en *Piaractus brachypomus*, encontraron valores de CDA para la proteína del maíz de 84.38 y 85.06%, respectivamente, resultados mayores a los encontrados en esta investigación. Sin embargo, Gutiérrez et al. (2008), trabajando con juveniles de *Colossoma macropomum* 150,0 g en promedio, hallaron que el CDA para la proteína del maíz fue de 75.46%, valor que se acerca al encontrado en el presente trabajo de investigación.

El coeficiente de digestibilidad aparente del extracto etéreo del maíz se presenta en el cuadro 7, registrándose un valor de 88.27%. Pezzato et al. (2002), encontraron que el CDA para el extracto etéreo del maíz es menor en 19.23% a lo expuesto en esta investigación. Sin embargo, al compararlo con el CDA obtenido por Furuya et al. (2008) trabajando también con tilapias de Nilo, encuentran un valor mayor en 2.91 % a lo encontrado en el presente trabajo. Con respecto a subproductos como el gluten de maíz evaluado en tilapias, se observa que posee un CDA del extracto etéreo mayor al maíz grano. Experiencias como las de Dong et al. (2010) y Pezzato et al. (2002), lo demuestran, puesto que presentan valores de 89.7 y 90.73 % de CDA para el extracto etéreo del gluten de maíz respectivamente. Evaluaciones en otras especies amazónicas como la gamitana, Gutierrez et al. (2008), obtuvieron un CDA para el extracto etéreo del maíz de 76.17% mientras que Fernandes et al. (2004), en paco, se encontraron que el CDA del extracto etéreo para el maíz fue de 83.01%, resultados menores a los expuesto en esta investigación.

El coeficiente de digestibilidad aparente del ELN y la ceniza del maíz se presentan en el cuadro 7. El valor encontrado para el CDA del ELN es de 83.40%, inferior al presentado por Vergara y Ferrer (2011), quienes trabajaron con pacos, hallando un valor de 94.14%. Por otro lado, Dong et al. (2010), evaluando el ingrediente en tilapias, hallaron los CDA de la ceniza en harina de gluten de maíz y de germen de maíz, encontrando valores de 63% y 98.6%, respectivamente, valores mayores en comparación a lo expuesto en esta investigación, 43.97%.

4.1.2. Coeficientes de Digestibilidad Aparente de la harinilla

El coeficiente de digestibilidad aparente para la materia seca de la harinilla se presenta en el cuadro 7. En el experimento presentado se encontró que el CDA para la materia seca de la harinilla de trigo fue de 52.27%, valor menor en 23.37% en comparación al encontrado en el maíz. Sin embargo, Guimaraes et al. (2008), utilizando tilapias, encontraron que el CDA para subproducto trigo es menor en 6.39% en comparación al resultado obtenido en esta investigación. Por otro lado, Furuya et al. (2008), también en juveniles de tilapia de Nilo, encontraron que el CDA de la materia seca para la harina de trigo era mayor en 15.46% comparando con el valor del presente trabajo. Resultado similar obtienen Boscolo et al. (2002) investigando en la misma especie, pudiéndose encontrar un CDA de la harina de trigo mayor en 14.52% en comparación al resultado de esta investigación. Torres et al. (2010) realizaron el estudio en tilapia Roja híbrida (*Oreochromis sp.*) de 270 g de peso vivo promedio, encontrando valores de CDA para la harina de trigo de tercera y la harina de trigo duro, 59.0 y 66.0% respectivamente. Por otra parte, en especies similares como el paco, Fernandes et al. (2004), encontraron que el CDA para el salvado de trigo fue de 82.05%.

El coeficiente de digestibilidad aparente para la proteína de la harinilla de trigo se presenta en el cuadro 7. El resultado obtenido fue de 88.70, mayor en 22.88% en comparación con el resultado obtenido por Guimaraes et al. (2008), trabajando con tilapias de Nilo y como ingrediente al subproducto de trigo. Así mismo, Furuya et al. (2008), en la misma especie, encontraron que el CDA de la proteína para la harina de trigo fue de 78.21% menor al compararlo con el encontrado en este experimento. Sin embargo, este resultado difiere a lo encontrado por Boscolo et al. (2002), quienes exponen que el CDA de la harina de trigo era de 91%. No obstante, Pezzato et al. (2002) concuerda con este último, pues encuentran que el CDA para la harina de trigo es de 91,13%. Torres et al. (2010) realizaron el estudio en tilapia Roja híbrida (*Oreochromis sp.*) de 270 g de peso vivo promedio, encontrando valores de CDA para la harina de trigo de tercera y la harina de trigo duro, 85.4, 83.5% respectivamente. Por otra parte, Fernandes et al. (2004), nos muestran otra especie con la que se pueden comparar estos resultados, al evaluar el CDA en paco con un peso vivo de 370 g, se encontró que para el salvado de trigo el CDA es 61.62%. Comparando el CDA de la proteína del maíz, obtenido en esta investigación, podemos ver que el valor es menor al CDA de la harinilla en 14.8%.

El coeficiente de digestibilidad aparente del extracto etéreo de la harinilla se presenta en el cuadro 7. El CDA del extracto etéreo encontrado en esta investigación es de 88.92%, valor que difiere al encontrado en el maíz probado en esta investigación por 0.67%. En la investigación realizada por Furuya et al. (2008), en juveniles de tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*), encontraron que el coeficiente de digestibilidad aparente del extracto etéreo para la harina de trigo es menor en 12.94%. Por otro lado, Pezzato et al. (2002), investigando en la misma especie, encontraron que el CDA para la harina de trigo es menor en 21.55%, comparado con el resultado obtenido en esta investigación. Por otra parte, Fernandes et al. (2004), investigando en paco, se encontró que el CDA para el salvado de trigo fue de 85.45%.

El coeficiente de digestibilidad aparente del ELN de la harinilla se presenta en el cuadro 7. Vergara y Ferrer (2013), reportaron un valor de 22.79% para la harinilla evaluada en gamitanas (*Colossoma macropomun*). El CDA encontrado en esta investigación fue de 45.89%, valor mayor al compararlo con la cita anterior, pero menor en comparación con el maíz probado en esta investigación.

Los resultados obtenidos en esta investigación se muestran variables con respecto a las demás investigaciones citadas, la principal razón puede ser la falta de estudios en esta especie, *Brycon erythropterum*, lo cual nos inclina a comparar los resultados con especies de comportamiento alimenticio similar, pero con las peculiaridades propias de la especies. Las diferencias pueden encontrarse también en el ingrediente utilizado, por ejemplo, Lanna et al. (2004) encontraron que la inclusión de niveles excesivos de fibra causó una reducción en la digestibilidad de los alimentos a prueba, probablemente mediante la reducción del tiempo de tránsito gastrointestinal. El procesamiento de las dietas también puede influir en la digestibilidad de los ingredientes. Los procesos de extrusión conducen a cambios estructurales del almidón resultante de las rupturas de enlaces de hidrógeno (Lawrence 1985, citado por Honorato et al. 2010), que reducen la complejidad de almidón, resultando en una mejora de la digestión.

4.1.3. Energía Digestible del Maíz

La energía Digestible (ED) del maíz se presenta en el cuadro 7. Se encontró un valor de Energía digestible aparente de 3.18 Mcal ED/Kg. Boscolo et al. (2002), encontraron que ED del maíz evaluado en tilapias de Nilo era 3.031 (Mcal ED/Kg) tal como ofrecido. Pezzato et

al. (2002) también investigando en tilapias de Nilo, encontrando que la ED del maíz fue de 3.32, Mcal ED/Kg en base seca. Por otro lado, Gutiérrez et al. (2008), trabajando con juveniles de *Colossoma macropomum*, hallaron que la ED del maíz fue de 2.83 Mcal ED/kg, resultado que se aproxima al encontrado en esta investigación. En investigaciones en otra especie similar como el paco (*Piaractus mesopotamicus*), Abimorad y Carneiro (2004) y Fernandes et al. (2004) encontraron valores de ED para el maíz de 3.464 y de 3.353 Mcal ED/kg respectivamente. Como se puede observar en las investigaciones revisadas la energía digestible presentada en esta investigación se aproxima a lo encontrado en los trabajos citados.

4.1.4. Energía Digestible de la Harinilla de Trigo

La energía Digestible (ED), de la harinilla de trigo se presenta en el cuadro 7, registrándose un valor de 2.12 Mcal ED/Kg. Boscolo et al. (2002), encontraron que ED de la harina de trigo y el trigo entero en tilapias de Nilo fue 2.826 y 3.424 Mcal ED/Kg tal como ofrecido valores mayores a los encontrados en esta investigación que fue de 2.12 Mcal ED/Kg. Así mismo, Pezzato et al. (2002) en esta misma especie, encuentran que la ED para la harina de trigo es 3.126, Mcal ED/kg en materia seca. Por otro lado, Abimorad y Carneiro (2004) en paco (*Piaractus mesopotamicus*), encontraron que la ED de la harina de trigo es 3.313 Mcal ED/kg. Fernandes et al. (2004) utilizando como ingrediente a evaluar el salvado de trigo y Vásquez-Torres et al. (2013) harina de trigo de tercera y evaluado en *Piaractus brachypomus* encuentran que la ED fue de 1.784 y 1.534 Mcal ED/Kg, respectivamente. Como se ha mencionado antes, en el caso de los subproductos de trigo, aquellos que posean mayor cantidad de fibra poseen coeficientes de digestibilidad aparente de nutrientes menor, y por lo tanto la energía digestible disminuye también. Lo que claramente puede observarse comparando el valor de energía digestible de la harina de trigo y el salvado de trigo citado líneas arriba, presentado una diferencia de 1.342 Mcal ED/kg.

4.2. Experimento II: Estimación del requerimiento de Energía Digestible

4.2.1. Estimación del requerimiento mediante pruebas de rango múltiple

a. Biomasa, Peso Corporal y talla

Los resultados de ganancia de biomasa, ganancia de peso e incremento de longitud se presentan en el Cuadro 9. Como se puede observar en el análisis de varianza (Anexo XI, XII y XIII) se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$), para

ganancia de biomasa y ganancia de peso, pero no para incremento de talla. Se puede observar que el tratamiento II, el cual tenía el nivel de energía de 3.4Mcal/ Kg, relación de energía/proteína de 9.7, presenta la mayor ganancia de biomasa y peso en comparación con los demás tratamientos. Vergara et al. (2016a) trabajando también con *Brycon erythropterum* obtienen resultados cercanos, encontrando que la mayor ganancia de peso se da con el nivel de 3.5 Mcal ED/Kg. Investigaciones en otras especies amazónicas como en *Rhamdia* sp., se ha encontrado que la mayor ganancia de peso se obtuvo con un nivel de 3.4 Mcal ED/kg y 51% de proteína (Piedras et al., 2006). Por otro lado, Escobar et al. (2006), trabajando con alevinos de *Oreochromis niloticus* variedad Chitralada de peso medio inicial de 1.05g., obtuvieron la mejor ganancia de peso en dos tratamientos, el que utilizaba 3.3 Mcal ED/Kg con 35% y 3.3 Mcal ED/Kg con 40% de proteína, es decir 9.4 y 8.2 en relación energía/proteína, resultados similares a los obtenidos en esta investigación. Santos et al. (2010), encuentra que para *Colossoma macropomum*, el nivel de energía que permite una mayor ganancia de peso es de 3.4 Mcal ED/Kg y 36% de proteína.

b. Consumo de Alimento

Los resultados de consumo de alimento se presentan en el Cuadro 8. Como se puede observar en el análisis de varianza (Anexo XIV) no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0.05$). Se puede observar que hay una disminución en el consumo de alimento conforme va aumentando la cantidad de energía en el mismo. La misma tendencia fue observada y reportada por Borba et al. (2006), trabajando con *Brycon orbignyianus*. En la investigación realizada por Vergara et al. (2016a), se puede observar que el consumo de alimento disminuye en 11.71% en peces alimentados con 3.7 Mcal ED/kg en comparación con peces alimentados con 3.1 Mcal ED/kg.

Cuadro 7: Efecto del Nivel de Energía Digestible sobre el comportamiento productivo del Sábalo Cola Roja.

TRATAMIENTOS	Nivel de energía digestible				
	I	II	III	IV	V
Niveles de Energía (Mcal/(kg))	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
Relación ED (Kcal ED): PB (g)	9.4	9.7	10	10.3	10.6
Ganancia de biomasa (g)	320.78 ^c	373.74 ^a	354.93 ^{ab}	334.63 ^{bc}	321.63 ^c
Ganancia de peso diaria (g)	1.39 ^c	1.62 ^a	1.54 ^{ab}	1.44 ^{bc}	1.39 ^c
Incremento de talla (cm)	3.26 ^a	3.48 ^a	3.44 ^a	3.28 ^a	3.13 ^a
Consumo de alimento (g)	66.68 ^a	67.73 ^a	62.83 ^a	59.51 ^a	62.74 ^a
Conversión alimenticia	1.45 ^a	1.27 ^a	1.24 ^a	1.24 ^a	1.36 ^a
Eficiencia alimenticia	0.70 ^a	0.79 ^a	0.81 ^a	0.81 ^a	0.77 ^a
Tasa de Retención de Energía	24.79 ^a	28.86 ^a	28.41 ^a	27.25 ^a	24.93 ^a
Tasa de Retención de Proteína	31.93 ^a	38.67 ^a	43.47 ^a	40.67 ^a	35.58 ^a

^{a,b,c} Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (P<0, 05)

Tran-Duy et al. (2008), investigando el efecto de diferentes niveles de energía en tilapias de Nilo, encontraron que, los peces regulan su consumo para mantener un nivel constante de consumo de energía digestible, dado un estado nutricional específico, por ejemplo, la composición corporal, las condiciones ambientales y las condiciones sociales. Otro estudio realizado por Rubio et al. (2003) afirmaron que la lubina (*Dicentrarchus labrax*) era capaz de equilibrar su dieta cuando los carbohidratos, proteínas y lípidos se ofrecían por separado, y esta habilidad surgía probablemente de la detección quimiosensorial en el intestino, y/o mecanismos de post-absorción.

c. Conversión Alimenticia

Los resultados conversión alimenticia se presentan en el Cuadro 8. Como se puede observar en el análisis de varianza (Anexo XV) no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0.05$). Sin embargo podemos ver que los tratamientos con 3.5 y 3.6 Mcal ED/Kg tienen mejores conversiones, resultado similar al obtenido por Vergara et al. (2016a), quienes encuentran valores de 1.21 de conversión alimenticia también con valores de 3.5 y 3.6 Mcal ED/Kg. Por otro lado, Gutiérrez et al. (1996), no encontraron diferencias significativas en la conversión alimenticia del *Piaractus brachyomus* alimentados con dietas experimentales que contenían dos niveles de proteína bruta (27,4 % y 29,8 %) y tres niveles 2.7, 2.9 y 3.1 Mcal ED/Kg), sin embargo se notó un mejor resultado en el tratamiento con 9.05 de relación energía/proteína. El-Sayed y Teshima (1992), evaluaron niveles de energía en tilapias del Nilo, encontrando diferencias significativas utilizando una relación energía/proteína de 10 (3.0 Mcal ED/Kg y 30% proteína). Boscolo et al. (2006) encontraron mejores resultados de conversión alimenticia en las dietas que contienen 3.4 Mcal ED/Kg y 33.58% PB, es decir, 10.1 en la relación energía/proteína. Similar a lo observado en esta investigación, si bien no hay diferencias significativas se distingue una mejor conversión alimenticia en el tratamiento con 3.5 Mcal ED/Kg y 35% de PB, es decir relación energía/proteína de 10.

d. Eficiencia alimenticia

Los resultados eficiencia alimenticia se presentan en el Cuadro 8. Como se puede observar en el análisis de varianza (Anexo XVI) no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0.05$). No obstante, se observa una mayor eficiencia alimenticia en los tratamientos con 3.5 y 3.6 Mcal ED/Kg. Resultado que cercano a lo encontrado por Meyer

y Fracalossi (2004), quienes investigando con *Rhamdia quelen*, observan una mejor eficiencia alimenticia con un nivel de 3.65 Mcal/kg.

e. Composición Corporal

Los resultados de composición corporal se presentan en el Cuadro 9. Como se puede observar en el análisis de varianza (Anexo XIX, XX, XXI y XXII), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para humedad, proteína, grasa y ceniza ($P > 0.05$). No obstante, puede observarse que el tratamiento II posee el mayor porcentaje de grasa corporal, el tratamiento III tiene los niveles más altos de proteína corporal y el tratamiento I tiene el mayor porcentaje de ceniza.

Hillestad y Johnsen (1994) evaluaron diferentes niveles de energía en Salmon salar, encontrando que a medida que aumentaba la energía en la dieta, también lo hacía la cantidad de grasa en la canal, tendencia similar que se encuentra en esta investigación, a excepción del tratamiento dos, lo cual puede ser explicado por el mayor consumo de alimento que tuvo este tratamiento. Hanley (1991), investigando en tilapia de Nilo valores ascendentes de grasa en la dieta, encontró que los niveles de grasa corporales se incrementaron de alrededor del 1,2% en los peces de control hasta entre el 4,5 y el 6,9% en los peces alimentados con las dietas experimentales. Resultados similares encuentran Company et al. (1999), probando dos dietas con diferente nivel de energía en *Sparus aurata*, los peces alimentados con la mayor cantidad de energía, presentaban mayor cantidad de grasa corporal. Borba et al. (2006), trabajando con *Brycon orbignyanus*, encuentran que al alimentar lo peces con niveles crecientes de relación carbohidratos:grasa, encontraron que había mayor deposición de grasa y menor contenido de humedad al ir aumentando los niveles. De tal manera que se confirmó la capacidad de la especie para aumentar las reservas de grasa originados por el consumo de grasa en la dieta o por la síntesis de grasa a partir de los carbohidratos. Llegándose a la conclusión que el contenido grasa corporal está relacionado más a la cantidad de energía en la dieta y no a la fuente no proteica de energía.

Cuadro 8: Efecto del Nivel de Energía sobre la Composición Corporal del Sábalo Cola Roja (Base fresca).

Composición%	Niveles de Energía (Mcal/Kg)				
	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
Humedad	72.31 ^a	72.70 ^a	73.11 ^a	73.46 ^a	72.32 ^a
Proteína	18.97 ^a	19.17 ^a	19.91 ^a	19.59 ^a	18.89 ^a
Grasa	2.07 ^a	2.36 ^a	2.09 ^a	2.22 ^a	2.25 ^a
Cenizas	2.17 ^a	2.16 ^a	2.23 ^a	1.94 ^a	2.13 ^a

^{a,b} Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (P<0, 05)

f. Tasa Retención de Energía

Los resultados de energía retenida se presentan en el Cuadro 8. Como se puede observar en el análisis de varianza (Anexo XVII), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0.05$). Sin embargo, se puede notar una diferencia numérica a favor del segundo tratamiento, lo cual nos dice que la mayor retención de energía se da con una relación de 9.7 energía/proteína. Por otra parte, Souto et al. (2013) trabajando con *Carassius auratus*, especie también omnívora, encontraron que la mayor retención de energía se obtuvo con la relación de energía/proteína de 9.1 (3.2 Mcal ED/Kg y 35%P). No obstante, Sampaio et al. (2000), encontraron que la relación que proveía una mayor retención de energía era la relación de 10.1 (3.4 Mcal ED/Kg y 33.57% proteína) evaluado las dietas experimentales en *Cichla sp.*

g. Tasa de Retención de Proteína

Los resultados de proteína retenida se presentan en el Cuadro 8. Como se puede observar en el análisis de varianza (Anexo XVIII), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0.05$). Sin embargo, se puede notar una diferencia numérica a favor del tercer tratamiento, lo cual nos dice que la mayor retención de proteína se da con una relación de energía/proteína de 10. Resultado que difiere de lo encontrado por Sá y Fracalossi (2002), trabajando con *Brycon orbignyanus*, que encuentran que la mayor retención de energía la obtienen con la relación energía/proteína de 8.5 (3.077 Mcal EM/Kg, 36.1%P). Por otro lado, Escobar et al. (2006), trabajando con tilapias (variedad Chiltrada) encuentra una mayor tasa de retención proteica con una relación energía/proteína de 9.4 (3.3 Mcal ED/Kg, 35%P).

Investigaciones como las realizadas por Sandre et al. (2017), concluyen que el uso de proteína en la dieta puede optimizarse aumentando la energía de la dieta, lo que puede lograrse mediante la adición de nutrientes no proteicos como los carbohidratos y los lípidos. Por lo tanto, el aumento en los lípidos de la dieta generalmente conduce a un aumento de la eficiencia en la retención de proteínas, denominado efecto de ahorro de proteínas (van der Meer et al., 1997). Shimeno et al. (1981) encuentran que un aumento en los carbohidratos y los lípidos de la dieta redujo la actividad de las enzimas del catabolismo de los aminoácidos en el hepatopáncreas de la carpa, lo que lleva a una baja excreción de nitrógeno y un aumento en la relación de eficiencia proteica.

4.2.2 Estimación del requerimiento mediante modelo línea quebrada

El modelo de línea quebrada implica el uso de dos líneas rectas para modelar la relación dosis-respuesta. Robbins (1986), menciona que este modelo consiste en dos partes: una línea inclinada ascendente o descendente seguida de una línea horizontal, donde sus puntos de intersección van a determinar el punto de quiebre, el cual será considerado como el nivel mínimo de nutriente que producirá la máxima respuesta. Sin embargo, autores como Baker (1986), demuestran que al comparar el modelo de línea quebrada con un método de ajuste curvilíneo, el valor del requerimiento es menor.

En la presente investigación utilizando el modelo de línea quebrada, se puede observar que el requerimiento energético para maximizar la ganancia de diaria es de 3,37 Mcal ED/Kg, según se presenta en el Gráfico 1. Por otro lado, en el Gráfico 2, el requerimiento es mayor para poder maximizar la eficiencia alimenticia, resultando el requerimiento en 3.38 Mcal ED/Kg. Los resultados para la tasa de retención de energía y la tasa de retención de proteína son muy cercanos, como se muestra en el gráfico 3 y 4, los requerimiento son de 3.36 y 3.37 Mcal ED/kg.

Vergara et al. (2016^a), utilizando el modelo de línea quebrada para determinar el requerimiento de energía en alevines de sábalo cola roja con un peso inicial de 24.2 ± 4.65 g, encuentran que el requerimiento utilizando la ganancia de peso como variable respuesta es de 3.55 Mcal de ED/Kg de alimento. Por otro lado, para el caso de eficiencia alimenticia, la regresión establece como requerimiento el valor de 3.49 Mcal de ED/Kg de alimento. Resultado mayor al presentado en esta investigación, lo que puede ser explicado por la diferencia en el porcentaje de proteína utilizado en la formulación.

En el caso de otras especies omnívoras como el *Piaractus brachypomus*, bajo el mismo análisis (línea quebrada), Miranda (2018), obtiene un requerimiento de 3.08 y 3.20 Mcal ED/Kg, utilizando la variable ganancia de peso diaria y eficiencia alimenticia respectivamente. Asimismo, Lafeta et al. (2011) para la misma especie, encuentran un valor de 3.3 Mcal ED/Kg utilizando como variable respuesta la ganancia de peso, y para eficiencia alimenticia determinó un requerimiento energético de 3.29 Mcal ED/Kg.

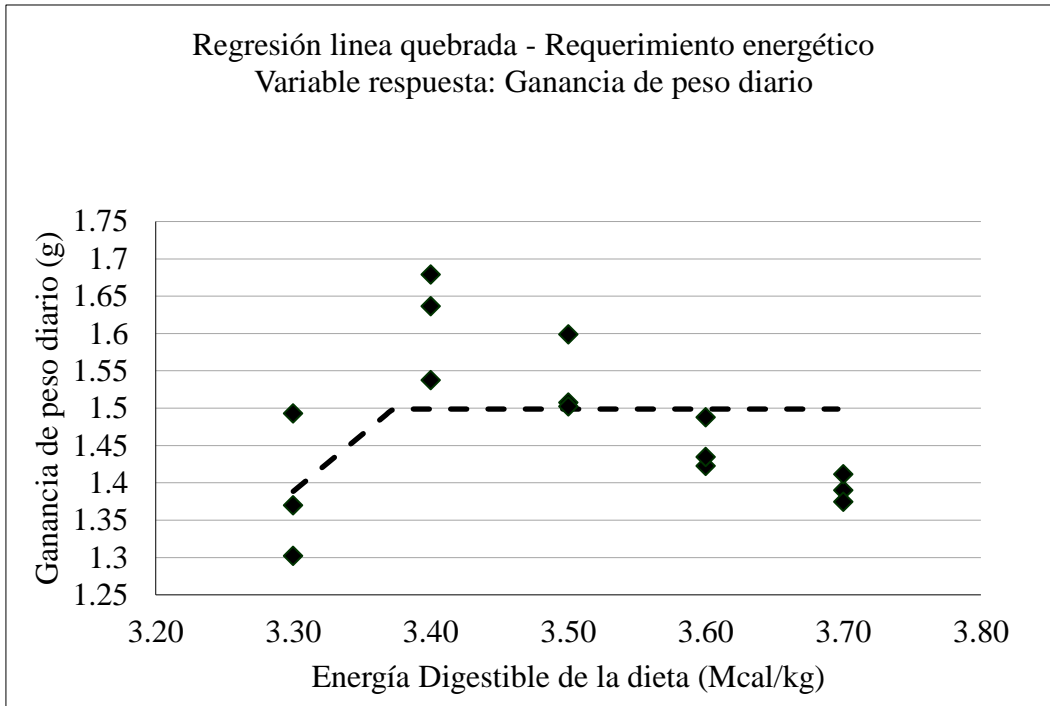


Gráfico 1. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable ganancia de peso diaria

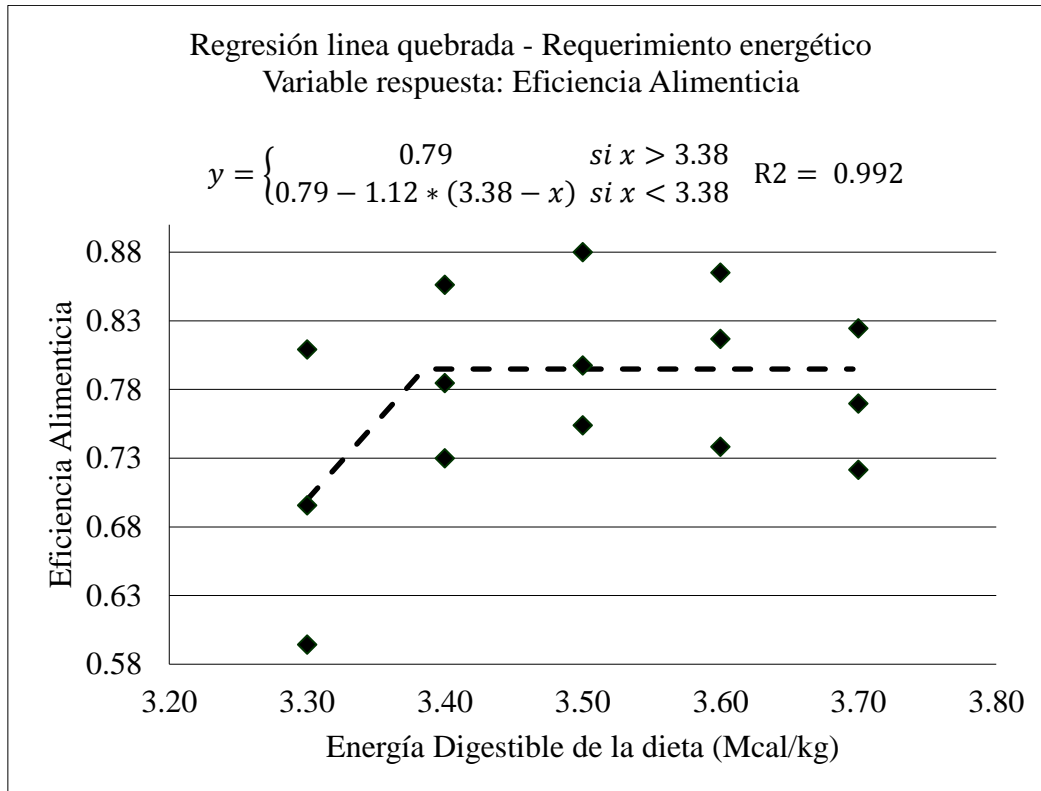


Gráfico 2. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable eficiencia alimenticia

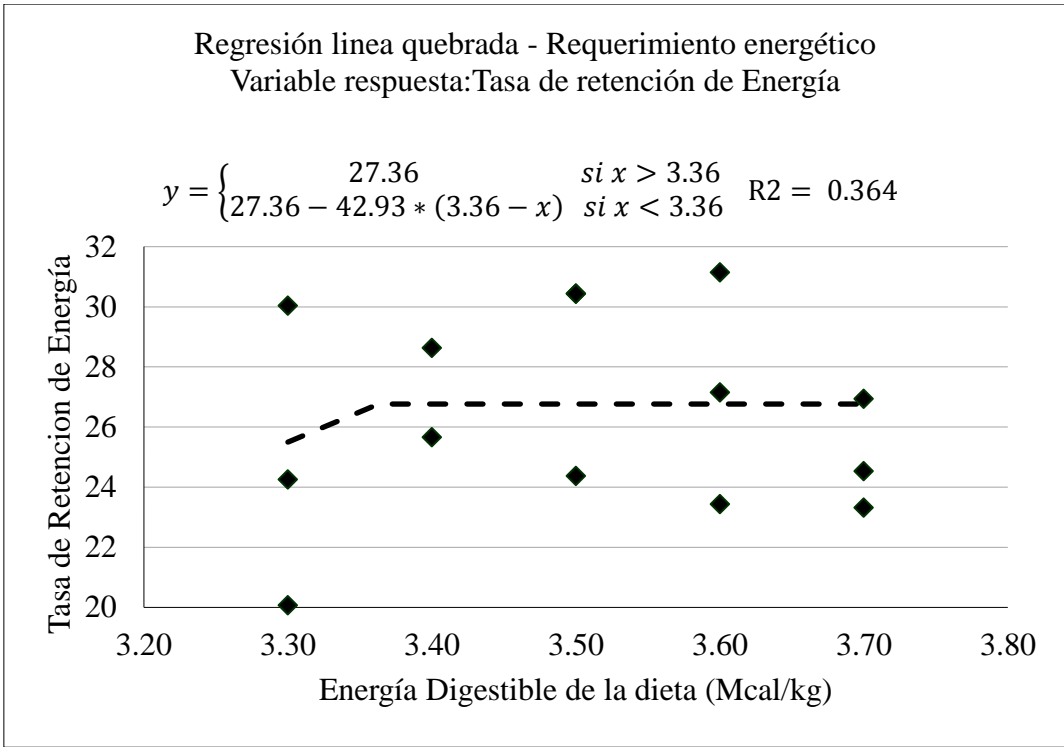


Gráfico 3. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable Tasa de Retención de Energía

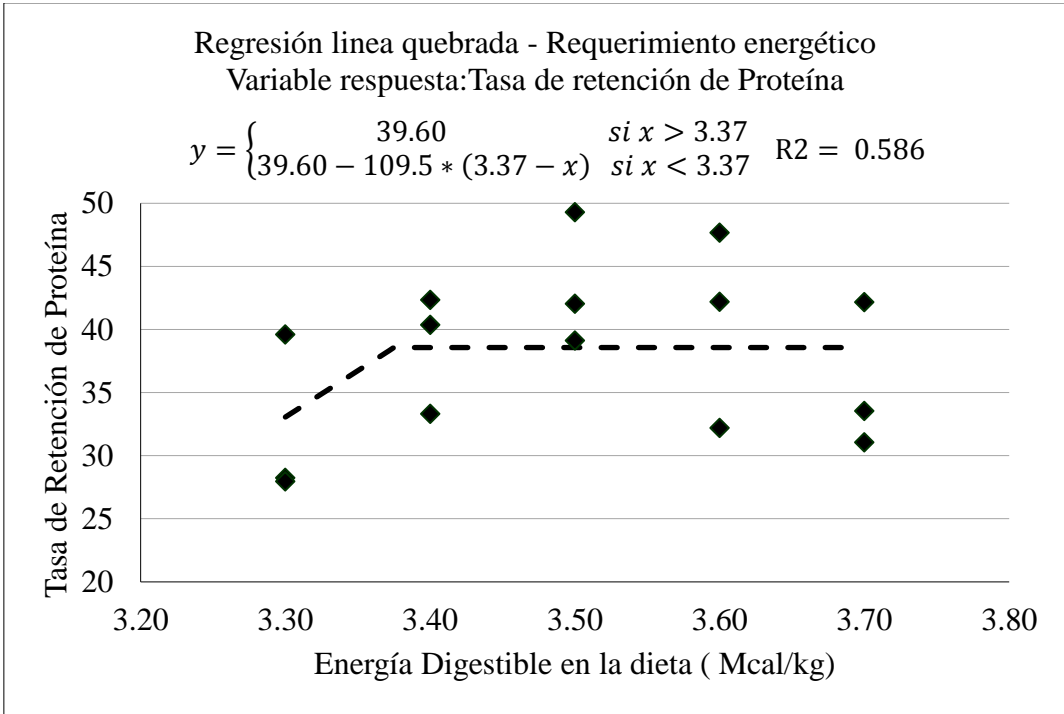


Gráfico 4. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable Tasa de Retención de Proteína

4.2.3 Estimación del requerimiento mediante regresión polinomial de segundo orden

Los resultados del análisis de regresión polinomial utilizando como variable respuesta ganancia de peso diaria, conversión alimenticia, retención de energía y retención de proteína, puede observarse en el gráfico 5,6,7 y 8; respectivamente. El análisis de varianza para las variables mencionadas (Anexo XXIII, XXI, XXV y XXVI) muestra diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$) para la variable ganancia de peso diaria y diferencias no significativas ($P > 0.05$) para conversión alimenticia, retención de energía y retención de proteína. Según este enfoque, se obtiene que el nivel energía digestible para maximizar la ganancia de peso diaria, es de 3.48 Mcal ED/Kg. Asimismo, utilizando la eficiencia alimenticia como variable respuesta, se obtiene la mejor respuesta con 3.54 Mcal ED/Kg, en cambio para maximizar la Retención de Energía y la Retención de Proteína, se obtienen los valores de 3.49 y 3.52 Mcal ED/kg, respectivamente.

Comparando los resultados con otras especies similares utilizando el mismo enfoque, como la investigación realizada por Boscolo et al. (2006) con Tilapia de Nilo, encuentran que la mejor respuesta en cuanto a ganancia de peso se obtiene con 3.15 Mcal ED/Kg, con una relación energía/proteína de 9.38. Resultado similar al obtenido por Li et al. (2013), en la misma especie, quienes encontraron que la mejor relación energía/proteína para obtener mayor ganancia de peso era de 9.33. Miranda (2018), realizando evaluaciones en *Piaractus brachyomus* encuentra que la mejor ganancia de peso diaria la obtiene con 3.29 Mcal ED/Kg y la mejor eficiencia alimenticia con 3.34 Mcal ED/Kg, representado una relación de 9.6 y 10.03 respectivamente. Resultado que se asemeja a los encontrados en esta investigación y concuerdan con lo mencionado por el NRC (2011), que indica una relación óptima de energía: proteína entre 9 a 10.

Escobar et al. (2006), trabajando con alevinos de tilapia nilótica variedad chiltrada, encuentran una mejor respuesta para la tasa de retención de energía y proteína en los tratamientos con niveles menores de energía (3.3 Mcal ED/Kg). Resultados que concuerdan con lo mencionado por Allan y Booth (2004), que indican que no es necesario gran cantidad de nutrientes para poder tener una mejor respuesta en retención de energía y proteína.

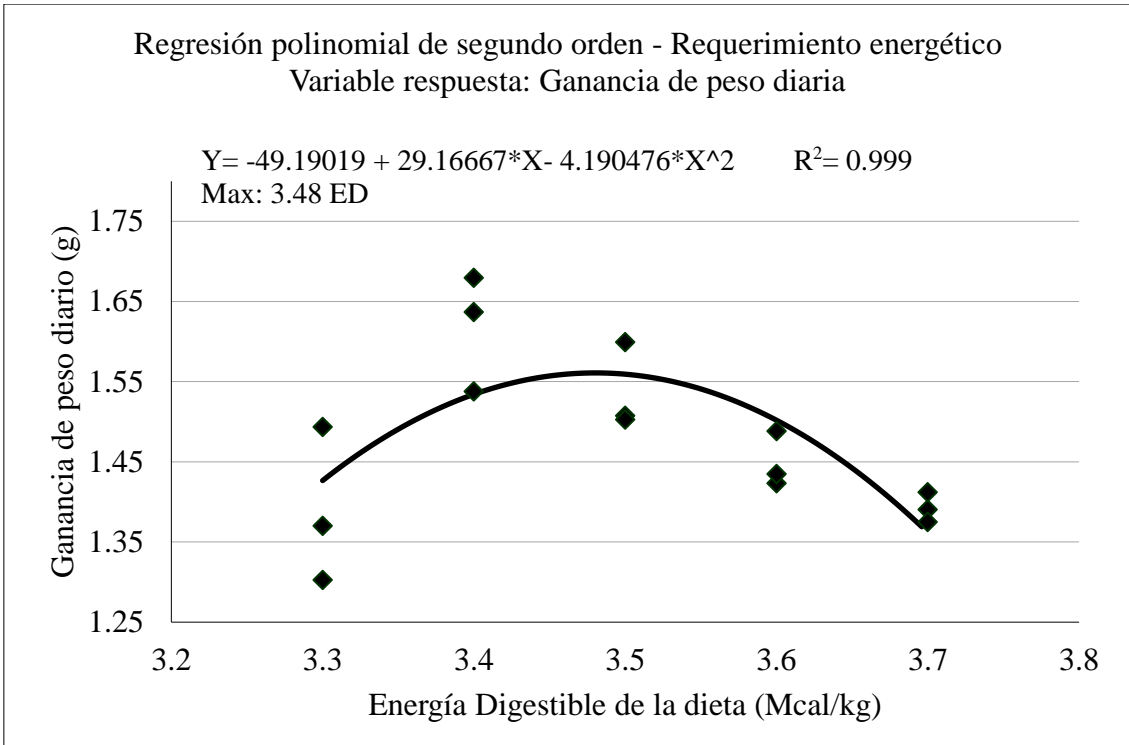


Gráfico 5: Curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable ganancia de peso diaria.

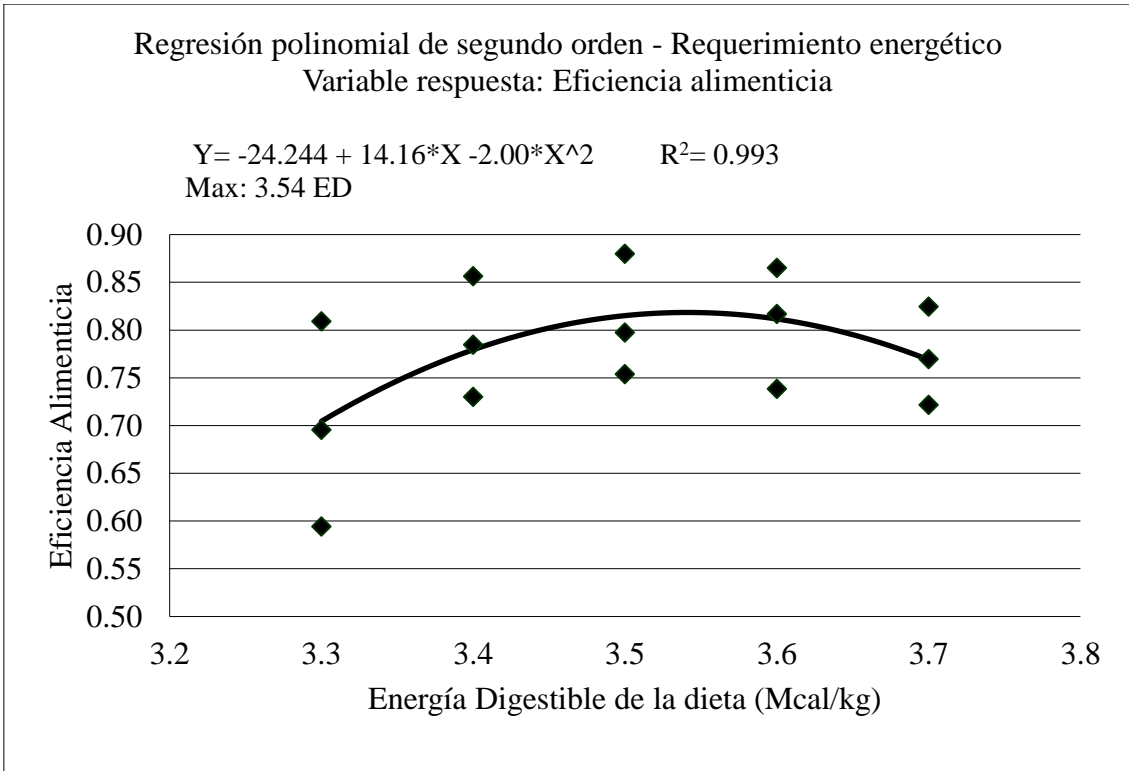


Gráfico 6: Curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable eficiencia alimenticia

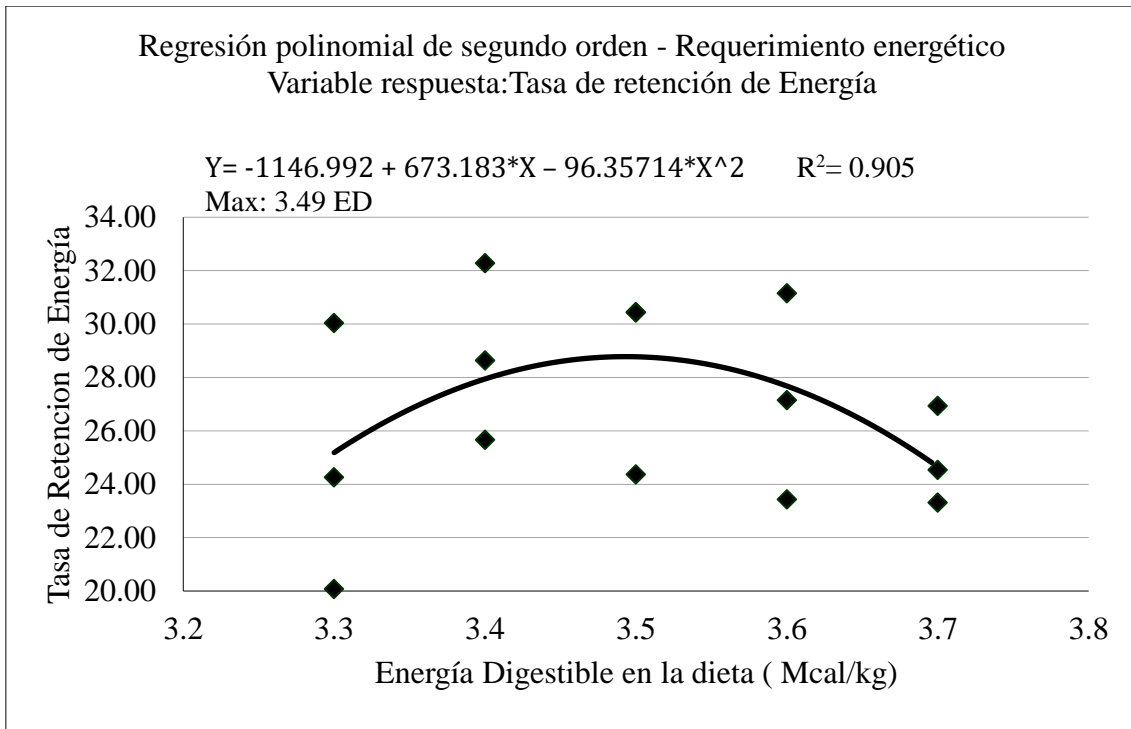


Gráfico 7: Curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable Tasa de Retención de Energía

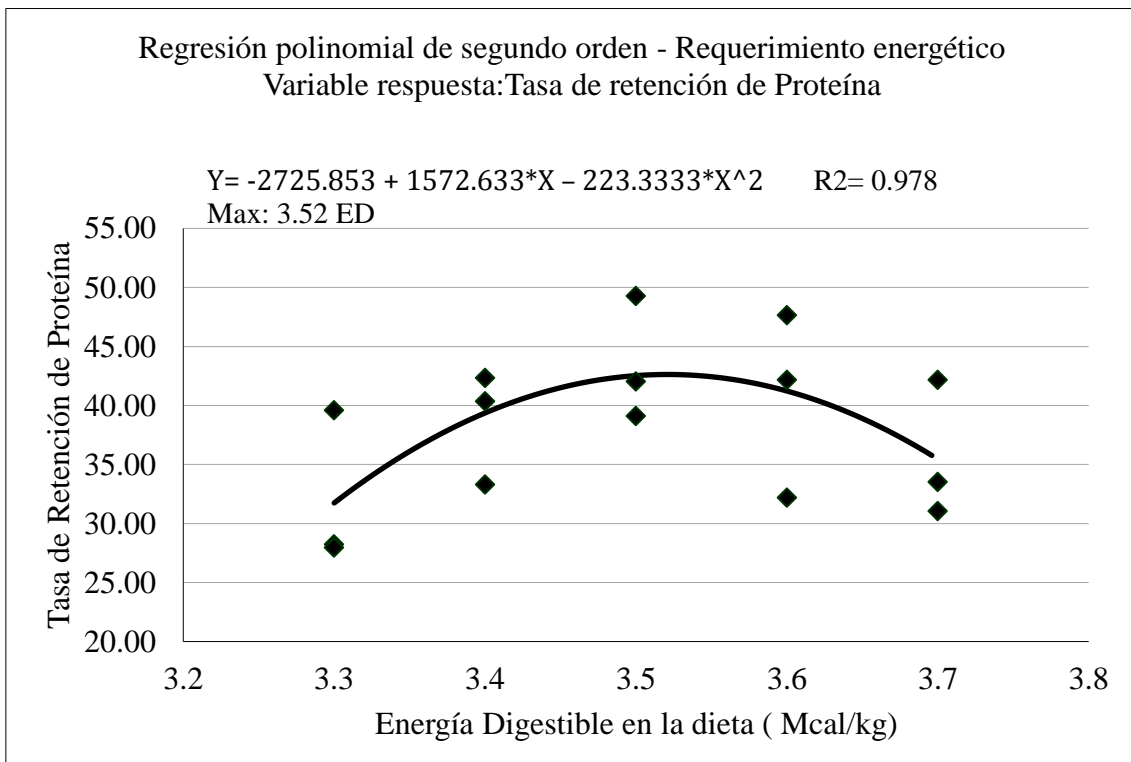


Gráfico 8: Curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento energético del sábalo cola roja utilizando la variable Tasa de Retención de Proteína

4.2.4 Comparación de los diferentes análisis

Los resultados de los diferentes modelos ajustados para la determinación del requerimiento de energía se muestran en el Cuadro 10. Se puede observar que tal y como señala Shearer (2000), el análisis de línea quebrada subestima los requerimientos de energía. En el presente estudio, el análisis de regresión polinomial de segundo orden, presenta un mejor ajuste a las condiciones experimentales, evidenciado en los coeficientes de determinación mayores en comparación con los obtenidos en el análisis de línea quebrada. Siendo las variables que mejor se ajustaron al modelo cuadrático la ganancia de peso diaria y la eficiencia alimenticia, 0.999 y 0.993, respectivamente.

Cuadro 9. Comparativo de requerimientos obtenidos mediante diferentes métodos.

Requerimiento de ED (Mcal/Kg alimento)	Método de Análisis		
	Prueba de rango múltiple Duncan	Modelo línea quebrada	Modelo polinomial de segundo orden
Ganancia de peso diaria	3.4	3.37 ^a	3.48 ^e
Eficiencia alimenticia	3.5	3.38 ^b	3.54 ^f
Retención de Energía	3.4	3.36 ^c	3.49 ^g
Retención de Proteína	3.5	3.37 ^d	3.52 ^h

a: $r^2=0.997$; b: $r^2=0.992$; c: $r^2=0.364$; d: $r^2=0.586$; e: $r^2=0.999$; f: $r^2=0.993$; g: $r^2=0.905$; h: $r^2=0.978$

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se realizó la investigación y en base a los resultados obtenidos, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. La Energía Digestible (ED) del maíz y la harinilla de trigo en sábalo cola roja, fue de 3.18 Mcal/Kg y 2.12Mcal/kg en base seca respectivamente.
2. El aumento de energía dietario afectó significativamente la ganancia de peso, encontrándose que niveles superiores a 3.4 Mcal/Kg de ED, hizo disminuir la ganancia de peso.
3. No se encontraron diferencias estadísticas en la composición corporal de los peces, sin embargo se encuentra tendencia de presencia de mayor cantidad de grasa corporal mientras se va aumentando los niveles de energía en la dieta.
4. El requerimiento de Energía Digestible del sábalo cola roja para maximizar la ganancia de peso, eficiencia alimenticia, retención de energía y retención de proteína es 3.48 Mcal ED/Kg, 3.54 Mcal ED/Kg, 3.49 Mcal ED/Kg y 3.52 Mcal ED/Kg, respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

Bajo las condiciones en las que se realizó la investigación y en base a los resultados obtenidos, se pueden establecer las siguientes recomendaciones:

1. Se recomienda el uso de los coeficientes de digestibilidad y energía digestible de los ingredientes probados en la formulación de dietas para sábalo cola roja.
2. Se recomienda utilizar en la formulación de dietas para sábalo cola roja el nivel de 3.54 Mcal ED/kg de Energía Digestible para obtener una mayor eficiencia alimenticia.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABIMORAD, E. G., y CARNEIRO, D. J. 2004. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração protéica e da energia de alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(5), 1101-1109.

ABIMORAD, E. G., y CARNEIRO, D. J. 2007. Digestibility and performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles—fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. *Aquaculture Nutrition*, 13(1), 1-9.

ALLAN, G. L., y BOOTH, M. A. 2004. The effects of dietary digestible protein and digestible energy content on protein retention efficiency of juvenile silver perch *Bidyanus bidyanus* (Mitchell). *Aquaculture research*, 35(10), 970-980.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST). 1990. Official methods of analysis: agricultural chemicals, contaminants and drugs. 15.ed. Washington: Association of Official Analytical Chemists, 1990. v.1, 684p.

ANDERSON, J., CAPPER, B. S., & BROMAGE, N. R. 1991. Measurement and prediction of digestible energy values in feedstuffs for the herbivorous fish tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn.). *British Journal of Nutrition*, 66(1), 37-48.

ARBELÁEZ-ROJAS, GA., FRACALOSSO, DM. y FIM, JDI. 2000. Composicao Corporal de Tambaqui *Colossoma macropomum*, e Matrinxa, *Brycon Cephalus*, em Sistemas de Cultivo Intensivo, em Igarape, e semi-Intensivo, em viveiros. *Rev Bras Zootec* 31:1059–1069

BAKER, D.H. 1986. Problems and pitfalls in animal experiments designed to establish dietary requirements for essential nutrients. *J. Nutr.*, 116, 2339±2349.

BORBA, M. R., FRACALOSSO, D. M. y PEZZATO, L. E. 2006. Dietary energy requirement of piracanjuba fingerlings, *Brycon orbignyanus*, and relative utilization of dietary carbohydrate and lipid. *Aquaculture Nutrition*, 12(3), 183-191.

BOSCOLO, W. R., HAYASHI, C., y MEURER, F. 2002. Digestibilidade aparente da energia e nutrientes de alimentos convencionais e alternativos para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(2), 539-545.

CAMARGO, A. C., JÚNIOR, M. V. V., DONZELE, J. L., DE ANDRADE, D. R., & DOS SANTOS, L. C. 1998. Níveis de energia metabolizável para tambaqui (*Colossoma macropomum*) dos 30 aos 180 gramas de peso vivo. 1. Composição das carcaças. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 27(3), 409-415.

CAMPOS, A., SALGUERO, S., ALBINO, L., y ROSTAGNO, H. 2008. Aminoácidos en la nutrición de pollos de engorde: Proteína ideal. In III CLANA. México: Congreso del Colegio Latino-Americano de Nutrición Animal.

CEPES (Centro Peruano de Estudios Sociales). 2008. Maíz amarillo duro: mejor en la costa, igual de mal en la selva. *La revista Agraria* 9(99): 2

CHO, C.Y., SLINGER, S.J. y BAYLEY, H.S. 1982. Bioenergetic of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. *Comparative Biochemistry and Physiology* 73B:25-41.

CHO, C. Y., y BUREAU, D. P. 1995. Determination of the energy requirements of fish with particular reference to salmonids. *Journal of Applied Ichthyology*, 11(3-4), 141-163. 32.

CHOU, B.S. y SHIAU, S.Y. 1996. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* • *Oreochromis aureus*. *Aquaculture*, 143, 185–195.

CLAVIJO, L. C. 2011. Metodología para la determinación de la digestibilidad de materias primas no convencionales en cachama blanca *Piaractus brachipomus*. Tesis Mag. Sc. Palmira, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 30 p.

COMPANY, R., CALDUCH-GINER, J. A., KAUSHIK, S. y PÉREZ-SÁNCHEZ, J. 1999. Growth performance and adiposity in gilthead sea bream (*Sparus aurata*): risks and benefits of high energy diets. *Aquaculture*, 171(3), 279-292.

DA CUNHA, D. A., CORNÉLIO, F. H. G., y FRACALOSSO, D. M. 2015. Exigência de energia em dietas para juvenis de cachara, *Pseudoplatystoma reticulatum*. *Boletim do Instituto de Pesca*, 41(3), 567-578.

DE ALENCAR TEIXEIRA, E., SALIBA, E. D. O. S., EULER, A. C. C., DE FARIA, P. M. C., CREPALDI, D. V., y RIBEIRO, L. P. 2010. Coeficientes de digestibilidade aparente de alimentos energéticos para juvenis de surubim. *R. Bras. Zootec*, 39(6), 1180-1185.

DE BORBA, M.R., FRACALOSSO, D. M., PEZZATO, L. E., MENOYO, D., y BAUTISTA, J. M. 2003. Growth, lipogenesis and body composition of piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) fingerlings fed different dietary protein and lipid concentrations. *Aquatic Living Resources*, 16(04), 362-369

DE OLIVEIRA FILHO, P. R. C., y FRACALOSSO, D. M. 2006. Coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes para juvenis de jundiá. *Rev. Bras. Zootec.*, 35, 1581-1587.

DONG, X. H., GUO, Y. X., YE, J. D., SONG, W. D., HUANG, X. H., y WANG, H. 2010. Apparent digestibility of selected feed ingredients in diets for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*. *Aquaculture Research*, 41(9), 1356-1364.

EINEN, O., y ROEM, A. J. 1997. Dietary protein/energy ratios for Atlantic salmon in relation to fish size: growth, feed utilization and slaughter quality. *Aquaculture Nutrition*, 3(2), 115-126.

EL-SAYED, A. F. M., y TESHIMA, S. I. 1992. Protein and energy requirements of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fry. *Aquaculture*, 103(1), 55-63.

ESCOBAR, J. A., DEL ROSARIO REINOSO, V., y PARRA, M. Á. L. 2006. Efecto del nivel de energía y proteína en la dieta sobre el desempeño productivo de alevinos de *Oreochromis niloticus*, variedad chitralada. *Revista de Medicina Veterinaria*, (12), 89-97.

FABREGAT, T., FERNANDES, J., RODRIGUEZ, L., BORGES, F., PEREIRA, T., y NASCIMENTO, T. 2008. Digestibilidade aparente da energia e da proteína de ingredientes selecionados para juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus*. *Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais*, 6(4), 459-464.

FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal). 2016. Ingredientes para piensos (en línea). Consultado el 09 Mar. 2016. Disponible en www.fundacionfedna.org

FERNANDES, J. B. K., LOCHMANN, R., y BOCANEGRA, F. A. 2004. Apparent digestible energy and nutrient digestibility coefficients of diet ingredients for pacu *Piaractus brachypomus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, vol. 35, no 2, p, 237-244.

FISHBASE. 2016. *Brycon erythropterum*(Cope, 1872) (en línea). Consultado el 11 Feb. 2016. Disponible en <http://www.fishbase.org/summary/Brycon-cephalus.html>

FLORES-NAVA, A., y BROWN, A. 2010. Peces nativos de agua dulce de América del Sur de interés para la acuicultura: Una síntesis del estado de desarrollo tecnológico de su cultivo. (A. Flores-Nava & A. Brown, Eds.).

FREITAS, F. L. 2010. Crescimento e reprodução da matrinxã *Brycon amazonicus* em tanques no município de Paulo Afonso, Bahia. Dissertação. Universidade Federal Rural de Pernambuco.

FURUYA, W. M., PEZZATO, L. E., DE MIRANDA, E. C., FURUYA, V. R. B., y BARROS, M. M. 2008. Coeficientes de digestibilidade aparente da energia e nutrientes de alguns ingredientes pela tilápia-do-nilo, *Oreochromis niloticus* (L.) (linhagem tailandesa). *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 23, 465-469.

GADELHA, E.S. y ARAÚJO, J.C. 2013. Criação de Matrinxã em cativeiro. PUBVET, Londrina, V. 7, N. 5, Ed. 228, Art. 1507.

GARCÍA-CARREÑO, F. L., ALBUQUERQUE-CAVALCANTI, C., DEL TORO, M. A. N., y ZANIBONI-FILHO, E. 2002. Digestive proteinases of *Brycon orbignyanus* (Characidae, Teleostei): characteristics and effects of protein quality. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 132(2), 343-352.

GAVIRIA, M. C. A., y ARROYAVE, L. E. M. 2015. Evaluación de dos niveles de proteína en dietas para juveniles de Sabaleta *Brycon henni* (Eigenmann, 1913). *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 2(1), 61-68.

GIANINI, E. 2008. Digestibilidade e exigência de aminoácidos para juvenis de pacu, *Piaractus mesopotamicus*. Tesis Phd. Acuicultura. Jabotical, BR. UNESP. 46-48p. 33

GUIMARAES, I. G., PEZZATO, L. E., BARROS, M. M., y TACHIBANA, L. 2008. Nutrient Digestibility of Cereal Grain Products and By-products in Extruded Diets for Nile Tilapia. *Journal of the World Aquaculture Society*, 39(6), 781-789.

GUIMARÃES, S. F., y STORTI FILHO, A. 2003. Preliminary observations on the effect of sudden changes of temperature on survival of young matrinxã (*Brycon cephalus*) under laboratory conditions. *Acta Amazonica*, 33(4), 719-722.

GUTIERREZ, F.W; ZALDIVAR, J; CONTRERAS, G. 2008. Coeficientes de digestibilidad aparente de harina de pescado peruana y maíz amarillo duro para *Colossoma macropomum* (Actinopterygii, Characidae). *Revista Peruana de Biología*, 15(2), vol. 15, no 2, p. 111-116

GUTIERREZ, F.W; ZALDIVAR, J; CONTRERAS, G. 2009. Efecto de varios niveles de energía digestible y proteína en la dieta sobre el crecimiento de Gamitana (*Colossoma macropomum*) Cuvier 1818. *RevInvVet Perú* 2009; 20 (2): 178-186

GUTIERREZ, W., ZALDÍVAR, J., DEZA, S., y REBAZA, M. 1996. Determinación de los requerimientos de proteína y energía de juveniles de paco, *Piaractus brachypomus* (Pisces Characidae). *Foliaamazônica*, 8(2), 35-45.

HANLEY, F. 1991. Effects of feeding supplementary diets containing varying levels of lipid on growth, food conversion, and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 93(4), 323-334.

HERTRAMPF, J. W., y PIEDAD-PASCUAL, F. 2012. Handbook on ingredients for aquaculture feeds. Springer Science & Business Media.

HILLESTAD, M., y JOHNSEN, F. 1994. High-energy/low-protein diets for Atlantic salmon: effects on growth, nutrient retention and slaughter quality. *Aquaculture*, 124(1), 109-116.

HONORATO, C. A., ALMEIDA, L. C., DA SILVA NUNES, C., CARNEIRO, D. J., y MORAES, G. 2010. Effects of processing on physical characteristics of diets with distinct levels of carbohydrates and lipids: the outcomes on the growth of pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Aquaculture Nutrition*, 16(1), 91-99.

IZEL, A. C. U., PEREIRA-FILHO, M., MELO, L. A. D. S., y MACEDO, J. D. 2004. Avaliação de níveis protéicos para a nutrição de juvenis de matrinxã (*Brycon cephalus*). *Acta Amazônica*, 34(2), 179-184.

LANNA, E. A. T., PEZZATO, L. E., FURUYA, W. M., VICENTINI, C. A., CECON, P. R., y BARROS, M. M. 2004. Fibra bruta e óleo em dietas práticas para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(6), 2177-2185.

LEITE, R. G. 2004. A alimentação de juvenis de matrinxã, *Bryconamazonicum* (Pisces, Characidae), em áreas inundadas da Ilha de Marchantaria, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 34(4), 661-4.

LI, Y., BORDINHON, A. M., DAVIS, D. A., ZHANG, W., y ZHU, X. 2013. Protein: energy ratio in practical diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture international*, 21(5), 1109-1119.

LIN, Y.H. y SHIAU, S.Y. 2003. Dietary lipid requirement of grouper, *Epinephelus malabaricus*, and effects on immune responses. *Aquaculture*, 225, 243–250.

LÓPEZ, Y. M., VÁSQUEZ, W. y WILLS, Á. 2004. Evaluación de diferentes proporciones de energía/proteína en dietas para juveniles de yamú, *Brycon siebenthalae*, (Eigenmann, 1912). *Orinoquia*, 8(1), 64-76.

MACIEL, C. M. R. R., LANNA, E. A. T., MACIEL JUNIOR, A., DONZELE, J. L., NEVES, C. A., y MENIN, E. 2010. Morphological and behavioral development of the piracanjuba larvae. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(5), 961-970.

MEURER, F., HAYASHI, C., y BOSCOLO, W. R. 2003. Digestibilidade aparente de alguns alimentos protéicos pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32(6), 1801-1809.

MEYER, G., y FRACALOSSO, D. M. 2004. Protein requirement of jundia fingerlings, *Rhamdia quelen*, at two dietary energy concentrations. *Aquaculture*, 240(1-4), 331-343.

MONTOYA, M. 2012. Digestibilidad de garbazo, maíz alta calidad proteica y frijol quebrado en tilapia *Oreochromis Niloticus* Tesis Mg. Sc. Sinaloa México, Instituto Técnico Nacional. 4p.

NAMA (North American Millers' Association). 2016. How Flour is milled (en línea). Consultado el 16 Mar. 2016. Disponible en www.namamillers.org

NEUMANN, E. 2008. Desenvolvimento inicial de jatuarana, *Brycon amazonicus* (Teleostei, Characidae).

NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. 335p

ODA, G. M. 2009. Cortisol na reprodução e no desenvolvimento inicial do matrinxã (*Brycon amazonicus*).

OLIVEIRA, F. G. D., BIALETZKI, A., GOMES, L. C., SANTIN, M., y TAGUTI, T. L. 2012. Larval development of *Bryconhilarii* (Characiformes, Characidae). *Iheringia.SérieZoologia*, 102(1), 62-70.

PEREIRA-FILHO, M., CASTAGNOLLI, N., STORTI-FILHO, A., y OLIVEIRA-PEREIRA, M. I. D. 1995. Protein and Crude Fiber Levels in the Diet of Juvenile Matrinxã, *Brycon cephalus*, an Amazonian Fish. *Acta Amazonica*, 25(1-2), 137-144. 34

PEREYRA, G. 2013. Guía técnica "Piscicultura". Agrobanco

PEZZATO, L. E., MIRANDA, E. D., BARROS, M. M., PINTO, L. G. Q., FURUYA, W. M., y PEZZATO, A. C. 2002. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(4), 1595-1604.

PIEDRAS, S. R. N., POUHEY, J. L. O. F., MORAES, P. R. R., y RODRIGUES, F. V. (2006). Resposta de alevinos de jundiá (*Rhamdia sp.*) alimentados com diferentes níveis de proteína bruta e energia digestível. *Current Agricultural Science and Technology*, 12(2).

PRODUCE. 2015. Anuario Estadístico (en línea). Consultado el 05 Mar. 2017. Disponible en <http://www.produce.gob.pe/index.php/estadisticas/anuarios-estadistico>.

PRODUCE. 2016. Especies Cultivadas en el Perú (en línea). Consultado el 09 Feb. 2016. Disponible en <http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/boletines/FICHAS%20PRINCIPALES%20ESPECIES.pdf>

ROBBINS, K. R., SAXTON, A. M., & SOUTHERN, L. L. 2006. Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis1. *Journal of animal science*, 84(13_suppl), E155-E165.

RODEHUTSCORD, M., JACOBS, S., PACK, M., y PFEFFER, E. 1995. Response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growing from 50 to 150 g to supplements of DL-methionine in a semipurified diet containing low or high levels of cystine. *The Journal of nutrition*, 125(4), 964.

- RODRÍGUEZ-FRANCO, N., CASTAÑEDA-ÁLVAREZ, G. D. y DAVID-RUALES, C. A. 2014. Ensayo preliminar de engorde de dorada (*Brycon moorei* Steindachner 1878) en dos densidades de siembra. *Orinoquia*, 18, 203-207.
- ROMAGOSA, E., NARAHARA, M. Y., y FENERICH-VERANI, N. 2001. Stages of embryonic development of the “matrinxã”, *Brycon cephalus* (Pisces, Characidae). *Bol. Inst. Pesca*, 27(1), 29-32.
- RUBIO, V. C., SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J., y MADRID, J. A. 2005. Fish macronutrient selection through post-ingestive signals: effect of selective macronutrient deprivation. *Physiology & behavior*, 84(4), 651-657.
- SÁ, M. V. D. C., Y FRACALLOSSI, D. M. (2002). Exigência protéica e relação energia/proteína para alevinos de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 1-10.
- SAMPAIO DE MENEZES, A. M. B., KUBITZA, F., y CYRINO, J. E. P. 2000. Relação energia: proteína na nutrição do tucunaré. *Scientia Agrícola*, 57(2), 213-219.
- SANTINHA, P. J. M., MEDALE, F., CORRAZE, G., y GOMES, E. F. S. 1999. Effects of the dietary protein: lipid ratio on growth and nutrient utilization in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture Nutrition*, 5(3), 147-156.
- SANZ, F. 2009. *La nutrición y alimentación en piscicultura*. Madrid, España: CSIC. p. 52.
- SANDRE, L. C. G., BUZOLLO, H., NASCIMENTO, T. M. T., NEIRA, L. M., JOMORI, R. K., y CARNEIRO, D. J. 2017. Productive performance and digestibility in the initial growth phase of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed diets with different carbohydrate and lipid levels. *Aquaculture Reports*, 6, 28-34.
- SANTOS, L., PEREIRA FILHO, M., SOBREIRA, C., ITUASSÚ, D. & FONSECA, F. A. L. 2010. Exigência protéica de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) após privação alimentar. *Acta Amazonica*, 40, 597-604

SAS (Statistical Analysis System, EU). 1998. Aplicaciones del SAS en la investigación científica. Eds. E Flores; G Gutiérrez. Lima, PE.

SHEARER, K. D. 2000. Experimental design, statistical analysis and modelling of dietary nutrient requirement studies for fish: a critical review. *Aquaculture nutrition*, 6(2), 91-102.

SHIAU, S.Y. 2001. Estimation of nutrient requirements in aquatic animals. *J. Fish. Soc. Taiwan*, 28, 69–76.

SHIMENO, S.; TAKEDA, M.; SASAKI, H., 1981. Response of nitrogen excretion to change of dietary composition in carp. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish*47, 191–195

SILVA, S. A. A. D. 2007. Dieta natural de Brycon sp. n. “Cristalino”–matrinxã no Parque Estadual Cristalino, região norte de Mato Grosso.

SOUTO, C. N., DE LEMOS, M. V. A., y FERNANDES, W. 2013. Relação Energia: Proteína em Dietas para alevinos de Kinguio (*Carassius auratus*).

TEIXEIRA, E. A., EULER, A. C. C., FARIA, P. M. C., TURRA, E. M., LUZ, R. K., PRADO, S. A, y SALIBA, E. O. S. 2013. Performance and nutrient utilization in South American juvenile catfish *Pseudoplatystoma* spp. weighting 89-170g, fed at different energy and protein levels. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 65(5), 1500-1508.

TRAN-DUY, A., SMIT, B., VAN DAM, A. A., y SCHRAMA, J. W. 2008. Effects of dietary starch and energy levels on maximum feed intake, growth and metabolism of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 277(3-4), 213-219.

VAN DER MEER, M. B.; MACHIELS, M. A. M.; VERDEGEM, M. C. J., 1995: The effect of dietary protein level on growth, protein utilization and body composition of *Colossoma macropomum*(Cuvier). *Aquac. Res.*26, 901–909

VÁSQUEZ-TORRES, W., YOSSA, M. I., y GUTIÉRREZ-ESPINOSA, M. C. 2013. Digestibilidad aparente de ingredientes de origen vegetal y animal en la cachama. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(8), 920-927. 35.

VERGARA, V. y FERRER, S. y FLORES, M. 2008. Establecimiento de una tecnología apropiada para la reproducción y producción de semillas de doncella (*Pseudoplatystoma fasciatum*) y sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*). Informe Proyecto Concytec.

VERGARA, V. y FERRER, S. 2011. Determinación de la digestibilidad y Energía Digestible de la harina de pescado y el maíz amarillo en pacos (*Pyaractus mesopotamicus*). Reporte elaborado por el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos.

VERGARA, V. y FERRER, S. 2013. Determinación de la digestibilidad y Energía Digestible de la harinilla en gamitana (*Colossoma macropomun*). Reporte elaborado por el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos.

VERGARA, V., CAMACHO, R., BUSTAMANTE, P. y FERRER, S. 2016a. Determinación del requerimiento de Energía Digestible para sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*). Conferencia Latinoamericana de Acuicultura. *Latinamerican & caribbean aquaculture (LAQUA)*.

VERGARA, V., CAMACHO, R., BUSTAMANTE, P. y FERRER, S. 2016b. Determinación del requerimiento de Proteína Cruda para sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*). Conferencia Latinoamericana de Acuicultura. *Latinamerican & caribbean aquaculture (LAQUA)*.

ZANIBONI-FILHO, E., REYNALTE-TATAJE, D., y WEINGARTNER, M. 2006. Potencialidad del género *Brycon* en la piscicultura brasileña. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 19(2), 233-240.

ZEITOUN, I. H., ULLREY, D. E., MAGEE, W. T., GILL, J. L., Y BERGEN, W. G. (1976). Quantifying nutrient requirements of fish. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 33(1), 167-172.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Parámetros de Calidad de Agua Medidos durante el ensayo.

PARAMETROS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA
Temperatura del acuario (°C)	8.00 am	27.1	28.2	29.1	29.2	29.3	28.8	28.3	27.5	27	28
	12.00 m	28.3	29.1	29	29.5	29.7	28	27.8	28	28	28.6
	4.00 pm	28	27	28.7	28.1	28.6	27	28.2	28	28.5	28.4
Temperatura ambiental (°C)	8.00 am	22	23	24	26	26	23	23	23	24	23
	12.00 m	25	26	27	28	25	26	24	25	25	24
	4.00 pm	25	25	26	26	25	25	25	25	25	24
pH		7.6	7.7	7.5	7.5	7.2	7.5	7.4	7.4	7	7.4
Nitrógeno amoniacal (mg/L)		0.12	0.22	0.17	0.16	0.15	0.21	0.5	0.24	0.89	0.25
Nitritos (mg/L)		0.9	1.6	1.6	3.3	0.9	0.3	0.3	0.3	0.9	0.9
Dureza (ppm)		480	484	520	580	560	520	508	500	484	532
Conductividad eléctrica (mS)		1.46	1.47	1.45	1.32	2.91	1.58	1.56	1.46	1.49	1.68
Oxígeno disuelto (mg/L)		5.4	5.4	4.8	6.9	6.4	5.6	5.1	4.6	4.9	5.7

Anexo 2. Análisis Químico Proximal de los Ingredientes prueba (base fresca)

Nutriente	Maíz	H. trigo
Materia seca	95.30	89.40
Proteína	9.00	18.00
Lípidos	5.50	5.10
Fibra	1.60	7.80
Ceniza	1.20	4.10
ELN	78.00	54.40
Energía (Mcal/Kg)	4.12	3.79

Anexo 3. Análisis Químico Proximal de la dieta de Referencia.

Nutrientes %	Dieta de Referencia
Materia seca	92.80
Proteína	36.30
Lípidos	7.30
Fibra	3.50
Ceniza	7.80
ELN	37.90
Energía (Mcal/Kg)	4.45

Anexo 4. Análisis Químico Proximal de las dietas prueba.

Nutrientes %	Dieta Prueba	Dieta Prueba
	Maíz	Harinilla de Trigo
Materia seca	92.60	92.80
Proteína	25.90	28.10
Lípidos	6.70	6.40
Fibra	2.50	4.00
Ceniza	5.50	6.50
ELN	52.00	47.80
Energía (Mcal/Kg)	4.28	4.31

Anexo 5. Análisis Químico Proximal de las heces obtenidas de la dieta referencia

Nutrientes %	Heces de la dieta Referencia
Materia seca	89.08
Proteína	13.75
Lípidos	1.48
Fibra	17.55
Ceniza	9.30
ELN	47.00
Energía (Mcal/Kg)	3.72

Anexo 6. Análisis Químico Proximal de las heces obtenidas de las dietas prueba.

Nutrientes %	Heces dieta Prueba Maíz	Heces dieta Prueba Harinilla de Trigo
Materia seca	88.75	88.73
Proteína	14.51	8.26
Lípidos	1.81	1.35
Fibra	17.59	18.31
Ceniza	7.77	5.71
ELN	47.08	55.10
Energía	3.77	3.84

Anexo 7. Coeficientes de digestibilidad aparente de los ingredientes prueba.

Nutrientes	CDA Maíz	CDA H. trigo
Materia seca	68.07	52.27
Proteína	73.90	88.65
Lípidos	88.27	88.95
Ceniza	43.97	68.79
ELN	83.40	45.89
Energía	68.92	53.29

Anexo 8. Coeficientes de digestibilidad de los componentes de las dietas brindadas.

Nutrientes	Dieta Prueba Maíz	Dieta Prueba H. trigo
Materia seca (g MS)	68.07	52.27
Proteína (g PB)	6.98	17.86
Lípidos (g LC)	5.09	5.07
Ceniza (g Cz)	0.55	3.15
ELN	68.26	27.92
ED (Mcal/Kg)	3.18	2.12

Anexo 9. Análisis Químico Proximal de la carcasa al inicio y al final del Experimento

II. (Base Húmeda)

Tratamiento	Humedad	Proteína	Grasa	Cenizas	EB
0	74.97	20.84	1.53	2.62	85.33
1	72.61	19.37	1.73	2.73	81.81
1	72.91	17.86	2.59	1.91	83.45
1	71.43	19.67	1.90	1.89	84.22
2	72.40	19.26	2.73	2.39	89.48
2	72.03	18.61	2.35	2.35	84.11
2	73.67	19.65	2.38	1.73	88.00
3	72.97	19.62	1.75	2.48	82.79
3	71.61	20.37	1.59	1.84	84.17
3	74.76	19.75	2.94	2.38	92.88
4	73.13	19.32	1.89	1.67	82.93
4	74.30	21.07	2.44	1.82	93.47
4	72.96	18.39	2.33	2.34	83.20
5	72.26	19.83	1.90	1.72	84.75
5	72.00	18.41	2.41	2.35	83.96
5	72.71	18.43	2.44	2.33	84.25

Anexo 10. Pesos Iniciales, Pesos Finales y Consumo de Alimento en el Experimento II.

	T1			T2			T3			T4			T5		
	3.3			3.4			3.5			3.6			3.7		
Parámetros	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Biomasa inicial (g)	335.76	322.55	336.12	314.71	325.35	317.16	326.60	325.35	331.06	330.39	329.63	334.82	325.19	336.65	324.16
Biomasa inicial (g)	652.26	667.54	636.98	692.81	680.54	705.08	674.88	672.47	700.44	659.09	673.40	666.24	646.38	654.21	650.29
Ganancia de biomasa (g)	316.50	344.99	300.86	378.10	355.19	387.92	348.28	347.12	369.38	328.70	343.77	331.42	321.19	317.56	326.13
Peso inicial (g)	47.97	46.08	48.02	44.96	46.48	45.31	46.66	46.48	47.29	47.20	47.09	47.83	46.46	48.09	46.31
Peso Final (g)	93.18	95.36	91.00	98.97	97.22	100.73	96.41	96.07	100.06	94.16	96.20	95.18	92.34	93.46	92.90
Peso ganado (g)	45.21	49.28	42.98	54.01	50.74	55.42	49.75	49.59	52.77	46.96	49.11	47.35	45.88	45.37	46.59
Talla inicial (cm)	13.76	13.56	13.77	13.64	13.71	13.63	13.49	13.54	13.56	13.53	13.63	13.76	13.50	13.74	13.74
Talla final (cm)	16.96	16.99	16.93	17.14	17.07	17.21	16.49	17.17	17.24	16.97	16.87	16.92	16.85	16.74	16.80
Ganancia de talla (cm)	3.20	3.43	3.15	3.50	3.36	3.59	3.00	3.62	3.69	3.44	3.24	3.16	3.35	3.00	3.05
Consumo de alimento (g)	76.07	70.84	53.11	63.07	69.50	70.62	65.99	56.35	66.17	54.28	60.12	64.12	55.63	62.87	60.52
Conversión alimenticia	1.68	1.44	1.24	1.17	1.37	1.27	1.33	1.14	1.25	1.16	1.22	1.35	1.21	1.39	1.30

Anexo 11. Análisis de Variancia del DCA para Ganancia de Biomasa.

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	6270.477027	1567.619257	7.66	0.0043	*
Error	10	2045.471467	204.547147			
Corrección	14	8315.948493				
Total						

CV=4.192405

ns: no significativo *: significativo

Anexo 12. Análisis de Varianza del DCA para Ganancia de Peso.

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	127.9732933	31.9933233	7.67	0.0043	*
Error	10	41.7314667	4.1731467			
Corrección	14	169.7047600				
Total						

CV=4.191792

ns: no significativo *: significativo

Anexo 13. Análisis de Varianza del DCA para Incremento de Longitud.

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	0.24097333	0.06024333	1.27	0.3432	ns
Error	10	0.47320000	0.04732000			
Corrección	14	0.71417333				
Total						

CV=6.554789

ns: no significativo *: significativo

Anexo 14. Análisis de Varianza del DCA para Consumo.

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	176.2792933	44.0698233	0.95	0.4733	ns
Error	10	462.2156667	46.2215667			
Corrección	14	638.4949600				
Total						

CV=10.74307

ns: no significativo *: significativo

Anexo 15. Análisis de varianza del DCA para Conversión Alimenticia.

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	00.9364000	0.02341000	1.37	0.3103	ns
Error	10	0.17033333	0.01703333			
Corrección	14	0.2639733				
Total						

CV=10.02908

ns: no significativo *: significativo

Anexo 16. Análisis de variancia del DCA para Eficiencia Alimenticia

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	0.02449440	0.00612360	1.16	0.3849	ns
Error	10	0.05285533	0.00528553			
Corrección	14	0.07734973				
Total						

ns: no significativo *: significativo

Anexo 17. Análisis de variancia del DCA para Tasa de Retención de Energía

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	18.1509733	4.5377433	0.5	0.7392	ns
Error	10	91.4262000	9.1426200			
Corrección	14	109.5771733				
Total						

CV=11.40522

ns: no significativo *: significativo

Anexo 18. Análisis de variancia del DCA para Tasa de Retención de Proteína

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	131.1522267	32.7880567	1.47	0.2817	ns
Error	10	222.6716667	22.2671667			
Corrección	14	353.8238933				
Total						

CV=12.59446

ns: no significativo *: significativo

Anexo 19. Análisis de variancia del DCA para Humedad en Carcasa.

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	3.02286667	0.75571667	0.84	0.5315	ns
Error	10	9.01866667	0.90186667			
Corrección	14	12.04153333				
Total						

CV=1.304786

ns: no significativo *: significativo

Anexo 20. Análisis de variancia del DCA para Proteína en Carcasa.

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	2.27162667	0.56790667	0.73	0.5919	ns
Error	10	7.78426667	0.77842667			
Corrección	14	10.05589333				
Total						

CV=4.569688

ns: no significativo *: significativo

Anexo 21. Análisis de variancia del DCA para Grasa en Carcasa.

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	0.32837333	0.08209333	0.42	0.7896	ns
Error	10	1.94580000	0.19458000			
Corrección	14	2.27417333				
Total						

CV=19.82824

ns: no significativo *: significativo

Anexo 22. Análisis de variancia del DCA para Ceniza en Carcasa.

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	0.14524000	0.03631000	0.25	0.9054	ns
Error	10	1.47413333	0.14741333			
Corrección	14	1.61937333				
Total						

CV=18.03685

ns: no significativo *: significativo

Anexo 23. Análisis de variancia de la regresión polinomial para Ganancia de Peso diaria

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	0.0820857	0.04104286	6.28	0.0136	*
Error	12	0.07847429	0.00653952			
Corrección	14	0.016056000				

ns: no significativo *: significativo

Anexo 24. Análisis de variancia de la regresión polinomial para Eficiencia alimenticia

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	0.02388943	0.01194471	2.68	0.1090	ns
Error	12	0.05346030	0.00445503			
Corrección	14	0.07734973				

ns: no significativo *: significativo

Anexo 25. Análisis de variancia de la regresión polinomial para la Tasa de Retención de Energía

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	39.5758191	19.7579095	1.73	0.2190	ns
Error	12	137.2104743	11.4342062			
Corrección	14	176.7262933				

ns: no significativo *: significativo

Anexo 26. Análisis de variancia de la regresión polinomial para la Tasa de Retención de Proteína

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	235.43336667	117.7168334	3.68	0.0568	ns
Error	12	384.1316666	32.0109722			
Corrección	14	619.5653333				

ns: no significativo *: significativo

Anexo 27. Diagrama del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos.

