

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRIA DE NUTRICIÓN**



**“DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES Y DETERMINACIÓN DEL
REQUERIMIENTO ENERGÉTICO DE JUVENILES DE PACO
(*Piaractus brachypomus*)”**

Presentada por:

JUSTO DANIEL MIRANDA GUTIERREZ

**TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN NUTRICIÓN**

Lima - Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**

**“DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES Y DETERMINACIÓN DEL
REQUERIMIENTO ENERGÉTICO DE JUVENILES DE PACO
(*Piaractus brachypomus*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN NUTRICIÓN**

Presentada por:

JUSTO DANIEL MIRANDA GUTIERREZ

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

**Ph. D. Mariano Echevarría Rojas
PRESIDENTE**

**Mg. Sc. Víctor Vergara Rubín
PATROCINADOR**

**Ph. D. Carlos Gómez Bravo
MIEMBRO**

**Ph. D. Víctor Guevara Carrasco.
MIEMBRO**

DEDICATORA

Este trabajo está dedicado a mis padres Justo y Juana, quienes me brindaron todo su amor y apoyo incondicional para lograr mis metas

A Luciana por dar felicidad a mis días.

AGRADECIMIENTOS

A mi patrocinador Mg Sc. Ing. Víctor Vergara por su orientación y apoyo en realización del presente trabajo.

A los miembros del Jurado de Tesis: Ph.D. Mariano Echevarría, Ph.D. Víctor Guevara y Ph.D. Carlos Gómez, por sus estrictas correcciones para la realización del trabajo.

A los amigos que hicieron de esta investigación una experiencia inolvidable.

Al CONCYTEC-FONDECYT por la oportunidad de realizar la maestría y la colaboración en la investigación.

A mi alma mater la Universidad Nacional Agraria la Molina.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISION DE LITERATURA	2
2.1	Características generales del Paco	2
2.1.1	Habitad y localización geográfica	2
2.1.2	Descripción física	2
2.1.3	Hábitos alimenticios	3
2.2	Metabolismo energético del pez	3
2.2.1	Densidad energética de los alimentos	4
2.2.2	Partición de la energía de los alimentos	5
2.3	Sistemas de valoración energética de dietas para peces	7
2.4	Digestibilidad	8
2.4.1	Coeficiente de digestibilidad	9
2.4.2	Métodos de Estudio de la Digestibilidad	9
2.5	Requerimiento energético	11
2.5.1	Enfoques para determinar requerimiento energético	11
2.5.2	Enfoque empírico para determinar el requerimiento energético	12
2.6	Producción de arroz	14
2.6.1	Arroz partido	15
2.6.2	Polvillo de arroz	16
III.	MATERIALES Y METODOS	18
3.1	Experimento I – Determinación de digestibilidad de los ingredientes y energía digestible	18
3.1.1	Lugar y duración del experimento	18
3.1.2	Animales experimentales	18
3.1.3	Instalaciones	19
3.1.4	Tratamientos	19
3.1.5	Dietas experimentales	19
3.1.6	Procedimiento experimental	19
3.1.7	Diseño experimental y evaluación estadística	22
3.2	Experimento II - Determinación de requerimiento de energía digestible	23
3.2.1	Lugar y duración del experimento	23

3.2.2	Animales experimentales	23
3.2.3	Instalaciones	23
3.2.4	Tratamientos	23
3.2.5	Dietas experimentales	24
3.2.6	Procedimiento experimental	24
3.2.7	Diseño experimental y evaluación estadística	26
3.3	Determinación de requerimiento	27
3.4	Calidad de agua	27
3.5	Equipos	28
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1	Digestibilidad	29
4.1.1	Coefficientes de digestibilidad aparente del arroz partido y el polvillo de arroz ...	29
4.1.2	Energía digestible del arroz partido y del polvillo de arroz	33
4.2	Requerimiento energético	34
4.2.1	Requerimiento mediante análisis de medias Tukey	34
4.2.2	Requerimiento mediante regresión línea quebrada	36
4.2.3	Requerimiento mediante regresión polinomial cuadrático	38
4.2.4	Comparación de los diferentes análisis	41
V.	CONCLUSIONES	42
VI.	RECOMENDACIONES	43
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
VIII.	ANEXOS	55

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Relación de energía digestible con energía bruta (ED/EB) y energía metabolizable con energía digestible (EM/ED) para truchas arcoíris	8
Cuadro 2. Contenido nutricional del arroz partido	15
Cuadro 3. Contenido nutricional del polvillo de arroz	17
Cuadro 4. Formula de las dietas experimentales para pruebas de digestibilidad.....	20
Cuadro 5. Formula y valor nutritivo de las dietas experimentales para la prueba de requerimiento.	25
Cuadro 6. Análisis químico de las dietas y heces (base parcialmente seca).....	30
Cuadro 7. Contenido nutricional y digestibilidad de la materia seca, proteína cruda, y extracto etéreo del arroz partido y el polvillo de arroz (base seca).	33
Cuadro 8. Digestibilidad de la energía bruta, energía bruta y energía digestible de arroz partido y el polvillo de arroz (base seca).	34
Cuadro 9. Efecto del nivel energético de la dieta sobre el comportamiento productivo de juveniles de paco.....	35
Cuadro 10. Comparativo de requerimientos obtenidos mediante diferentes métodos.....	41

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Esquema general del destino de la energía dietaría en el pez.....	6
Gráfico 2. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del paco utilizando la variable ganancia de peso diaria.....	36
Gráfico 3. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del paco utilizando la variable conversión alimenticia.....	37
Gráfico 4. Curva de regresión polinomial cuadrático para determinar el requerimiento energético del paco utilizando la variable ganancia de peso diaria.	40
Gráfico 5. Curva de regresión polinomial cuadrático para determinar el requerimiento energético del paco utilizando la variable conversión alimenticia	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. Parámetros de evaluación de calidad de agua	56
Anexo II. Peso y talla inicial de los peces para la prueba de digestibilidad.....	57
Anexo III. Peso y talla inicial de los peces para la prueba de requerimiento energético.	58
Anexo IV. Instalaciones y equipos del LINAPC	59
Anexo V. Laboratorio de investigación en nutrición y alimentación de peces y crustáceos (LINAPC)	60
Anexo VI. Contenido de materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno, ceniza y energía bruta de la dieta referencial y dietas pruebas (base fresca) – Prueba digestibilidad.....	61
Anexo VII. Contenido de materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, y energía bruta de las heces obtenidas de la dieta referencial y las dietas pruebas (parcialmente seca).....	61
Anexo VIII. Valores de óxido de cromo en las dietas y las heces (base fresca).....	62
Anexo IX. Coeficientes de digestibilidad aparente del arroz partido y el polvillo de arroz (base seca)	62
Anexo X. Contenido de materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno y ceniza de las dietas (base fresca) – Prueba Requerimiento.....	63
Anexo XI. Análisis del varianza del peso final – Prueba de requerimiento.....	63
Anexo XII. Análisis del varianza de ganancia de peso diario –Prueba de requerimiento	63
Anexo XIII. Análisis del varianza del consumo de alimento – Prueba de requerimiento	64
Anexo XIV. Análisis del varianza de conversión alimenticia– Prueba de requerimiento	64

RESUMEN

El paco fue la especie amazónica con mayor nivel de producción acuícola para el 2015 (PRODUCE, 2016), y para maximizar su productividad y rentabilidad es necesario utilizar dietas que cubran sus requerimientos nutricionales. Al encontrar muy poca información al respecto la presente investigación tuvo como objetivos determinar la digestibilidad de nutrientes y energía digestible de arroz partido y polvillo de arroz; y establecer su requerimiento de energía digestible. Dos experimentos fueron realizados en el laboratorio de investigación en nutrición y alimentación de peces y crustáceos, para determinar la digestibilidad del arroz partido y polvillo de arroz; y requerimiento de energía digestible (ED) en paco *Piaractus brachypomus*. Los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) del arroz partido y polvillo de arroz se determinaron mediante la técnica indirecta empleando óxido de cromo como indicador. El nivel de inclusión de los ingredientes fue de 40% en las dieta referencia, en ambos tratamientos se recolectó material fecal de 3 tanques replicados. Los CDA del arroz partido para materia seca, proteína y grasa fueron 69.00, 66.82 y 88.90 %; y del polvillo de arroz fueron 63.77, 68.96 y 77.97% respectivamente. Además el contenido de energía digestible (ED) obtenidos del arroz partido y polvillo de arroz fue de 2719 y 3201 Kcal/Kg respectivamente. El requerimiento de energía del paco se determinó mediante la técnica dosis-respuesta, donde se formularon cinco dietas con diferentes niveles de ED (que van desde 2900 a 3600 Kcal ED/Kg). Cada dieta se administró a 3 repeticiones (9 peces por repetición, 50.45 gramos por pez) durante 4 semanas. Con base en el análisis de regresión cuadrático y tomando como variables respuesta la ganancia de peso y la conversión alimenticia, el requerimiento obtenido de ED en la dieta es de 3287 y 3413 Kcal/Kg respectivamente.

Palabras clave: Digestibilidad, Paco, *Piaractus brachypomus*, Requerimiento, Energía digestible.

ABSTRACT

Two experiments were carried out in the Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos. First Apparent digestibility coefficients (ADCs) of dry matter (DM), crude protein, crude lipid and gross energy and digestible energy for broken rice and rice bran was determined for paco (*Piaractus brachypomus*) using a reference diet (RF) and test diets (60%RF diet plus 30% of tested feedstuff) with chromium oxide (0.5%) as an indicator and second digestible energy (DE) requirement of paco was determined by the dose-response technique, where five diets were formulated varying DE (ranging from 2900 to 3600 Kcal ED/Kg) each diet was administered at 3 replicate (9 fish per replicate, 50.45 grams per fish) for 4 weeks. The ADC of the broken rice for dry matter, protein and fat were 69.00, 66.82 and 88.90%; and rice bran were 63.77, 68.96 and 77.97% respectively. In addition, the digestible energy content (ED) obtained from broken rice and rice powder was 2719 and 3201 Kcal / Kg respectively. Based on quadratic regression analysis and taking as a response variables the weight gain and the feed conversion, the requirement obtained from ED in the diet is 3287 and 3413 Kcal / Kg respectively.

Keywords: Digestibility, Paco, *Piaractus brachypomus*, Requirement, Digestible energy.

I. INTRODUCCIÓN

La pesca ribereña representa la principal fuente de proteína animal en las dietas de la población amazónica. Lamentablemente la pesca amazónica ha alcanzado su límite de sostenibilidad, por lo que el cultivo de peces se muestra como una buena alternativa para asegurar la seguridad alimentaria y un rubro para desarrollar la región amazónica. Además, la demanda en el mercado mundial de productos pesqueros y acuícolas se sigue incrementando y la región Amazónica es una de las regiones del mundo con las mejores condiciones para desarrollar la cría de peces. El Paco (*Piaractus brachypomus*), un pez nativo de Sudamérica, tiene como hábitat las cuencas y zonas de inundación de los ríos Amazonas y Orinoco (Ortega *et al.*, 1986) y su producción en el Perú ha tenido un rápido crecimiento pasando de 9 Toneladas de producción en el 2003 a algo de 825 toneladas para el 2015 (Ministerio de la Producción, 2016). Este rápido crecimiento debe ir acompañado también de un aumento en la productividad y rentabilidad, y como toda especie con potencial cultivable necesita un alimento que cubra sus requerimientos nutricionales. Existe aún muy poca la información que se tiene no solo de los requerimientos (sobre todo de energía y proteína), sino también del potencial de uso (digestibilidad y energía digestible) de ingredientes locales para usarlos en la alimentación del paco. Razón por la cual esta investigación tiene como objetivos, determinar la digestibilidad de nutrientes y energía digestible del polvillo de arroz y el arroz partido mediante el método indirecto usando como indicador el óxido de cromo y determinar el requerimiento de energía digestible del Paco juvenil mediante la técnica de dosis-respuesta, con métodos de análisis de regresión de línea quebrada y regresión polinomial cuadrático.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Características generales del Paco

2.1.1 Habilidad y localización geográfica

El Paco (*Piaractus brachipomus*), es un pez nativo de Sudamérica, y su área de distribución natural se extiende en las cuencas y zonas de inundación de los ríos Amazonas y Orinoco (Ortega *et al.*, 1986). Los nombres comunes para esta especie varían según la región, en Brasil se le conoce como Pirapitinga, Paco en el Perú y Cachama blanca en Colombia (Carolsfeld *et al.*, 2003).

Los juveniles se encuentran en la zona de inundación de los ríos ricos en nutrientes, a menudo entre las raíces de los macrófitos. Los adultos viven en el bosque inundado del río Amazonas y sus afluentes ricos en nutrientes, pero también se encuentran en las cabeceras de los afluentes y pobres en nutrientes (Carolsfeld *et al.*, 2003).

Las condiciones ambientales óptimas para la sobrevivencia del Paco son: pH de 6.8, temperatura de 26° y altitud de 0 a 1000 msnm (Martelo *et al.*, 2008).

2.1.2 Descripción física

El Paco tiene el cuerpo profundo y comprimido lateralmente, con lados plateados (oscureciéndose cerca al dorso) y la coloración roja en el vientre, la barbilla, las aletas pectorales, y ocasionalmente los principales rayos de la aleta anal. Las aletas restantes son de color uniforme oscuro. Una pequeña aleta adiposa está presente aproximadamente a medio camino entre las aletas dorsal y caudal. La aleta dorsal contiene 15-18 rayos, las aletas pectorales 16-19, la aleta anal 24-28, y las aletas pélvicas 8. Los primeros rayos de las aletas dorsal y anal son más largos que los elementos restantes (Schleser, 1997).

Sus dientes utilizados para la trituración de semillas y frutos secos aplanados. Esta dentición se compone de 2 series de incisivos molariformes situados en el premaxilar y 1 fila de dientes del dentario (Schleser, 1997). Los individuos más grandes pueden pesar hasta 25 kg y miden 88 cm, aunque estos números son generalmente más bajos en cautiverio (Schleser, 1997).

2.1.3 Hábitos alimenticios

El paco, es una especie amazónica, de hábitos omnívoros, tendiendo a frugívora, ya que consume preferentemente frutos y semillas (Gutiérrez, 1996).

Se planteó que esta especie presenta fuertes dientes molariformes, permitiéndole alimentarse de hojas grandes, semillas o frutas que caen de los árboles (Lauzanne y Loubens, 1985). Paco, en estado juvenil es omnívoro pues se alimenta principalmente de frutas, semillas y zooplancton (Aliaga, 2004); cuando el nivel de agua decrece, se observa un adelgazamiento que se prolonga hasta la mitad de la crecida siguiente, dándose una etapa de largo ayuno, siendo total para los adultos y parcial para los juveniles (Loubens y Panfili, 1997).

2.2 Metabolismo energético del pez

La energía no es un nutriente, sino es más bien el resultado del proceso de oxidación metabólica de los carbohidratos, grasas y proteínas (NRC, 2011), y los peces al igual que otros organismos vivos, se rigen bajo las leyes de la termodinámica (la materia y la energía pueden interconvertirse pero nunca destruirse). El catabolismo de los sustratos (nutrientes) resulta en la producción de dióxido de carbono y agua, calor y algunos subproductos parcialmente oxidados, que finalmente serán excretados (Brett y Groves, 1979). Durante el metabolismo aeróbico, el 40-50% de la energía de sustrato químico (nutrientes) queda atrapada temporalmente en forma de trifosfato de adenosina (ATP) y otros compuestos lábiles relacionados. Los compuestos de "alta energía" proporcionan la energía impulsora inmediata para procesos endergónicos como la biosíntesis y el transporte de membrana, y son el combustible inmediato para la conversión a trabajo mecánico en los tejidos musculares. La energía química libre se disipa en forma de calor y en el caso de los animales homeotermos (ejemplo: mamíferos, aves) a temperaturas inferiores a su rango térmico neutral, el calor metabólico contribuye al mantenimiento de la temperatura corporal (Brett y Groves, 1979); pero en los peces, el calor metabólico, representa una completa

perdida de energía. Si la energía absorbida es igual a la gastada en mantenimiento y actividad física, el animal mantendrá constante su masa corporal; pero si la energía absorbida excede estos requerimientos el crecimiento puede ocurrir con deposición de tejido (Brett y Groves, 1979).

A diferencia de los animales terrestres, los peces utilizan los carbohidratos dietarios pobremente, tanto a nivel de digestión como en su capacidad para metabolizar los carbohidratos absorbidos. Un ejemplo son los salmones que solo digieren entre el 30 a 40 por ciento de los carbohidratos dietarios, y su digestibilidad decrece notablemente cuando los carbohidratos superan el 25% de la ración (Brett y Groves, 1979). Muchas especies omnívoras y herbívoras tienen mayor capacidad para utilizar los carbohidratos, pero incluso en herbívoros como la carpa, la principal energía digestible del alimento proviene de proteínas y carbohidratos simples (disacáridos y oligosacáridos) y hemicelulosa (Brett y Groves, 1979). Entonces la proteína es la principal fuente de energía en todos los peces, y además la glucosa sanguínea deriva en mayor parte de la gluconeogénesis que de los carbohidratos de la dieta (Brett y Groves, 1979). Los lípidos son la principal fuente no proteica de energía en omnívoros y carnívoros, y estas son altamente digestible y metabolizable.

2.2.1 Densidad energética de los alimentos

Los peces, como otros animales, tienden a comer para satisfacer sus necesidades energéticas (Rozin y Mayer, 1961). Suponiendo un equilibrio adecuado de nutrientes en la dieta, los peces pueden compensar una baja densidad de energía (calorías por gramo) comiendo más de la ración (Phillips y Brockway, 1959). La compensación de este tipo puede ocurrir por debajo de los límites de la capacidad física del tracto digestivo. Hasta ese momento, el aumento de peso puede ser similar entre los grupos de peces, pero los peces que consumen mucha energía requieren menos alimento por unidad de ganancia. Sin embargo, dado que los peces que reciben una ración de alta densidad energética pueden consumir más nutrientes con una ingesta física máxima, pueden crecer a un ritmo mayor (Ringrose, 1971). Pero una dieta con un exceso de energía puede reducir el consumo de alimento, reduciendo también la ingestión de proteína y nutrientes esenciales para maximizar el crecimiento, además también puede aumentar la deposición de tejido graso, lo cual no es deseable (NRC, 2011).

2.2.2 Partición de la energía de los alimentos

La ingesta de energía es dividida en varios componentes en el cuerpo del animal. Una ilustración del flujo de energía en el animal se muestra en la figura 1. Desde el consumo de alimento hasta la deposición de tejido, existen varias etapas donde la energía se pierde. Estas pérdidas se dan en las heces, en la orina, en las excreciones de la agallas, y como calor.

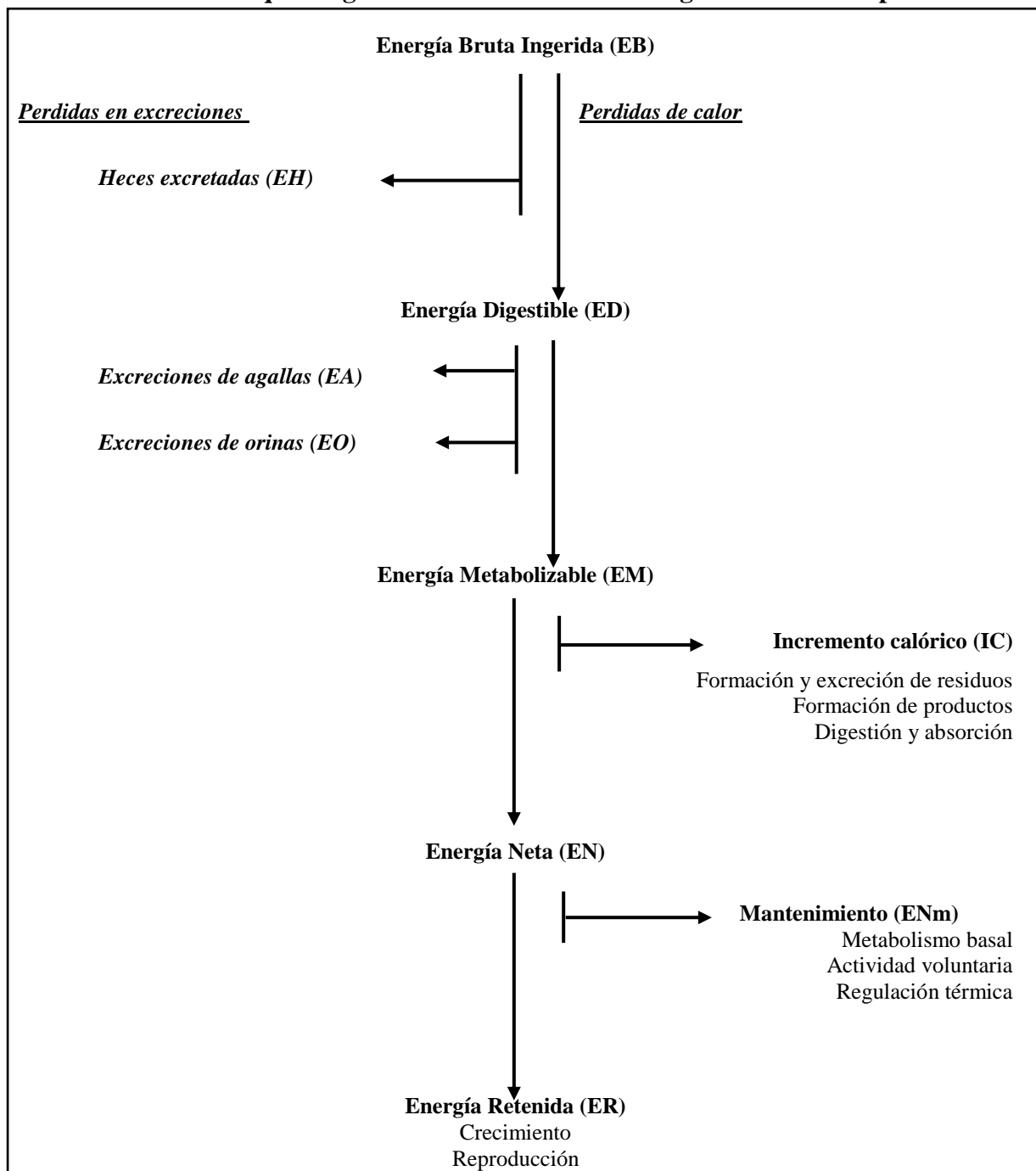
Idealmente es necesario minimizar estas pérdidas y así obtener el máximo rendimiento como productos útiles. La magnitud de estas pérdidas depende de las características de la dieta y del nivel de alimentación. La diferencia entre la energía bruta ingerida (EB) y la energía digestible (ED) es la energía perdida en las heces (EH). La inclusión de fibra en el alimento disminuye la digestibilidad e incrementa EH (NRC, 2011).

La energía metabolizable (EM) representa la ED corregida por las pérdidas de energía en las excreciones de las agallas (EA) y la orina (EO). La diferencia entre EM y la energía utilizada para crecimiento y/o reproducción (ER) es la energía perdida como calor (EC). Las pérdidas como calor ocurren principalmente por dos procesos: el incremento calórico de los alimentos (IC) y la pérdida de calor por mantenimiento – energía neta de mantenimiento (ENm) (NRC, 2011). El IC es el incremento en la producción de calor en los procesos de ingestión y digestión de alimentos, absorción de los nutrientes, la transformación e interconversión de los sustratos y su retención en tejidos y la formación y excreción de desechos metabólicos (Cho y Kaushik, 1990). La principal base bioquímica de IC es la desanimación y excreción del nitrógeno proteico; sin embargo esto representa una menor pérdida de energía en los peces porque ellos pueden eliminar los desechos del metabolismo de la proteína en forma de amonio sin necesidad de sintetizar urea, ácido úrico, u otro similar componente (Kleiber, 1975). La base fisiológica de este IC son los procesos posabsortivos, estos procesos son principalmente el trabajo metabólico requerido para la síntesis de proteínas y lípidos en los tejidos desde sustratos recién absorbidos provenientes de la alimentación como aminoácidos, ácidos grasos y glucosa, y la formación de productos excretos del nitrógeno. (Cho y Kaushik, 1990).

La parte de la EM que no se pierde en IC, se denomina energía neta (EN), y se refiere a la energía que el animal tiene disponible para sus funciones biológicas de mantenimiento, crecimiento y reproducción (Cho y Kaushik, 1990). Debido a que IC es menor en los peces, la EN disponible es mayor que en animales terrestres (NRC, 2011).

La ENm es la energía requerida para mantener las funciones esenciales para el mantenimiento de la vida. Una mayor porción de esta energía es gastada por el metabolismo basal, como la respiración, transporte de iones y metabolitos, recambio de los constituyentes del cuerpo y circulación. Una pequeña porción es gastada en actividades voluntarias o de reposo y, en el caso de animales homeotermos, en la termorregulación de la temperatura corporal. Dado que los peces no regulan su temperatura corporal y gastan menos energía en

Gráfico 1. Esquema general del destino de la energía dietaría en el pez.



Adaptado de National Research Council 2011. Nutritional energetics of domestic animals and glossary of energy terms. Washington D.C.: National Academy Press.

mantener su posición en el agua que los animales terrestres en mantener su postura, la ENm del pez es menor que los animales homeotermos (Cho y Kaushik, 1990).

Finalmente la ENr es la porción de la EN que es retenida por el por animal para la síntesis de nuevos tejidos (Cho y Kaushik, 1990). En animales en crecimiento, la ENr es particionada entre proteína y grasa (con la proporción de grasa incrementándose a medida que el animal madura). La importancia relativa de la deposición de la proteína y la grasa depende de un gran número de factores: la disponibilidad de aminoácidos (principalmente esenciales) dietarios, la cantidad en que la ingesta de energía dietética excede el requerimiento de mantenimiento y la relación proteína: energía en la dieta son los principales factores. Proteínas con alto valor biológico pueden promover mayor deposición de proteína, un exceso de energía dietario con desbalance de proteína puede resultar en mayor deposición de grasa (Cho y Kaushik, 1990).

2.3 Sistemas de valoración energética de dietas para peces

La energía contenida en una dieta depende de su composición química, con los valores promedio de calor de combustión de proteínas, lípidos y carbohidratos siendo 5.64, 9.55 y 4.11 Kcal/g, respectivamente. Sin embargo, el contenido químico de una dieta solo tiene influencia sobre el calor de combustión, o energía bruta, y no proporciona información si la energía y los nutrientes están disponibles para el pez a través de los procesos digestivos. Antes de formular dietas, sin embargo, es necesario conocer la biodisponibilidad de la energía en los ingredientes usados para la alimentación animal (NRC, 2011).

Los valores de energía disponible en los ingredientes usados en la alimentación de peces han sido determinados en Energía Digestible (ED) y Energía Metabolizable (EM). La energía metabolizable es una medida más exacta de la energía disponible para el metabolismo del animal. En realidad la energía metabolizable ofrece una mínima ventaja sobre la energía digestible en la evaluación de energía útil de los alimentos debido a que la energía de las excretas representa la mayor pérdida de energía. Las pérdidas energéticas debido a la orina o excreciones de las agallas en el pez son mucho menores que las pérdidas no fecales en los mamíferos y aves, y no varían tanto entre los ingredientes como si lo hace las pérdidas fecales. Además, determinar valores de energía metabolizable en peces es muy complicado porque se requiere forzar su alimentación y ubicar a los peces en cámaras metabólicas con la ayuda de un collar para una colección simultánea de las heces y excreciones urinarias y de las agallas (NRC, 2011 y Smith, 1976). La energía digestible es más fácil de determinar

el pez no está estresado con una alimentación voluntaria (Page and Andrews, 1973; Cho y Slinger, 1979; Takeuchi *et al.*, 1979). En el Cuadro 1 se muestra que la relación de energía digestible y energía bruta varía de manera marcada entre los diferentes insumos para la alimentación de la trucha arcoíris, mientras que la relación energía metabolizable y energía digestible varía solo ligeramente. Esto indica claramente que la digestión representa la mayor parte de variación en la energía disponible de los alimentos para peces (Tom Lovell, 1989).

Cuadro 1. Relación de energía digestible con energía bruta (ED/EB) y energía metabolizable con energía digestible (EM/ED) para truchas arcoíris

Ingrediente	ED/EB	EM/ED
Harina de pescado anchoveta	0.91	0.94
Harina de pescado blanco	0.84	0.94
Harina integral de soya	0.79	0.94
Harina de carne	0.71	0.95
Harina de semilla de algodón	0.63	0.93
Harina de trigo	0.40	0.91

Fuente: Tom Lovell, 1989

2.4 Digestibilidad

La digestibilidad es la medida del aprovechamiento de un alimento, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición. Comprende dos procesos, la digestión que corresponde a la hidrólisis de las moléculas complejas de los alimentos, y la absorción de pequeñas moléculas (aminoácidos, ácidos grasos) en el intestino (Manríquez, 1994).

El verdadero valor nutritivo de una dieta formulada depende de la composición nutricional y la biodisponibilidad de sus nutrientes. La digestibilidad puede estar afectada por las relaciones entre los micronutrientes y macronutrientes tanto como de la presencia de componentes inhibitorios (Manríquez, 1994).

Por tanto, la digestibilidad de un ingrediente en el animal depende no solo de las condiciones medioambientales, estructura del tracto digestivo y su fisiología sino también del ingrediente y sus características nutricionales (Lee y Lawrence, 1997).

2.4.1 Coeficiente de digestibilidad

El coeficiente de digestibilidad (CD) permite cuantificar la digestibilidad. Puede definirse de dos maneras según tengamos en cuenta o no en el balance la presencia de una posible fracción de origen endógeno en el desecho fecal. De este modo se define un Coeficiente de Digestibilidad Real (CDR) y un coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) (Guillaume *et al.*, 2004).

$$CDA = (ingesta - fecal) \div (ingesta)$$

$$CDR = (ingesta - (fecal - fecal\ endogeno)) \div ingesta$$

De forma rutinaria se calcula el CDA, ya que la determinación de la fracción endógena (muy reducida en el pez) es aun complicada (Guillaume *et al.*, 2004).

2.4.2 Métodos de Estudio de la Digestibilidad

Para cualquiera de los dos métodos que se presentaran a continuación, es necesario la colecta total o parcial de las heces y para esto es necesario el uso de técnicas apropiadas para entregar valores de energía digestible confiables, la colección de heces sin la pérdida de nutrientes es importante en la determinación de energía digestible con peces (NRC, 2011). La inapropiada colección de heces, como permitir que las heces permanezcan en el tanque un tiempo muy largo, causaría serios de sobreestimación en los coeficientes de digestión (Smith y Lovell, 1973; Windell *et al.*, 1978). Cuando las heces están más de 23 horas en el acuario, se pueden perder nutrientes, lo que causaría una incorrecta medición de la digestibilidad (Smith y Lovel, 1973. No existe diferencias entre una colecta después de 4, 8, 16 horas de la alimentación (Windell *et al.*, 1978).

a. Método directo: implica la medición de la totalidad del alimento ingerido y de las heces emitidas, correspondientes a una o varias comidas. Este método es aplicable siempre que se permita recoger cuantitativamente las materias fecales derivadas de la ración dada a los peces. (Guillaume *et al.*, 2004). Este método fue propuesto por Tunison *et al.* (1948), utilizada por Post *et al.* (1965) y Ogino *et al.* (1973) y ampliamente desarrollado por Smith (1971, 1976), citado por Choubert (1999).

Una de sus ventajas es que puede ser usado para evaluar dietas vivas y alimentos, cuantificando los nutrientes aportados por la dieta y excretados en las heces, y por diferencia obtener el porcentaje de nutrientes asimilado por el organismo. La mayor desventaja de este método, es la necesidad de recolectar la totalidad de la materia fecal excretado por los peces, lo que en la realidad es muy difícil de lograr, además que se presenta el inconveniente que no todos los elementos excretados corresponden a los incorporados por la ración diaria de alimento (Choubert *et al.*, 1979).

Se puede utilizar para ello una cámara metabólica en la que el principio utilizado es el mismo que para los animales terrestres. No obstante, también es adecuado cualquier otro método para recoger las heces siempre que permita una cuantificación total de las materias fecales de los peces (Guillaume *et al.*, 2004). La recolección de los productos de excreción, son determinados cualitativamente y cuantitativamente. Por tanto, es posible saber la absorción aparentemente de los nutrientes (por diferencia entre lo ingerido y excretado) y luego calcular el coeficiente de digestibilidad.

b. Método indirecto

No implica la medición de la totalidad de la ingestión alimenticia ni de la emisión fecal. Su originalidad reside en la utilización de un marcador inerte no digestible y no absorbible incluido en los alimentarios o incorporado a la dieta (NRC, 2011). Por sus particulares propiedades, esta sustancia después de haber transitado en el bolo alimenticio se recupera totalmente en las heces. El aumento de la concentración del marcador, en comparación con la de los nutrientes, permite cuantificar la desaparición de estos nutrientes y esta desaparición se equipará a la absorción (Guillaume *et al.*, 2004).

La principal ventaja del método con indicador es la no necesidad de una recolección total, sino que basta una muestra tomada al azar que contenga el indicador. Una de las desventajas este método es la lixiviación que sufren las heces al estar en contacto con agua. Al respecto es necesario ser muy uniforme en la realización de todos los procedimientos de manera que todas las muestras sufran el mismo grado de lixiviación y los resultados continúan siendo válidos, porque son comparativos (Gutiérrez *et al.*, 2009). La utilización de un componente interno indigestible (cenizas insolubles en ácido) (Vandenberg y De la Noüe, 2001; Goddard y Mclean, 2001) o un marcador externo indigestible (Cho y Slinger 1979; Austreng *et al.*, 2000) elimina la necesidad de cuantificar la totalidad de las heces, pero requiere una muestra

representativa (Maynard y Loosli, 1979). Furukawa y Tsukahara (1966) mejoraron la técnica de determinación del marcador de óxido de cromo, por lo que muchos investigadores desde entonces, utilizan su metodología cuando aplican dicho marcador en sus estudios de digestibilidad.

Cho *et al.* (1982) y NRC (2011), determinaron la energía digestible y los coeficientes de digestibilidad de nutrientes de nuevos ingredientes al comparar la digestibilidad de una dieta referencial con una dieta prueba que contiene una mezcla de la dieta de referencia y el ingrediente. La dieta de referencia estaba compuesta de ingredientes naturales similares a una dieta comercial. Primero los coeficientes de digestibilidad aparente digestión se determinan para las dietas de referencia y de prueba (CDA_d), posteriormente estos datos son usados para determinar los coeficientes de digestibilidad de los nutrientes de los nuevos ingredientes (CDA_n), y finalmente para hallar los nutrientes o energía digestible se multiplica el CDA_n por el contenido de nutrientes del nuevo ingrediente.

2.5 Requerimiento energético

Los requerimientos energéticos, en general, expresan las cantidades de energía dietaría necesaria para el mantenimiento de la vida y las funciones productivas (NRC, 2011). La cantidad de nutrientes fijada como necesaria para los animales se conoce como requerimientos nutritivos. Estos requerimientos son las necesidades promedio de una población para una función determinada (McDonald *et al.*, 2011).

2.5.1 Enfoques para determinar requerimiento energético

Existen diferentes métodos para estimar un requerimiento de nutrientes (Pomar *et al.*, 2003):

- **El enfoque factorial:** se obtienen los requerimientos diarios para un animal individual en un punto específico en el tiempo mediante la combinación de las necesidades estimadas para el mantenimiento y la producción (crecimiento hipotético).
- **El enfoque empírico (Dosis - Respuesta):** los requerimientos nutricionales se definen como la cantidad mínima de nutrientes necesarios para maximizar o minimizar la respuesta de las poblaciones de uno o varios criterios de rendimiento durante un período determinado.

2.5.2 Enfoque empírico para determinar el requerimiento energético.

En la alimentación animal, es habitual para llevar a cabo experimentos de dosis-respuesta para estimar los requerimientos de aminoácidos. La exigencia de un nutriente, se puede definir como la cantidad mínima de este nutriente (dosis) necesaria para alcanzar el máximo rendimiento (respuesta) suponiendo que todos los demás nutrientes se proporcionan en cantidades adecuadas (Ajinomoto, 2012). Este método consiste precisamente en probar diferentes concentraciones de un nutriente y luego determinar a través de métodos estadísticos, que ofrece el mejor nivel de rendimiento. Existe una parte importante de la variabilidad en los requerimientos de nutrientes, y estos se debe a los diversos protocolos realizados y la interpretación de los resultados (Dawkins, 1983).

Los primeros estudios sobre los niveles requeridos estimados de nutrientes en peces se hicieron mediante la aplicación de una prueba de rango (ANOVA) con los datos de las pruebas dosis-respuesta (Bureau y Encarnacao, 2006). Este enfoque tiene un valor limitado, ya que no indica con precisión el nivel de nutrientes necesaria para maximizar la respuesta de crecimiento o la de conversión alimenticia. Se ha sugerido ajustar curvas de respuesta a los datos experimentales de los estudios de dosis-respuesta (Cowey, 1994; Rodehutscord y Pack, 1999).

Es así que los requerimientos de energía se pueden calcular a partir del análisis de regresión entre la energía consumida y la ganancia de peso u otra variable determinada (Hurwitz *et al.*, 1978).

a. Análisis de pruebas de rango múltiple

La determinación de requerimiento utilizando pruebas de rango múltiple, supone que se ha cumplido con el requerimiento dietético en la concentración más baja del nutriente que da como resultado una respuesta que no es significativamente diferente de la respuesta máxima (en algún nivel de significancia elegido arbitrariamente). Las pruebas de rango múltiple para estimar los requerimientos nutricionales generalmente se basan en el análisis de varianza de una vía (Pesti *et al.*, 2009). Para esto es necesario primero realizar el análisis de varianza, y luego realizar una prueba de comparación de medias, como Tukey o Duncan, el requerimiento queda definido como el nivel la mínima concentración del nutriente que otorga una respuesta significativamente no diferente a la máxima respuesta. (Shearer, 2000)

b. Análisis de Modelo Línea Quebrada

El modelo de línea quebrada es por ahora el modelo más popular utilizado en la investigación nutrición de los peces. Este modelo lineal asume que un animal en crecimiento responderá de forma lineal a la suplementación de un nutriente hasta que se cumpla el requerimiento exacto (línea ascendente), después de lo cual ninguna otra adición del nutriente mejorará la respuesta del animal (línea horizontal) (Bureau y Encarnacao, 2006).

La ecuación general del modelo de línea discontinua es:

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

Donde y es la respuesta del animal, x es la concentración del nutriente o energía en el alimento, M es la ordenada (máxima respuesta) y R es la abscisa (requerimiento) del punto de inflexión de la ecuación, b es la pendiente de la línea cuando x es menor al requerimiento.

Este modelo no toma en cuenta el principio biológico a menudo referido como "ley de los rendimientos decrecientes", por lo que se proponen otros métodos como los cuadráticos (Pesti, 2007), exponenciales (Rodehustcord, *et al*, 1995) y la sigmoideal (Mercer *et al*, 1989;.. Gahl *et al*, 1991), los cuales que han sido más ampliamente utilizados en los estudios de requerimientos.

Estudios de Encarnação *et al.*, 2004 y de Rodehustcord, 1995 indican que los valores requisito propuesto por el NRC (2011) para la trucha arco iris en aminoácidos están significativamente por debajo de lo que se requiere para maximizar las ganancias de peso. Esto es principalmente un resultado del hecho de que el análisis de línea quebrada defendido por NRC (2011) no representa fielmente la respuesta del animal al aumento de los niveles de este aminoácido. La intersección de las dos funciones lineales está claramente por debajo del nivel para maximizar el peso (Bureau y Encarnacao, 2006).

c. Análisis de Modelo Polinomial Cuadrático

Se basa en la suposición de que existe un cierto nivel de entrada que da como resultado el máximo rendimiento, el requerimiento. Utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios para ajustar los modelos polinomiales de segundo orden. (Pesti, 2009)

Los polinomios de segundo orden describen las relaciones llamadas "productividad marginal decreciente". El aumento de la concentración del nutriente en la dieta tiene una contribución extra en la variable respuesta, pero esta contribución va disminuyendo a medida que se va alcanzando el máximo biológico, y posteriormente una disminución en el rendimiento cuando se alcanza la toxicidad. Con un polinomio de segundo orden, se espera que la adición de unidades extra del nutriente por encima del requisito disminuya la respuesta (Pesti, 2009). Los niveles máximos de rendimiento (o mínimos de criterios tales como la tasa de conversión alimenticia), son fáciles de determinar (mediante el establecimiento de la primera derivada igual a 0 y despejando "x")

Su modelo es el siguiente $Y = a + bX + cX^2$

Donde, Y es la respuesta del animal, X es la concentración del nutriente en el alimento y a, b, c son constantes de la ecuación.

Lamentablemente la meseta de la curva no describe bien las respuestas nutricionales, dado que no se mantiene estable y decae muy rápido. Lo cual no siempre se resulta exactamente igual en el mundo biológico (Pesti, 2009)

2.6 Producción de arroz

El arroz (*Oryza sativa*) es el cereal más cultivado en el mundo y su importancia crece cada día, debido a su industrialización y al aumento de población mundial. En América Latina la tercera parte de calorías que consumen sus habitantes proviene de este grano (MAG-FOR, 2006). En el Perú, este cereal junto con la papa ocupa las mayores áreas de cultivo, agrupan a la mayor cantidad de productores y aportan en mayor magnitud al VBP (valor bruto de producción agropecuaria). Asimismo, el arroz representa el 6% de PBI agropecuario y tiene una participación mayor a la de cultivos tradicionales como el café (3%) y la caña de azúcar (4%) (MINAGRI, 2017). De acuerdo con información obtenida de MINAGRI (2017) del total de la producción nacional (3166 miles de toneladas), un 22% de arroz proviene de la Región San Martín con 22 % de participación. Su uso es una muy importante fuente de energía para la alimentación humana pero a menudo se destinan a animales los granos partidos y los excesos coyunturales (FEDNA, 2016).

2.6.1 Arroz partido

Durante el procesamiento del arroz, un 14% del peso inicial corresponde a granos partidos y sólo un 58% (el resto son otros residuos como cascarilla o harinilla) del producto original se utiliza para alimentación humana (FEDNA, 2016). El arroz partido es rico en carbohidratos (89.9 %), principalmente almidón (70%), su contenido en proteína es bajo (7,5% -10%) pero tiene un nivel aceptable en lisina (3,8%) con una digestibilidad elevada tanto en aves como en porcino. Su contenido en cenizas es muy escaso y su aporte en macrominerales prácticamente despreciable. Asimismo, su contenido en vitaminas es muy bajo y contiene valores mínimos de grasa (<0,6%). El contenido en energía del grano de arroz es elevado en todas las especies animales, debido a su alto contenido en almidón y a la ausencia de factores antinutricionales (Pestana *et al.*, 2008). En el Cuadro 2 se muestra el contenido nutricional del arroz partido.

Cuadro 2. Contenido nutricional del arroz partido

Nutriente	%
Materia seca	87.2
Cenizas	1.2
Proteína cruda	7.5
Extracto etéreo	1.2
Fibra cruda	1.0
Almidón	71.8
Azúcares	1.8
Calcio	0.04
Fósforo	0.10
P. fítico	0.08
P. disponible.	0.02
Sodio	0.02
Lisina	0.29
Metionina	0.18
Met+Cis	0.35
Treonina	0.26
Triptófano	0.10
Isoleucina	0.28

FEDNA, 2016

2.6.2 Polvillo de arroz

Es el subproducto obtenido en el proceso del pulido para la obtención de arroz blanco para consumo humano. La producción mundial de cilindro de arroz se estima en unos 50 millones de Tm por año. (FEDNA, 2016).

El polvillo de arroz está constituido por el pericarpio, aleurona, subaleurona, cubierta de semilla y una pequeña porción de endosperma, la capa de aleurona y el germen, y representa del orden del ocho al diez por ciento del peso del grano (Salunkhe *et al.*, 1992; Hargrove, 1994; Hu *et al.*, 1996). La composición del polvillo de arroz varían de acuerdo con la variedad, el pretratamiento antes de la molienda, el tipo de sistema de molienda y el grado de molienda (Saunders, 1990) y además puede ser adulterado con cascarilla, lo que reduce notablemente su valor nutritivo (FEDNA, 2016).

Es una buena fuente energética en todas las especies, dado su alto contenido en grasa (12-22%) y su apreciable contenido en almidón (21-28%). Tiene también un buen contenido en proteína (11-17%) (Saunders, 1990; Hu *et al.*, 1996; Xu , 1998); es rico en vitaminas como la vitamina E, tiamina, niacina y minerales como aluminio, calcio, cloro, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio y zinc (Saunders, 1990; Hu *et al.*, 1996; Xu , 1998) y su contenido en fósforo es bastante alto (1,35%), pero en su mayor parte (90%) está en forma de fitatos (FEDNA , 2016), otra característica es su alto contenido en grasa poliinsaturada (4% de ácido linoleico), además, contiene una lipasa capaz de hidrolizar los triglicéridos (FEDNA, 2016). En consecuencia, el riesgo de enranciamiento es muy elevado, especialmente en zonas de clima cálido y húmedo, y donde las condiciones de almacenamiento no sean adecuadas. El Cuadro 3 se muestra el contenido nutricional del polvillo de arroz. El salvado de arroz también contiene una cantidad significativa de antioxidantes de origen natural como tocoferoles, tocotrienoles y orizanol (Ju y Vali, 2005). Las proteínas de salvado de arroz son de alto valor nutricional (Kennedy y Burlingame, 2003) e hipoalergénicas (Tsuji *et al.*, 2001). Estas proteínas son ricas en aminoácidos esenciales, especialmente lisina, por lo que pueden usarse como ingredientes en recetas de alimentos (Wang *et al.*, 1999, FEDNA, 2016).

Cuadro 3. Contenido nutricional del polvillo de arroz

Nutriente	%
Materia seca	89.7
Cenizas	8.1
Proteína cruda	13.8
Extracto etéreo	13.9
Fibra cruda	7.0
Almidón	27.0
Azucares	5.0
Calcio	0.10
Fósforo	1.35
P. fítico	1.10
P. disponible.	0.25
Sodio	0.02
Lisina	0.61
Metionina	0.28
Met+Cis	0.52
Treonina	0.51
Triptófano	0.17
Isoleucina	0.48

FEDNA, 2016

III. MATERIALES Y METODOS

La investigación tuvo 2 etapas, la primera (experimento I) consistió en la determinar la digestibilidad de nutrientes y energía digestible del polvillo de arroz y del arroz partido; la segunda (experimento II) consistió en establecer el requerimiento de energía digestible del Paco, es así que:

- Experimento I: Determinación de digestibilidad de los ingredientes y energía digestible.
- Experimento II: Determinación de requerimiento de energía digestible.

3.1 Experimento I – Determinación de digestibilidad de los ingredientes y energía digestible

3.1.1 Lugar y duración del experimento

La investigación se realizó en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación en Peces y Crustáceos (LINAPC), Departamento Académico de Nutrición, Facultad de Zootecnia, Universidad Agraria La Molina (UNALM) entre los meses de Julio y Noviembre 2017. La elaboración del alimento balanceado se realizó en la Planta de Alimentos del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos, Facultad de Zootecnia (PIPSA). La determinación de óxido de cromo se realizó en el laboratorio World Survey Services S.A. La determinación de la energía bruta se realizó en el Instituto de Investigación Nutricional (IIN). La determinación del análisis proximal se realizó en el Laboratorio “La Molina de Calidad Total”, UNALM.

3.1.2 Animales experimentales

Experimento I: Para las pruebas de digestibilidad y energía digestible se utilizaron 54 juveniles de paco con un peso promedio de 61.55 gramos, pesados y medidos individualmente para luego ser distribuidos al azar en 9 acuarios formando grupos homogéneos de 6 peces por acuario. Los pesos y tallas de los peces para la etapa de digestibilidad se presentan en el Anexo II.

3.1.3 Instalaciones

Las instalaciones del LINAPC, cuenta con un moderno sistema de recirculación, el cual permite el control de los estándares de calidad de agua óptimo para la especie en estudio. Se utilizaron 9 acuarios de digestibilidad de las siguientes características; tipo Guelph de fibra de vidrio, de color blanco, liso por dentro y afuera, y frontis de vidrio de 6 mm de grosor con capacidad de 75 litros, con medidas de 45 cm. de ancho, 45 cm. de profundidad, 50 cm altura y base en plano inclinado (ángulo 13°) para realizar la colección de las heces.

3.1.4 Tratamientos

Se evaluaron 3 tratamientos, las cuáles fueron las siguientes:

Tratamiento 1: Dieta referencial.

Tratamiento 2: Dieta con 40 por ciento de inclusión de arroz partido.

Tratamiento 3: Dieta con 40 por ciento de inclusión de polvillo de arroz.

3.1.5 Dietas experimentales

Se utilizaron 3 dietas experimentales las cuales se detallan en el Cuadro 4.

- Dieta referencial a partir de una dieta comercial para Paco en crecimiento, la cual corresponderá a la mezcla de 99.5 por ciento de una dieta comercial y 0.05 por ciento de óxido de cromo (Cr₂O₃).
- Dieta prueba con inclusión de arroz partido, la cual corresponderá a la mezcla de 59.5% de la dieta comercial, 0.5% de óxido de cromo (Cr₂O₃) y 40 % de arroz partido.
- Dieta prueba con inclusión de polvillo de arroz, la cual corresponderá a la mezcla de 59.5% de la dieta comercial, 0.5% de óxido de cromo (Cr₂O₃) y 40% de polvillo de arroz.

3.1.6 Procedimiento experimental

Para determinar los coeficientes de digestibilidad aparente de la materia seca, proteína cruda, extracto etéreo y la energía digestible del arroz partido y el polvillo de arroz se utilizó el método de digestibilidad indirecta usando como marcador inerte al oxido de cromo, adecuándose al procedimiento planteado por Cho *et al.* (1982). Para ello se trabajó una etapa de adaptación a la dieta de cuatro días, sin colección de heces, y a partir del quinto día se inició la colección. Cada acuario representa una repetición, con tres repeticiones por cada dieta suministrada.

Cuadro 4. Formula de las dietas experimentales para pruebas de digestibilidad

Ingredientes (%)	Dieta comercial	Dieta referencial	Dieta con arroz partido	Dieta con polvillo de arroz
Maíz	34.05	33.88	20.26	20.26
Harina de pescado prime	20.00	19.90	11.90	11.90
Torta de soya de 47	24.15	24.03	14.37	14.37
Harinilla de trigo	15.27	15.19	9.09	9.09
Aceite semirrefinado de pescado	5.93	5.90	3.53	3.53
Premezcla acuicultura	0.30	0.30	0.18	0.18
Cloruro de colina	0.10	0.10	0.06	0.06
Inhibidor de hongos	0.10	0.10	0.06	0.06
Pegabind (aglutinante)	0.08	0.08	0.05	0.05
Antioxidante	0.02	0.02	0.01	0.01
Oxido de cromo Cr ₂ O ₃	0.00	0.50	0.50	0.50
Arroz partido	0.00	----	40.00	----
Polvillo de arroz	0.00	----	----	40.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00
Análisis proximal (tal como ofrecido)				
Materia seca (%)		93.50	93.60	92.70
Proteína cruda (%)		31.30	23.70	24.10
Extracto etéreo (%)		10.50	7.50	10.90
Fibra cruda (%)		2.40	1.80	2.70
Ceniza (%)		6.40	4.50	6.20
Extracto libre de nitrógeno		42.90	56.10	48.80

a) Suministro de alimento

Los peces recibieron dos comidas diarias, ofrecidas a las 8:00 am y 6:00 pm, después de las colectas de heces, alimentado a punto de saciedad y asegurándose que todos los pellet suministrados sean consumidos.

b) Colección y manejo de las heces

A partir del quinto día, una hora después de la última alimentación, cada acuario de digestibilidad fue limpiado a fin de eliminar del sistema los residuos de alimento y heces. Se eliminó un tercio del agua de los acuarios para asegurar que el proceso de limpieza sea completo. A las 5:00 pm y 7:00 am del día siguiente, las heces sedimentadas fueron cuidadosa y suavemente extraídas del colector de heces y pasadas a través de una malla de 100µm para luego ser colocadas en placas petri, eliminando escamas que se pudieran

encontrar, posteriormente fueron secadas en una estufa a 60 °C por seis horas, para reducir la humedad e inmediatamente congeladas y almacenadas. Luego con la ayuda de un mortero se pulverizaron y eliminaron las escamas y cuerpos extraños. Estas heces libres de partículas contaminantes se consideran una muestra representativa de las producidas a lo largo del día. Este procedimiento se repitió durante 90 días, consiguiéndose aproximadamente 15 gramos de heces secas por cada acuario de digestibilidad para los posteriores análisis químicos.

c) Análisis de laboratorio

De las muestras de alimento y heces se determinó el contenido de humedad, el contenido de extracto etéreo y el contenido de proteína bruta en el LENA, UNALM, empleando el método AOAC (1990); y la energía bruta de las dietas y de las heces de cada unidad experimental en el laboratorio del IIN, para obtener la energía bruta se realizó el ensayo del valor calorífico empleando el método ASTM D-2015-66 (1972). La concentración del óxido de cromo de las dietas y heces de cada unidad experimental se realizó en el laboratorio World Survey Services S.A empleando el método de espectrofotometría por absorción atómica por el método AOAC (1990).

d) Determinación de los nutrientes y energía digestibles.

Los coeficientes de digestibilidad aparente se estimaron mediante el método indirecto utilizando como marcador el óxido de cromo (NRC, 2011), siguiendo el procedimiento planteado por Cho *et al.* (1982).

Con los resultados obtenidos en los respectivos laboratorios de las dietas suministradas y heces colectadas se determinaron los Coeficientes de Digestibilidad Aparente (CDA) de las dietas para materia seca, proteína, extracto etéreo y energía bruta; posteriormente se utilizaron estos CDA (de las dietas referencial y de prueba) para determinar el CDA del arroz partido y el polvillo de arroz. Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

- Fórmula de la determinación del CDA de nutrientes en las dietas (Cho *et al.*, 1982)

$$CDA_{(d)} = 100 - \left(100 \left(\frac{\%Cr_2O_{3(d)}}{\%Cr_2O_{3(h)}} \right) \times \left(\frac{\%Nut_{(h)}}{\%Nut_{(d)}} \right) \right)$$

Donde:

$CDA_{(d)}$ = coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta referencial y prueba

$Cr_2O_{3(d)}$ = % de óxido de cromo en las dietas

$Cr_2O_{3(h)}$ = % de óxido de cromo en las heces

$Nut_{(d)}$ = % del nutriente en las dietas

$Nut_{(h)}$ = % del nutriente en las heces

- Fórmula de la determinación del CDA de nutrientes del ingrediente (Pezzato *et al.* 2004)

$$CDA_{(ing)} = (CDA_{(dp)} - b * CDA_{(dr)}) / a$$

Dónde:

$CDA_{(ing)}$ = coeficiente de digestibilidad aparente del ingrediente

$CDA_{(dp)}$ = 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 referencia

- Calculo de la energía digestible y los nutrientes digestibles de los ingredientes prueba. Con los resultados que se obtuvieron del coeficiente de digestibilidad aparente del arroz partido y/o el polvillo de arroz, se determinaron los nutrientes digestibles y energía digestible mediante la siguiente fórmula:

$$Dig (Nut \text{ ó } ED)_{(ing)} = (\%Nut \text{ o } EB) * (CDA_{(ing)})$$

Dónde:

- $Dig (Nut \text{ o } ED)_{(ing)}$: Valor obtenido de la energía digestible (ED) o digestibilidad de la proteína, extracto etéreo o materia seca del arroz partido y/o el polvillo de arroz.
- % Nut o EB: Contenido de energía bruta o porcentaje de proteína, extracto etéreo, y materia seca del arroz partido y/o el polvillo de arroz.
- $CDA_{(ing)}$: Coeficiente de digestibilidad aparente de la energía o nutrientes obtenidos en la prueba de digestibilidad.

3.1.7 Diseño experimental y evaluación estadística

Se utilizó estadística descriptiva, empleando como indicadores promedios y error estándar.

3.2 Experimento II - Determinación de requerimiento de energía digestible.

3.2.1 Lugar y duración del experimento

La investigación se realizó en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación en Peces y Crustáceos (LINAPC), Departamento Académico de Nutrición, Facultad de Zootecnia, Universidad Agraria La Molina entre los octubre a noviembre del 2017. La elaboración del alimento balanceado se realizó en la Planta de Alimentos del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos, Facultad de Zootecnia (PIPSA). La determinación del análisis proximal se realizó en el Laboratorio “La Molina de Calidad Total”, UNALM.

3.2.2 Animales experimentales

Para las pruebas de requerimiento se utilizaron 135 juveniles de paco con un peso promedio de 50.45 gramos, pesados y medidos individualmente para luego ser distribuidos al azar en 15 acuarios formando grupos homogéneos de 9 peces por acuario. Los pesos y tallas de los peces para la etapa de requerimiento se presentan el en Anexo III.

3.2.3 Instalaciones

Las instalaciones del LINAPC, cuenta con un moderno sistema de recirculación, el cual permite el control de los estándares de calidad de agua óptimo para la especie en estudio. Se utilizarán 15 acuarios de crecimiento de las siguientes características, de fibra de vidrio, color blanco, liso por dentro y afuera, frontis de vidrio de 6 mm de grosor con capacidad de 55 litros, con medidas de 45 cm. de ancho, 45 cm. de profundidad, 50 cm altura y base plana.

3.2.4 Tratamientos

Se evaluaron 5 tratamientos con niveles crecientes de energía digestible para paco desde 2900 Kcal ED/Kg hasta 3600 Kcal ED/Kg.

Tratamiento 1: Dieta con 2900 Kcal ED/Kg.

Tratamiento 2: Dieta con 3100 Kcal ED/Kg.

Tratamiento 3: Dieta con 3300 Kcal ED/Kg.

Tratamiento 4: Dieta con 3500 Kcal ED/Kg.

Tratamiento 5: Dieta con 3600 Kcal ED/Kg.

3.2.5 Dietas experimentales

Se formularon 5 dietas experimentales, con niveles crecientes de energía digestible, isoproteicas, los cuales se detallan en el Cuadro 5. La inclusión de los ingredientes proteicos de origen animal se mantendrá en la misma proporción para todos los tratamientos.

3.2.6 Procedimiento experimental

a) Suministro de alimento

Los peces recibieron seis comidas diarias, ofrecidas a las 8:00 am, 10:00 am, 12:00 m, 2:00 pm, 4:00 pm y 6:00 pm, alimentados a punto de saciedad y asegurándose que todo el alimento ofrecido sea ingerido por los peces.

b) Manejo de los peces

Al iniciar la prueba los peces se pesaron obteniendo un peso promedio de 50.45 gramos, fueron alimentados por 4 semanas, y se realizaron registros biométricos cada dos semanas, para ir monitoreando el crecimiento.

c) Variables respuestas

a. Peso vivo

Los peces se pesaron al inicio de la evaluación y luego cada dos semanas hasta llegar a las 4 semanas.

b. Longitud

Los peces se tallaron usando una cinta métrica al inicio de la prueba, y luego cada dos semanas hasta llegar a las 4 semanas.

Al finalizar la prueba se calculó la ganancia de peso, por diferencia entre los pesos iniciales de los finales.

c. Conversión alimenticia

La conversión alimenticia se determinó dividiendo el alimento consumido durante toda la prueba entre la ganancia de peso.

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

d. Ganancia de peso

Cuadro 5. Formula y valor nutritivo de las dietas experimentales para la prueba de requerimiento.

Ingredientes (%)	Tratamiento				
	1	2	3	4	5
Harinilla de trigo	53.40	50.00	45.70	40.45	32.40
Torta de soya de, 47	26.00	27.00	28.00	30.00	32.00
Harina de pescado prime	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Aceite semirrefinado de pescado	----	2.4	5.70	8.95	10.00
Maíz	----	----	----	----	5.00
Premezcla acuicultura	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Acuacolina	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Inhibidor de hongos	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Aquamos	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Pegabind	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Antioxidante	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Valor nutritivo estimado					
Materia Seca, %	89.84	89.96	90.30	90.64	90.80
Proteína Bruta, %	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00
Fibra Cruda, %	4.74	4.65	4.36	4.08	3.94
Grasa, %	4.33	6.84	9.85	12.86	14.36
Energía Digestible, Mcal/Kg	2.90	3.10	3.30	3.50	3.60
Lisina, %	2.19	2.19	2.21	2.23	2.24
Metionina, %	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
Cistina, %	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48
Arginina, %	2.27	2.28	2.29	2.30	2.31
Treonina, %	1.33	1.33	1.34	1.35	1.35
Triptofano, %	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Valina, %	1.75	1.75	1.76	1.77	1.77
Met- Cis, %	1.18	1.18	1.18	1.18	1.17
AG Omega-3, %	0.88	1.58	2.45	3.32	3.76
AG Omega-6, %	1.04	1.06	1.04	1.00	0.98
Fosforo Total, %	1.13	1.11	1.08	1.05	1.03
Calcio, %	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
Sodio	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27
Análisis proximal					
Materia seca (%)	89.0	88.9	88.4	89.1	89.4
Proteína cruda (%)	36.3	36.6	36.2	35.9	36.1
Extracto etéreo (%)	6.1	6.7	9.2	12.4	13.1
Fibra cruda (%)	3.5	3.3	3.6	3.5	2.8
Ceniza (%)	7.2	6.8	6.5	6.7	6.6
Extracto libre de nitrógeno	35.9	35.5	32.9	30.6	30.8

3.2.7 Diseño experimental y evaluación estadística

a) Diseño experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 5 tratamientos (niveles de Energía Digestible) y 3 repeticiones para cada uno. Cada repetición estuvo conformada por 9 peces.

El modelo aditivo lineal fue el siguiente:

$$X_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$$

$i=1, 2, 3, 4, 5$ tratamientos

$j=1, 2, 3, 4, 5$ repeticiones

Dónde:

X_{ij} = Variable respuesta que se obtiene de la unidad experimental que recibió el i -ésimo tratamiento y la j -ésima repetición

μ = Media aritmética general de la población

t_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

ε_{ij} = Efecto de la j -ésima unidad experimental a la que se le aplicó el i -ésimo tratamiento (error experimental).

b) Análisis estadístico

El análisis de varianza se realizó aplicando el procedimiento ANOVA del programa MINITAB 17 y la diferencia de medias empleando la prueba de Tukey (1949).

c) Análisis de regresión

Se realizó análisis de regresión teniendo como variable independiente el nivel de energía digestible de la dieta y como variables respuesta la ganancia de peso y la conversión alimenticia. Se utilizarán las ecuaciones de regresión de la línea quebrada y cuadrático planteados por Pesti (2009) y Robbins (1979).

- Ecuación para el análisis de regresión línea quebrada.

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

Donde:

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 cuadrático.

$$Y = a + bX + cX^2$$

Donde:

Y = Peso vivo del pez a X nivel de energía digestible de la dieta

X = Nivel de energía digestible de la dieta

a, b, c = son constantes de la ecuación

Las constantes de estas ecuaciones serán halladas con el paquete estadístico Solver-Excel.

3.3 Determinación de requerimiento

Se determinó el requerimiento energético bajo los siguientes análisis

a. Pruebas de rango múltiple

El requerimiento se estableció como el menor nivel de energía digestible del alimento que da como una respuesta que no es significativamente diferente de la respuesta máxima bajo la Prueba Tukey de comparación de medias.

b. Modelo Línea Quebrada

El requerimiento se estableció como la abscisa del punto de inflexión del modelo la cual se determinó mediante el Software Solver.

c. Modelo Polinomial Cuadrático

El requerimiento se estableció bajo el criterio de la primera derivada que permite obtener los máximos y mínimos relativos, donde la ecuación polinomial cuadrático luego de ser derivada es igualada a cero, obteniendo de esta manera el valor de la variable independiente que permite la máxima respuesta de la variable dependiente.

3.4 Calidad de agua

El agua utilizada para alimentar el sistema de recirculación viene de la red de agua potable pública del distrito de La Molina. Dos veces por semana, se procedió a la limpieza de los acuarios, filtros y recambio del 100 por ciento de agua del sistema. En el Anexo I se presentan los parámetros de evaluación de calidad de agua, así como los equipos y kits colorimétricos utilizados y el lugar de muestreo y la periodicidad con la que se realizaron las evaluaciones.

3.5 Equipos

Durante el manejo de los juveniles de paco se utilizó malla Sera y recipientes de plástico, para el control biométrico se usó una balanza digital marca RAD WAG modelo PS 4500.R1 con capacidad de 4500 gramos y precisión de 0.05 gramos y una cinta métrica

Además, se usaron equipos para medir los siguientes parámetros de calidad de agua:

- a. Temperatura: Se usó 3 termómetros electrónicos de la marca Digital Termometer, este dispositivo permite configurar la T° min/max y emitir una alarma en caso varíe el rango de T° configurado. Su rango de medición es de 0 – 40 °C, con 0.01°C de precisión.
- b. Oxígeno disuelto: Se utilizó un monitor de oxígeno (oxímetro) de la marca PinPoint II, el cual puede mostrar una lectura digital para el oxígeno disuelto. Su rango de medición es de 0.0 – 20.0 mg/L.
- c. Potencial de hidrogeno: La medida del pH se realizó con un pHmetro, marca Oaklon, con rango de medición de 1.0 – 15.0 pH, con 0.1 de precisión.
- d. Dureza: Se utilizó el kit colorimétrico de dureza marca LaMotte, el cual utiliza el valorador de lectura directa, que proporcionan una exactitud dentro de la gama habitual de 0-200 ppm, con una sensibilidad de 4 ppm de carbonato de calcio (CaCO₃).
- e. Nitrógeno amoniacal: Se utilizó un medidor de nitrógeno amoniacal, marca Hanna, con rango de medición de 0.00 – 3.00 mg/L.
- f. Nitritos: Fue medido con el kit colorimétrico de tres reactivos de la marca Sera. El rango de medición es de 0.3 – 16.5 mg/L.
- g. Nitratos: Fue medido con el kit colorimétrico de tres reactivos de la marca Sera. El rango de medición es de 0.0 – 100 mg/L.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Digestibilidad

4.1.1 Coeficientes de digestibilidad aparente del arroz partido y el polvillo de arroz

El análisis químico proximal de las dietas y heces se muestran en el Cuadro 6 y en los anexos V, VI y VII. El Coeficiente de Digestibilidad Aparente de materia seca (CDAs) del arroz partido y del polvillo de arroz se presenta en el Cuadro 7 y Anexo IX, cuyos valores fueron 69.00% y 63.77% respectivamente, las diferencias de digestibilidad podrían deberse al contenido al mayor contenido de fibra cruda presente en el polvillo de arroz (4.53%) frente a del arroz partido (0.2%), según señala Vasquez-Torres *et al.* (2010), los ingredientes generalmente tienen un CDA de materia seca más bajos conforme aumenta su nivel de fibra. Estos CDAs son superiores a los encontrados en otros ingredientes energéticos para la misma especie por Vasquez *et al.*, (2013) como torta de palmiste, harina de trigo, maíz amarillo y germen de maíz (57.2, 53.5, 59.9, 55.3 % respectivamente) e inferiores a harina de pescado, harina de carne y harina de sangre, (76.2, 72.7, 78.26 % respectivamente), y según menciona Salinas (2016), en la alimentación de peces, los ingredientes de origen animal por lo general muestran mayores valores de digestibilidad frente a ingredientes de origen vegetal.

Los CDAs determinados en este estudio son inferiores a los hallados por Dos Santos (2017) en gamitana, quien reportó valores de CDAs arroz partido y polvillo de arroz de 74.36 y 74.70% respectivamente y además Guimaraes *et al.* (2008) reporta CDAs en tilapias de 96.45% para el arroz partido y 55.59% para polvillo de arroz. Estos resultados refuerzan lo ya mencionado por diversos autores, que a pesar de poseer el mismo hábito alimenticio omnívoro, las especies poseen sus particularidades y sus propias adaptaciones fisiológicas que determinan diversas digestibilidades para los mismos ingredientes (Oliveira y Fracalossi, 2006; Gominho-Rosa, 2012). Teixeira *et al.* (2010), en otro estudio con polvillo de arroz y arroz partido en doncella encontró valores de 59.67% y 40.39% respectivamente, estos bajos CDAs pueden ser justificados por tratarse de especies con hábito alimentario Carnívoro, que difieren de los peces omnívoros en varios aspectos, como la anatomía del

Cuadro 6. Análisis químico de las dietas y heces (base parcialmente seca).

Grupo experimental	MS dieta (%)	MS heces (%)	Proteína dieta (%)	Proteína heces (%)	Extracto etéreo dieta (%)	Extracto etéreo heces (%)	EB dieta (Mcal/kg)*	EB heces (Mcal/kg)*	Óxido de cromo en dietas (%)**	Óxido de cromo en heces (%)**
Dieta referencial	93.50	90.55	31.30	12.09	10.50	1.64	4446.10	3906.50	0.51	1.12
Dieta prueba arroz partido	93.60	90.92	23.70	14.23	7.50	1.70	4185.74	3932.05	0.45	1.12
Dieta prueba polvillo de arroz	92.70	90.79	24.10	13.37	10.90	3.49	4401.70	4007.93	0.44	1.05

MS = Materia seca

EB = Energía bruta

*Determinación de la energía bruta realizada en el Instituto de Investigación Nutricional (IIN)

**Análisis de óxido de cromo realizados en el laboratorio World Survey Services S.A

tracto digestivo y fisiología digestiva, habilidad y capacidad absorbente de nutrientes, y de la disponibilidad de enzimas presentes en el sistema digestivo. En los peces carnívoros, la secreción de la amilasa se restringe sólo al páncreas, mientras que la síntesis de la amilasa en especies omnívoras ocurre en el páncreas y en toda la mucosa intestinal, en la que la mayor concentración de esta enzima permite un mejor aprovechamiento de los carbohidratos presentes en los alimentos de origen vegetal (Goncalves *et al.*, 2013).

Los Coeficientes de Digestibilidad Aparente de proteína cruda (CDAp) del arroz partido y del polvillo de arroz en el paco se presentan en el Cuadro 6 y Anexo IX, cuyos valores fueron de 66.82% y 68.96% respectivamente. Dichos resultados son similares al encontrado en la misma especie por Vasquez *et al.*, (2013) para maíz amarillo (69%), pero el contenido de neta de proteína digestible del arroz partido y arroz partido, 7,17 y 10,21% respectivamente, resulta ser mayor al del maíz amarillo (6,2%), debido al mayor contenido de proteína en ambos ingredientes evaluados. Además Fernández *et al.*, (2004) determinó un menor CDAp de la harinilla de trigo (61.62%) en comparación con los CDAp obtenidos en esta investigación. Los ingredientes proteicos de origen animal, harina de pescado y harina de sangre, poseen un mayor CDAp (85.0, 77.8% respectivamente). Los valores más bajos de CDA de proteína en los subproductos del arroz evaluados se pueden deber al alto contenido de extracto libre de nitrógeno (Cho y Slinger 1979; McGoogan y Reig 1996), que pueden interferir con la acción de las proteasas, resultando en baja disponibilidad de proteína para los peces (Falge *et al.*, 1978, Anderson *et al.*, 1992).

Los CDAp determinados en este estudio son bastante menores a los hallados por Dos Santos (2017) en gamitana, quien reportó valores de CDAp arroz partido y polvillo de arroz de 83.24 y 92.97 por ciento respectivamente, lo que al parecer demuestra que la gamitana tiene una mayor capacidad de digerir la proteína de los dos tipos de subproductos del arroz. Guimaraes *et al.* (2008) reporta CDAp en tilapias de 63.01% para el arroz partido y 66.88% para polvillo de arroz, siendo valores muy cercanos a los obtenidos en el presente estudio. Teixeira *et al.* (2010), en una especie carnívora como la doncella encontró CDAp para el arroz partido y el polvillo de arroz de 85.30% y 83.84% respectivamente, demostrando nuevamente que los peces carnívoros tienen una mayor capacidad de digestión de las porciones proteicas de los alimentos en comparación con los peces omnívoros (Goncalves *et al.*, 2013).

Los coeficientes de digestibilidad aparente del extracto etéreo (CDAg) del arroz partido y polvillo de arroz se presentan en el Cuadro 7 y anexo IX, los cuales fueron de 88.90% y

77.97% respectivamente, mientras que Dos Santos (2017) en gamitanas obtuvo CDAg de 81.28% para arroz partido y 72.76% para polvillo de arroz, y según muestran los resultados, la digestibilidad para el extracto etéreo es mayor en pacos, mientras que la digestibilidad para proteína es mayor en gamitanas. Aunque el paco y la gamitana son especies del mismo grupo filogenético y tienen una anatomía del tracto digestivo similar, parecen digerir los nutrientes de manera diferente (Guimaraes y Martins ., 2015). Los valores determinados se encuentra muy cerca al rango propuesto por Koprucu *et al* (2005), quienes señalan un rango de 80% a 95% para CDAg en peces.

El Coeficiente de Digestibilidad Aparente de la energía bruta (CDAe) del arroz partido y del polvillo de arroz en pacos se presenta en el Cuadro 8 y anexo IX, cuyos valores fueron de 66.11% y 64.95% respectivamente. Dichos resultados son superiores para los ingredientes reportados por Vasquez *et al.* (2013) tales como germen de maíz, torta de palmiste, maíz amarillo americano (53.3, 47.7, 57.6 % respectivamente), y además el CDAe del arroz partido en este experimento fue muy parecido al CDA de la harina de arroz (66%) reportado también por Vasquez *et al.* (2013), pero son inferiores al encontrado en la misma especie por Vasquez *et al.* (2013) para harina de pescado, harina de carne y harina de sangre (84, 76.6 y 78.2 respectivamente), siendo estos ingredientes de origen animal; pero son todos estos resultados refuerzan nuevamente lo mencionado por Salinas (2016): “los ingredientes de origen animal por lo general muestran mayores valores de digestibilidad frente a ingredientes de origen vegetal”. Dos Santos (2017) presenta en gamitanas CDA de 69.84% para arroz partido y 73.30% para polvillos de arroz, siendo el CDA del arroz partido parecido para ambas especies; pero el CDA del polvillo de arroz al parecer es mayor en la gamitana en comparación con el paco. Mientras que Guimaraes *et al.* (2008) obtuvo en tilapia CDAe de 95.34% para arroz partido y 57.58% para polvillo de arroz, siendo el CDAe del arroz partido mucho mayor al determinado para pacos, pero el CDAe para el polvillo de arroz menor al determinado en paco; al parecer el paco tiene mayor capacidad para digerir el extracto etéreo del en comparación con la tilapia, mientras que la tilapia tiene mayor capacidad para digerir el ELN en comparación con el paco, y por esta razón el arroz partido con elevada proporción de ELN produce CDAe tan elevadas en tilapia, pero no así en paco; mientras que el polvillo de arroz presenta mayor CDAe en paco que en tilapia.

4.1.2 Energía digestible del arroz partido y del polvillo de arroz

La energía digestible (ED) del arroz partido y del polvillo de arroz se muestra en el Cuadro 8. A pesar de que el arroz partido presenta mayor CDAe en comparación con el polvillo de arroz, este último presenta mayor valor de ED, debido principalmente a su alto contenido de grasa. Vasquez *et al.* (2013), determino ED para ingredientes de fuente vegetal que se encontraban entre los rangos de 2136,1 a 3348.0 Kcal/kg; los datos obtenidos en la presente investigación se encuentran dentro de este rango. De acuerdo a los datos obtenidos el arroz partido bien podría reemplazar al maíz molido que posee una ED de 2570.2 Kcal/Kg (Vasquez *et al.*, 2013). Y el polvillo de arroz se presenta como una excelente opción energética, siendo superado energéticamente solo por harina de yuca integral que posee una ED de 3348.0 Kcal/kg (Vasquez *et al.*, 2013). Si bien es cierto estos dos insumos se presentan como buenas alternativas energéticas para la alimentación del paco, en ningún caso superan los niveles de ED de insumos de fuente animal que se encuentran por encima de los 4000 Kcal/kg (Vasquez *et al.*, 2013). Dos santos *et al.* (2017), trabajando en gamitanas, obtuvo valores ED para arroz partido y polvillo de arroz en gamitana de 2872.05 Kcal/Kg y 3597.54 Kcal/Kg, lo cual demuestra que el paco tiene menor capacidad de digerir y utilizar la energía proveniente de estos subproductos de arroz en comparación con la gamitana. Mientras que la tilapia en comparación con el paco muestra mayor aprovechamiento de la energía contenida en el arroz partido (3539.02 Kcal ED/Kg), pero un menor aprovechamiento en el polvillo de arroz (2359 Kcal ED/Kg).

Cuadro 7. Contenido nutricional y digestibilidad de la materia seca, proteína cruda, y extracto etéreo del arroz partido y el polvillo de arroz (base seca).

	Materia seca (%)	Proteína cruda (%)	Extracto etéreo (%)	Coeficientes de digestibilidad aparente (%)			Valores digestibles (g / 100 g de alimento)		
				Materia seca	Proteína cruda	Extracto etéreo	Materia seca	Proteína cruda	Extracto etéreo
Arroz partido	100	10.77	1.52	69.00±1.2	66.82±0.3	88.90±2.3	69.00±1.2	7.20±0.0	1.35±0.0
Polvillo de arroz	100	14.85	15.08	63.77±1.1	68.96±0.4	77.97±1.8	63.77±1.1	10.24±0.1	11.76±0.0

Cuadro 8. Digestibilidad de la energía bruta, energía bruta y energía digestible de arroz partido y el polvillo de arroz (base seca).

	Arroz partido	Polvillo de arroz
Coefficiente de digestibilidad aparente de la energía bruta (%)	66.11	64.95
Energía bruta (Kcal/Kg)	4113.38	4929.25
Energía digestible según Cho <i>et al.</i> (1982) (Kcal/Kg)	2719.36±46.3	3201.39±12.7

4.2 Requerimiento energético

4.2.1 Requerimiento mediante análisis de medias Tukey

Los datos del efecto del nivel energético de la dieta sobre el peso final (28 días) se presentan en el Cuadro 9, donde se aprecia que los tratamientos I y V obtuvieron similar peso final pero este fue menor en comparación con el tratamiento III ($\alpha = 0.05$); los tratamientos II, III y IV obtuvieron equivalentes pesos finales y fueron mayores que el tratamiento I ($\alpha = 0.05$); y que los tratamientos II, IV y V obtuvieron similar peso final ($\alpha = 0.05$).

Para la ganancia de peso, se observa que los tratamientos I y V obtuvieron semejante ganancia de peso pero este fue menor en comparación con el tratamiento III ($\alpha = 0.05$); los tratamientos II, III y IV obtuvieron similares ganancias de peso y fueron mayores que el tratamiento I ($\alpha = 0.05$); y que los tratamientos II, IV y V obtuvieron igual ganancia de peso ($\alpha = 0.05$).

Para el consumo de alimento no se registraron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre los tratamientos, pero si se observan diferencias numéricas donde los tratamientos I y V registraron los menores consumo de alimento; y los tratamientos II y III registraron los mayores consumos de alimento.

Finalmente para la conversión alimenticia se observa que los tratamientos II, III, IV y V obtuvieron similar resultado y menor que el tratamiento I ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 9. Efecto del nivel energético de la dieta sobre el comportamiento productivo de juveniles de paco.

Tratamiento	Nivel energético de la dieta (Kcal ED/Kg)	Peso Final (g)	Ganancia de peso (g)	Ganancia de peso diario (g)	Consumo de alimento (g)	Conversión Alimenticia
I	2900	81.00 a	30.82 a	1.1008 a	35.93 a	1.17 a
II	3100	88.67 bc	38.18 bc	1.3637 bc	41.77 a	1.09 b
III	3300	89.22 c	38.87 c	1.3882 c	41.17 a	1.06 b
IV	3500	87.43 bc	36.69 bc	1.3105 bc	38.54 a	1.05 b
V	3600	84.73 ab	34.23 ab	1.2223 ab	36.58 a	1.07 b

El análisis más simple, aunque incorrecto, de los datos de la respuesta energética es solo comparar puntos usando el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias (Zeitun *et al.*, 1971 y Pesti *et al.*, 2009). Este método supone que la ganancia de peso está relacionada linealmente con el aumento de los niveles de energía o de nutriente en la dieta, siempre y cuando este nivel este por debajo del requerimiento para máxima performance (Zeitun *et al.*, 1971), y el requerimiento se define como la concentración más baja del nutriente que da como resultado una respuesta que no es significativamente diferente de la respuesta máxima (o mínima) (Pesti *et al.*, 2009).

Siguiendo esté método, el requerimiento energético para maximizar la ganancia de peso y conversión alimenticia (nivel energético a partir del cual no se observan mayores diferencias significativas) es 3100 Kcal ED/Kg, dado que a partir de ese nivel energético las respuestas no serán significativamente diferentes, e incluso aumentar el nivel energético por encima del este requerimiento estaría generando un sobrecosto que al parecer no se reflejaría en la respuesta productiva del animal. Este requerimiento es mayor al determinado por Gutiérrez (1996), el cual determino un requerimiento de 2700 Kcal ED/Kg, pero los peces eran mayores y tenían un peso promedio de 180 gramos. En la mayoría de especies para acuicultura el requerimiento energético disminuye conforme aumenta la edad, lo cual es congruente con estos resultados

Uno de los problemas con este análisis, es que solo toma en cuenta los niveles energéticos que el investigador ha planteado, descartando los niveles que se puedan encontrar entre los planteados por el investigador, este problema fue abordado por Almquist (1953), y como

señala Shearer (2000), este análisis subestima los requerimientos e incluso es más severo en animales que tienen muy poca investigación como es el caso de este pez (paco).

4.2.2 Requerimiento mediante regresión línea quebrada

Almquist (1953) planteo el que ahora es el modelo más común en investigaciones de requerimiento dosis-respuesta en peces, llamado “línea quebrada”. Este modelo asume que a medida que se incrementa la concentración energética en la dieta, esta trae un aumento en la respuesta animal hasta algún punto, llamado el requerimiento, donde la máxima (o mínima) respuesta es alcanzada (Pesti *et al.*, 2009). Por encima este nivel de requerimiento la energía extra no será útil, pero tampoco perjudicará la performance.

Tomando en cuenta este enfoque y como se observa en los gráficos 2 y 3, el requerimiento energético para maximizar la ganancia de peso diaria es 3080 Kcal ED/Kg y para optimizar la conversión alimenticia es 3194 Kcal ED/Kg, sin embargo como se aprecia en los estos gráficos 2 y 3, existen puntos que generan una mayor ganancia de peso o una menor

Gráfico 2. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del paco utilizando la variable ganancia de peso diaria

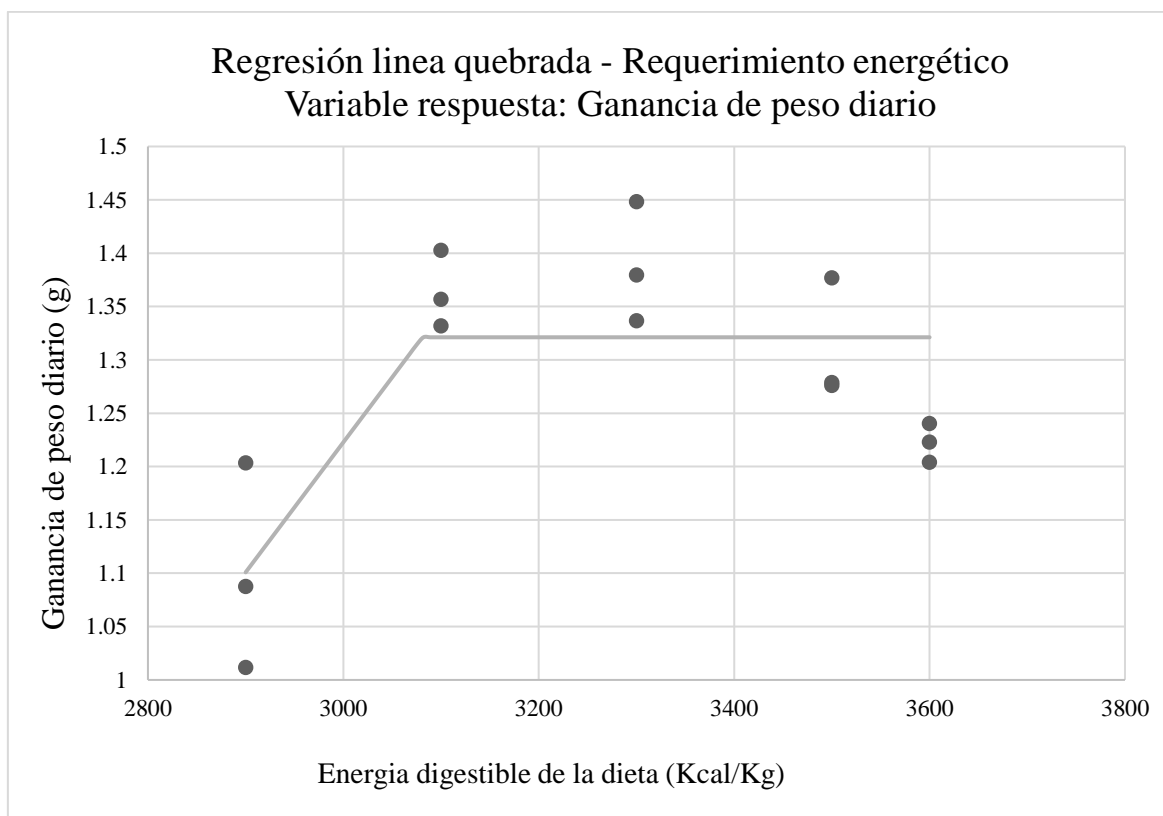
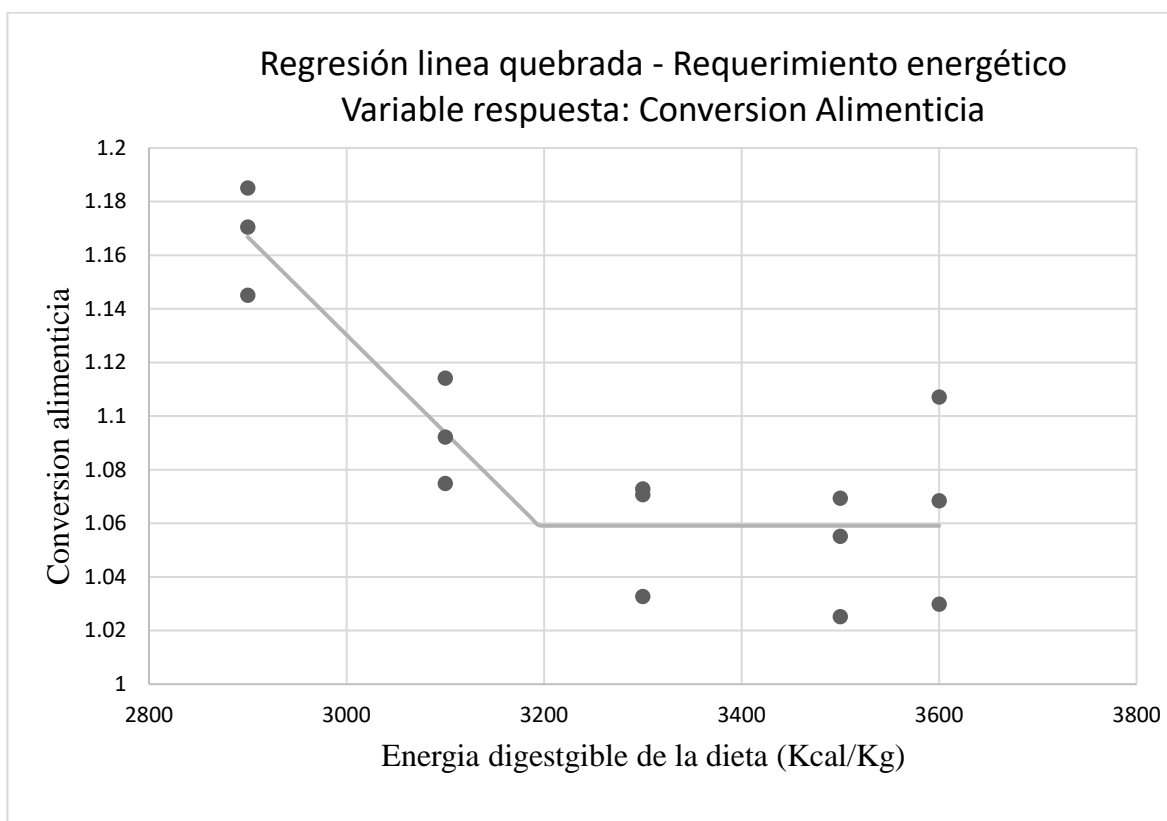


Gráfico 3. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del paco utilizando la variable conversión alimenticia



conversión alimenticia en relación al requerimiento determinado, pero estos son desestimados por este enfoque.

Las ecuaciones de las regresiones para determinar los requerimientos se presentan a continuación:

- Tomando como variable respuesta la ganancia de peso diario

$$y = \langle 1.3212 ; \text{si } x > 3080 \mid | 1.3212 - 0.0012 * (3080 - x) ; \text{si } x \leq 3080 \rangle \quad r^2 = 0.583$$

- Tomando como variable respuesta la conversión alimenticia

$$y = \langle 1.0591 ; \text{si } x > 3194 \mid | 1.0591 + 0.0004 * (3194 - x) ; \text{si } x \leq 3194 \rangle \quad r^2 = 0.787$$

Donde:

y = ganancia de peso diaria (g)

x = nivel de ED del alimento (Kcal/Kg)

Bajo el mismo análisis (línea quebrada), Lafeta *et al.* (2011) utilizando como variable respuesta la conversión alimenticia determinó un requerimiento energético del paco de 3092 Kcal ED/Kg, pero ese estudio utilizó dietas con niveles proteicos del 29,2% en la dieta, y tal como afirman Kang-Woong Kim *et al.* (2016), Sanz *et al.* (2000), Chou y Shiau (1996), Pezzato *et al.* (2001) y Winfree *et al.* 1981, la relación energía/proteína afecta la performance del pez y se encuentra entre valores de 8 a 12 Kcal ED/gramo de proteína, teniendo entonces la investigación de Lafeta *et al.* (2011), menor nivel proteico dietario en comparación con el presente estudio, este bajo nivel afectó la respuesta del animal, concluyendo como requerimiento un menor nivel energético que el registrado en la presente investigación.

El modelo de línea quebrada ha sido desestimado por varios investigadores (Fisher *et al.*, 1973; Curnow, 1973; Robbins *et al.*, 1979 and 2006; Morris, 1989 and 1999; Shearer, 2000), debido a que la respuesta del pez no tiene una respuesta lineal a los niveles energéticos crecientes, y la pendiente de la curva respuesta disminuye conforme el nivel energético se acerca a su requerimiento, siguiendo la ley de los rendimientos decrecientes, y generalmente este procedimiento sub-estima el requerimiento del animal.

4.2.3 Requerimiento mediante regresión polinomial cuadrático

A partir 1980 el modelo polinomial cuadrático empieza a tomar mayor importancia (Pesti, 2009), dado que describe el comportamiento del animal a crecientes niveles energéticos como una parábola, cumpliendo con los rendimientos decrecientes no observados en el anterior método, y además muestra una reducción de la performance luego de alcanzado el requerimiento, lo cual ocurre con muchos nutrientes incluido el nivel energético, pero no con todos (Morris, 1989).

De acuerdo a este modelo y como se observa en las figuras 4 y 5, el requerimiento energético para maximizar la ganancia de peso diaria es 3287 Kcal ED/Kg y para optimizar la conversión alimenticia es 3413 Kcal ED/Kg.

Las ecuaciones de las regresiones para determinar los requerimientos se presentan a continuación:

- Tomando como variable respuesta la ganancia de peso diario

$$y = -19.9426 + 0.0129 * x - 0.000001976 * x^2 \quad r^2 = 0.8072$$

- Tomando como variable respuesta la conversión alimenticia

$$y = 6.1978 - 0.0030 * x + 0.0000004418 * x^2 \quad r^2 = 0.7998$$

Donde:

y = ganancia de peso diaria (g)

x = nivel de ED del alimento (Kcal/Kg)

No se han encontrado anteriores estudios en esta especie, donde se haya analizado el requerimiento energético mediante regresión polinomial cuadrático.

El análisis de regresión polinomial cuadrático muestra que la variable ganancia de peso aumenta conforme se incrementa el valor energético de la dieta hasta alcanzar el requerimiento, esto debido principalmente a que el pez deja de usar la proteína como fuente de energía y la utiliza para síntesis de proteína muscular y consecuentemente crecimiento (El-Sayed and Teshima, 1992; Grisdale-Helland y Helland, 1997; Nankervis *et al.*, 2000; Morais *et al.*, 2001). En la presente investigación se observa que a pesar de que el tratamiento II obtuvo el mayor consumo de proteína (14.2 gramos), la ganancia de peso diaria fue menor en comparación con el tratamiento III (consumo de proteína 13.99), esto se debía al menor consumo energético del tratamiento II (129 Kcal ED/Kg) en comparación con el tratamiento III que tuvo un consumo energético mayor (135.8 Kcal ED/Kg), ese menor consumo de energía del tratamiento II obligó al pez a utilizar la proteína como fuente energética, afectando así la ganancia de peso.

El análisis de regresión polinomial cuadrático también muestra que, luego de alcanzar el requerimiento energético, la ganancia de peso comienza a disminuir, debido principalmente a que un exceso energético dietario disminuye el consumo de alimento, y con este se reduce el consumo de proteína y otros nutrientes necesarios para la síntesis proteica y el crecimiento (Chou y Shiau, 1996, Pezzato *et al.*, 2001), en esta investigación el consumo de proteína se redujo casi 12% entre los tratamientos III (14.0 gramos de proteína consumida en promedio) y V (12.4 gramos de proteína consumida en promedio), esta reducción se reflejó en la menor ganancia de peso para el tratamiento V.

Gráfico 4. Curva de regresión polinomial cuadrático para determinar el requerimiento energético del paco utilizando la variable ganancia de peso diaria.

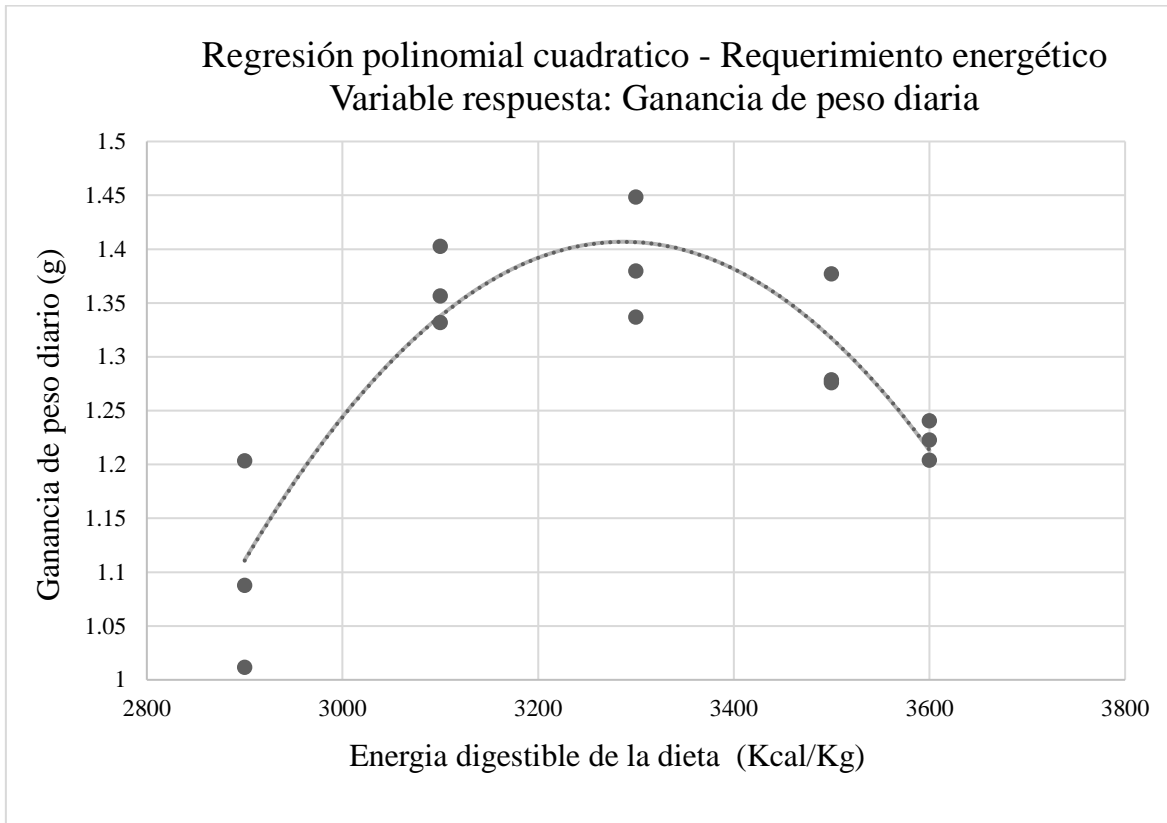
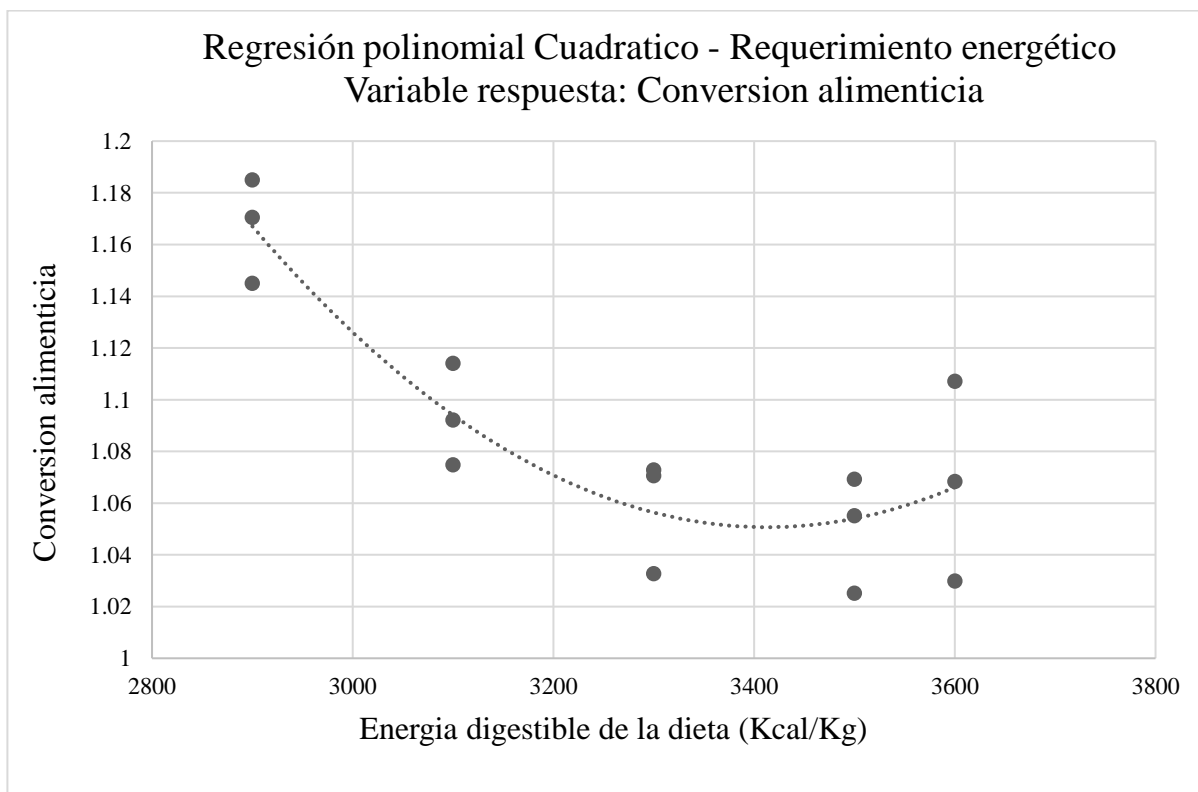


Gráfico 5. Curva de regresión polinomial cuadrático para determinar el requerimiento energético del paco utilizando la variable conversión alimenticia



4.2.4 Comparación de los diferentes análisis

El Cuadro 10 se presenta un comparativo de requerimientos obtenido mediante cada método empleado, y como se puede observar los requerimientos obtenidos mediante la regresión polinomial cuadrático son mayores a los obtenidos mediante la línea quebrada, lo cual está de acuerdo con Pesti (2009), quien menciona que el análisis de línea quebrada subestima los requerimientos y entrega requerimientos menores a los reales.

Cuadro 10. Comparativo de requerimientos obtenidos mediante diferentes métodos.

	Método de Analisis		
	Prueba de rango multiple Tukey	Modelo línea quebrada	Modelo polinomial cuadrático
Requerimiento de energía digestible para ganancia de peso diaria (Kcal/Kg)	3100	3080 ^a	3287 ^b
Requerimiento de energía digestible para conversión alimenticia (Kcal/Kg)	3100	3194 ^c	3413 ^d

a: $r^2=0.583$; b: $r^2=0.8072$; c: $r^2=0.787$; d: $r^2=0.7998$

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se desarrolló el presente trabajo de investigación y en función a los resultados obtenidos, se concluye que:

1. El coeficiente de digestibilidad aparente en base seca obtenido para el arroz partido en juveniles de paco fue de 69.00% para la materia seca, 88.90% para el extracto etéreo, 66.82% para la proteína cruda y 66.11% para energía bruta.
2. La energía digestible (ED) del arroz partido en paco fue de 2719.36 Kcal/Kg (base seca).
3. El coeficiente de digestibilidad aparente obtenido para el polvillo de arroz en juveniles de paco fue de 63.77% para la materia seca, 77.97% para el extracto etéreo, 68.96% para la proteína cruda y 64.95% para energía bruta.
4. La energía digestible (ED) del arroz partido en paco fue de 3201.39 Kcal/Kg (base seca).
5. El requerimiento de energía digestible obtenido usando como variable respuesta la ganancia de peso fue de 3287 Kcal/Kg.
6. El requerimiento de energía digestible obtenido usando como variable respuesta la conversión alimenticia fue de 3413 Kcal/Kg.

VI. RECOMENDACIONES

A partir del presente trabajo de investigación se recomienda lo siguiente:

1. Se recomienda utilizar el valor 2719 Kcal ED/kg en arroz partido para la formulación de alimentos balanceados para juveniles de paco.
2. Se recomienda utilizar el valor 3201 Kcal ED/kg en polvillo de arroz para la formulación de alimentos balanceados para juveniles de paco.
3. Se recomienda utilizar como requerimiento de energía digestible en la formulación de alimento para juveniles de paco el valor de 3413 Kcal/kg.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMORAD, E., SQUASSONI, G. Y CARNEIRO D. 2008. Apparent digestibility of protein, energy, and amino acids in some selected feed ingredients for pacu *Piaractus mesopotâmicos*. *Aquaculture Nutrition* 2008 14; 374-308.

AJINOMOTO EUROLYSINE S.A.S. 2012. Estimating amino acid requirements through dose-response experiments in pigs and poultry.

ALIAGA, P. 2004. Variabilidad genética de *Colossoma macropomum* y *Piaractus brachypomus* en la región del Alto Madera (Amazonía Boliviana) para el análisis del Polimorfismo de la longitud de secuencias intrónicas (Epic-Pcr). La Paz, Bolivia. 103 p. Trabajo de grado (Licenciada en Biología). Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Instituto de Biología Molecular y Biotecnología.

ANDERSON, J.; CAPPER, B. S.; BROMAGE, R. 1991. Measurement and prediction of digestible energy values in feedstuffs for the herbivorous fish tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn.). *Br. J. Nutr.*, 66: 37-48

ANDERSON, S., LALL, P., ANDERSON, M. y CHANDRASOMA, J. (1992) Apparent and true availability of amino acids from common feed ingredients for Atlantic salmon (*Salmo solar*) reared in sea water. *Aquaculture*, 108, 111–124.

AUSTRENG, E., STOREBAKKEN, T., THOMASSEN, MS., REFSTIE, S., THOMASSEN, Y. 2000. Evaluation of selected trivalent metal oxides as inert markers used to estimate apparent digestibility in salmonids. *Aquaculture* 188: 65–78.

AYLLON, Z. y PAYAHUA, J. 2003. Uso de la harina de pijuayo (*Bactris gasipaes* H.B.K. 1815), en la alimentación del paco (*Piaractus brachypomus*, Cuvier 1818), criado en ambientes controlados. Tesis para optar el título de Biólogo. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos-Perú. 63p

BRETT, J. y GROVES, T. 1979. Physiological energetics. Pp. 279-352 in *Fish Physiology*, vol. 8. W. S. Hoar, D. J. Randall, and J. R. Brett, eds. New York: Academic Press.

- BRODY, S.** 1945. Bioenergetics and Growth. New York: Hofner.
- BUREAU, D., ENCARNAÇÃO, P.** 2006. Adequately Defining the Amino Acid Requirements of Fish: The Case Example of Lysine. Fish Nutrition Research Laboratory. Department of Animal and Poultry Science. University of Guelph, Guelph, Ontario.
- CALZADA, B.** 1982. Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Acribia. ES.
- CAROLSFELD, J., HARVEY B., ROSS C., BAER, A.** 2003. Migratory Fishes of South America. Washington DC: The International Bank for Reconstruction and Development.
- CHO, C. y KAUSHIK, S.** 1990. Nutritional Energetics in Fish: Energy and Protein Utilization in Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). Bourne GH (ed): Aspects of Food Production, Consumption and Energy Values. World Rev Nutr Diet. Basel, Karger, 1990, vol 61, pp 132-172.
- CHO, C.Y. y SLINGER, S.J.** 1979. Effect of water temperature on energy utilization in rainbow trout. Pp. 287-291 in Proceedings of the Eighth Symposium on Energy Metabolism in Farm Animals, S. E. Mont, ed. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- CHO, C.Y. y SLINGER, S.J.** 1979. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. In: Finfish Nutrition and Fishfeed Technology (Halver, J.E. & Tiews, K. eds), Vol. 2, pp. 239–247. Heinemann, Berlin.
- CHO, C.Y., SLINGER, S.J. y BAYLEY H. S.** 1982. Bioenergetics of salmonid fishes" energy intake, expenditure and productivity. Comp. Biochem. Physiol. Vol. 73B, No. 1, pp. 25 to 41, 1982
- CHOU, B.S.; SHIAU, S.Y.** 1996. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*. Aquaculture, Amsterdam, v.143, n.2, p.185-195, 1996.
- CHOUBERT, G.** 1999. La digestibilité des nutriments chez les poissons aspects de méthodologie. Cybium 23(1) suppl.: 113-125.
- CHOUBERT, G., DE LA NOÛE, J., P. LUQUET.** 1979. Continuous quantitative automatic collector for fish feces. The Progressive Fish-Culturist, 41: 64–67.

COWEY, C.B. 1994. Amino acid requirements of fish: a critical appraisal of present values. *Aquaculture*. 124, 1-11.

CURNOW, R.N. 1973. A smooth population response curve based on an abrupt threshold and plateau model for individuals. *Biometrics*. 29:1-10.

DAL, G. 2015. Adaptações respiratórias em peixes: os efeitos das vantagens evolutivas sobre o sucesso de espécies em ambientes extremos. Consultado 23 Mar. 2016 en <http://gia.org.br/material-de-comunica%C3%A7%C3%A3o/jogo-educativo/19not%C3%ADcias/296-adaptacoes-respiratorias-em-peixes-os-efeitos-das-vantagens-evolutivas-sobre-o-suce-ss-o-de-especies-em-ambientes-extremos>.

DAWKINS, H.C. 1983. Multiple Comparisons Misused: Why so Frequently in Response-Curve Studies? *Biometrics*. 39(3):789-790.

DEZA, S., QUIROZ, S., REBAZA, M., REBAZA, C. 2002. Efecto de la densidad de siembra en el crecimiento de *Piaractus brachyomus* (Cuvier, 1818) “paco” en estanques seminaturales de Pucallpa. *Folia Amazónica*, 13 (1-2):49-64.

DOS SANTOS, PRISCILA. 2017. Digestibilidade aparente da quirera e farelo de arroz para o tambaqui (*collossoma macropomum*, cuvier, 1818). Tesis para obtenção do título de Mestre em Zootecnia. Universidade Federal de Sergipe.

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

ENCARNACAO, P., DE LANGE, C., RODEHUTSCORD, M., HOEHLER, D., BUREAU, W., BUREAU, D. 2004. Diet digestible energy content affects lysine utilization, but not dietary lysine requirements of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) for maximum growth. *Aquaculture* 235, 569-586.

FALGE, R., SCHPANOF, L. & JURSS, K. 1978. Amylase, esterase, and protease activity in the intestine content of rainbow *Salmo gairdneri* Rich., after feeding with feed containing different amounts starch and protein. *J. Ichthyol.*, 18, 283–287.

FEDNA - Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 2016. Tablas FEDNA Composición Alimentos Valor Nutritivo

FISHER, C., T.R. MORRIS, AND R.G. JENNINGS. 1973. A model for the description and prediction of the response of laying hens to amino acid intake. *Br. J. Poult. Sci.* 14:469-484.

FURUKAWA, A., TSUKAHARA, H. 1966. On the acid digestion method for the determination of Chromic Oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries.* 32(6): 502–506

GAHL, J., FINKE, D., CRENSHAW, D. y BENAVENTA, J. 1991. Use of four-parameter logistic equation to evaluate the response of growing rats to ten levels of each indispensable amino acid. *J. Nutr.* 121, 1720-1729.

GARCIA, A., TELLO, S., VARGAS, G., DUPONCHELLE, F. 2009. Patterns of commercial fish landings in the Loreto region (Peruvian Amazon) between 1984 and 2006. *Fish Physiology and Biochemistry* 35, 53-67

GODDARD J., MCLEAN, E. 2001. Acid-insoluble ash as an inert reference material for digestibility studies in tilapia, *Oreochromis aureus*. *Aquaculture* 194, 93-98.

GOMINHO-ROSA, M.C. 2012. Carbohidratos em dietas para o jundiá, *Rhamdia quelen*: desempenho, digestibilidade e metabolismo. 2012. Tese (Doutorado em Aquicultura) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

GONCALVES, U.; RODRIGUES, O.; MORO, V.; FERREIRA, C. y CYRINO P. 2013. Morfologia e Fisiologia do Sistema Digestório de Peixes. *NUTRIAQUA*. FRACALOSI, D.M.; CYRINO, J.E.P. Aquabio. 2013.

GONZÁLES, A. Y HEREDIA, B. 1998. El cultivo de la cachama (*Colossoma macropomum*). 2.ed. Maracay: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 1998.134p

GRISDALE-HELLAND, B. Y HELLAND, S.J., 1997. Replacement of protein by fat and carbohydrate in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) at the end of freshwater stage. *Aquaculture* 152, 167 – 180.

GUILLAUME, J., KAUSHIK, S., BERGOT, P., METAILLER, R. 2004. Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. Ediciones Mundi-prensa. Madrid. Pag 74-77.

GUIMARÃES, L.; PEZZATO, L. y BARROS, M. 2008. Amino acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*, v.14, p.396-404, 2008. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2007.00540.x.

GUIMARAES, I. y MARTINS, G. Nutritional requirement of two Amazonian aquacultured fish species, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816) and *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818): a mini review. *J. Appl. Ichthyol.* 31 (Suppl. 4) (2015), 57–66

GUTIERREZ, F., QUISPE, M., VALENZUELA, L., CONTRERAS, G., ZALDIVAR, J. 2007. Utilización de la proteína dietaria por alevinos de gamitana *Colossoma macropomum* Cuvier 1818, alimentados con dietas isocalóricas. *Folia Amazónica*, 16(1-2): 47-53.

GUTIERREZ, W., ZALDIVAR, J., CONTRERAS, G. 2009. Coeficientes de digestibilidad de harina de pescado peruana y maíz amarillo duro para *Colossoma macropomum*. *Rev. PE. biol.* 15(2): 111- 115.

GUTIERREZ, W., ZALDIVAR, J., REBAZA, M. 1996. Determinación de los requerimientos de proteína y energía de juveniles de "pacp" (*Piaractus brachypomus*), *Folia Amazónica* 8 (2): 35-45.

HARDY, R. 1997. Understanding and using apparent digestibility coefficients in fish nutrition. *Aquaculture Magazine*. May/June 84:89.

HARGROVE, L. 1994. Processing and utilization of rice bran in the United States. In: *Rice Science and Technology*. Marshall, W. E. and Wadsworth, J. I., Eds., Marcel Dekker Inc., New York.

HU, W., WELLS, J. H., SHIN, S. y GODBER, S. 1996. Comparison of isopropanol and hexane for extraction of vitamin E and oryzanols from stabilized rice bran. *J. Am. Oil Chem. Soci.* 73:1653–1656.

HURWITZ, S., SKLAN, D., BARTOV, I. 1978. New formal approaches to the determination of energy and amino acid requirements of chicks. *Poultry Sci.* 57:197-205

JU, H. y VALI, R. 2005. Rice bran oil as a potential resource for biodiesel. *J. Sci. Ind. Res.* 64:801–822

KANG-WOONG KIM, KYOUNG-DUCK KIM, y HYON SOB HAN. 2016. Optimum Dietary Protein Level and Protein-to-energy Ratio for Growth of Juvenile Parrot Fish, *Oplegnathus fasciatus*. JOURNAL OF THE WORLD AQUACULTURE SOCIETY.

KENNEDY, G. y BURLINGAME, B. (2003). Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. Food Chem. 80:589–596.

KLEIBER, M. 1975. The Fire of Life: An Introduction to Animal Energetics. Huntington, N.Y.: R. E. Krieger.

KOPRUCU, K; OZDEMIR, Y. 2005. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Firat University, Fisheries Faculty. Turquía. (En línea). Consultado 30 Oct.2015. Disponible en www.sciencedirect.com

LAFETA Y., VERGARA V. y CAMACHO R. 2011. Determinación de la digestibilidad de ingredientes y el requerimiento de proteína y energía digestible del paco. Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos.

LAUZANNE, L., LOUBENS, G. 1985. Peces del río Mamoré. Orstom-Cordebene-UTB

LEE, P., LAWRENCE, A. 1997. Digestibility in crustacean nutrition. Advances in world aquaculture. World aquaculture society. Vol 6. US. 194-260 p.

LOUBENS, G., PANFILI, J. 1997. Biologie de *Colossoma macropomum* (teleostei: serrasalmidae) dans le bassin du mamoré (amazonie bolivienne). En: Ichthyological Exploration of Freshwaters. Vol. 8, (1997); p. 1–22.

LOVELL, T. 2012. Nutrition and feeding of fish. Nueva York. p. 16,

MAG-FOR. 2006. Agricultura y Desarrollo. Pro rural en ciclo agrícola 2005/2006. Dirección General de Políticas Agropecuarias y Forestales. Nicaragua. N° (67). 16 p.

MANRÍQUEZ, J. 1994. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación: Digestibilidad como criterio de evaluación de alimentos-su aplicación en peces y en la conservación del medio ambiente. (en línea). Consultado el 20 nov. del 2016. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/AB482S08.htm>

MARTELO, J., LORENZEN, K., CROSSA, M., MCGRATH, D. 2008. Habitat associations of exploited fish species in lower Amazon-floodplain system. Freshwater Biology, 53: 2455-2464.

- MAYNARD, L.A.** 1979. Animal Nutrition, 6th edition, p: 613. McGraw Hill, New York.
- MCDONALD P., EDWARD R., Y GREENHALGH F.** 2011. Nutrición Animal. Editorial Acribia, Zaragoza.
- MCGOOGAN, B. Y REIG, C.** 1996. Apparent of digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. *Aquaculture*, 141, 233–244.
- MERCER, P., MAY, E., DODDS, J.** 1989. The determination of nutritional requirements in rats: mathematical modeling of sigmoidal, inhibited nutrient-response curves. *J. Nutr.* 119, 1465-1471.
- MESA-GRANDA, M., BOTERO-AGUIRRE, M.** 2007. La cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), una especie potencial para el mejoramiento genético. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(1): 79-86.
- MINAGRI - MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO.** 2017. Informe del arroz. Dirección general de políticas agrarias.
- MINISTERIO DE LA PRODUCCION.** 2016. Anuario estadístico pesquero y acuícola 2015. Lima-Perú.
- MORAIS, S., BELL, G., ROBERTSON, A., ROY, J. y MORRIS, P.** 2001. Protein/lipid ratios in extruded diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.): effects on growth, feed utilization, muscle composition and liver histology. *Aquaculture* 203, 101 – 119
- MORRIS, T.R.** 1989. The interpretation of response data from animal feeding trials. In: D.J.A. Cole and W. Haresign. *Recent Developments in Poultry Nutrition*, ed. Butterworth, London, pp. 1-11.
- MORRIS, T.R.** 1999. *Experimental Design and Analysis in Animal Sciences*. CABI Publishing, New York.
- NANKERVIS, L., MATTHEWS, S.J., APPLEFORD, P.** 2000. Effect of dietary non-protein energy source on growth, nutrient retention and circulating insulin-like growth factor I and triiodothyronine levels in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture* 191, 323 – 335.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academy Press, Washington, DC, USA.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1981. Nutrient requirements of coldwater fishes. Washington, D. C. : National Academy Press.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1993. Nutrient Requirements of Fish. Washington, D. C. : National Academy Press.

OGINO, C., KAKINO, J., CHEN, .S. 1973. Protein nutrition in fish. Japon. Soc. Sci. Fish. 39 : 519-523.

OLIVEIRA, C. y FRACALOSSO, M., Coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes para juvenis de jundiá. Revista Brasileira de Zootecnia, v.35, n.4, p.1581-1587, 2006.

ORTEGA, H. y VARI, R. 1986. Annotated checklist of the freshwater fishes of Peru. Smithson. Contrib. Zool. (437):1-25.

PAGE J. Y ANDREWS J. 1973. Interactions of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). J Nutr. 1973 Sep;103(9):1339-46.

PESTANA, R.; MENDONÇA, B. y ZAMBIAZI, C. Farelo de arroz, características, benefícios a saúde e aplicações. Boletim do CEPPA, v. 26, n. 1, p. 29-40, 2008.

PESTI, G., VEDENOV, D., CASON, J. y BILLARD, L. 2009. A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. British Poultry Science Volume 50, Number 1 (january 2009), pp. 16-32

PEZZATO, L.E.; CASTAGNOLLI, N.; ROSSI, F. Nutrição e alimentação de peixes. Viçosa: Aprenda fácil, 2001. 72p.

PHILLIPS, A. y BROCKWAY, D. 1959. Dietary calories and the production of trout in hatcheries. Progr. Fish. Culturist 21, 3-16.

POMAR, C., I. KYRIAZAKIS, C., EMMANS, KNAP, P. 2003. Modeling stochasticity: Dealing with populations rather than individual pigs. J. Anim. Sci. 81(E. Suppl.):E178-E186.

POST, G., SHANK, W. y SMITH. 1965. A method for collecting metabolic excretions from fish. Prog Fish. Cult., 27: 108-111.

PRODUCE. 2014. Perú: cosecha de recursos hidrobiológicos procedentes de la actividad de acuicultura por ámbito según y especie, 2003-2014. Dirección de Estudios y Derechos Económicos Pesquero y Acuícola,

RINGROSE, C. 1971. Calorie-to-protein ratio for brook trout (*Salvelinus fontinalis*). J. Fish. Res. Board Can. 28, 1113-1117

ROBBINS, K., NORTON, H., BAKER, D. 1979. Estimation of Nutrient Requirements from Growth Data. J. Nutr. 109:1710-1714.

ROBBINS, R., NORTON, H. Y BAKER, H. 1979. Estimation of Nutrient Requirements from Growth Data. J. Nutr. 109:1710-1714.

ROBBINS, R., SAXTON, A. Y SOUTHERN, L. 2006. Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis. J. Anim. Sci. 84(E. Suppl.):E155-E165.

RODEHUTSCORD, M., BECKER, A., PACK, M. y PFEFFER, E. 1997. Response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to supplements of individual essential amino acids in a semipurified diet, including an estimate of the maintenance requirement for essential amino acids. J. Nutr. 127, 1166-1175.

RODEHUTSCORD, M., JACOBS, S., PACK, M., 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 cysteine. J. Nutr. 125, 964-969.

RODEHUTSCORD, M., PACK, M. 1999. Estimates of essential amino acid requirements from dose-response studies with rainbow trout and broiler chicken: effect of mathematical model. Arch. Anim. Nutr. 52, 223-244.

ROZIN, P. y MAYER, J. 1961. Regulation of food intake in the goldfish. Am.J. Physiol. 201, 968-974.

SALINAS, ADRIANO. 2017. Determinación de la digestibilidad y energía digestible de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis linneo*) cruda en paiche (*Arapaima gigas*). Tesis para optar el título de Ingeniero. Universidad Nacional Agraria la Molina.

SALUNKHE, K., CHAVAN, K., ADSULE, N. y KADAM, S. 1992. Rice. In: World Oilseeds: Chemistry, Technology and Utilization, pp. 424–448. Van Nostrand Reinhold, New York.

SANZ, M. GARCIA G. y DE LA HIGUERA, M. 2000. Protein nutrition in fish: protein/energy ratio and alternative protein sources to fish meal. *J. Physiol. Biochem.*, 56 (3), 275-282, 2000

SAUNDERS, R. M. 1990. The properties of rice bran as a food stuff. *Cereal Foods World*. 35:632–639.

SCHLESER, D. 1997. Piranhas: A Complete Owner's Manual. Hauppauge, NY: Barron's Educational Series, Inc.

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

SMITH, B. y LOVELL, R. 1973. Digestibility of nutrients by channel catfish in stainless steel troughs. *Proc. Annu. Conf. South. Assoc. Game. Comm.* 25: 252-259

SMITH, R. 1971. A method for measuring digestibility and metabolizable energy of fish feed. *Prog. Fish. Cult.* 33: 132-134.

SMITH, R. 1976. Metabolizable energy of feedstuffs for trout. *Feedstuffs* 48: 16-21

TAKEUCHI, T., WATANABE, T. y OGINO, C., 1979. Optimum ratio of dietary energy to protein for carp. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 45: 983-987.

TEIXERA, E; SALIBA, E.; EULER, A.; FARIA, P.; CREPALDI, D. y RIBEIRO, P. 2010. Coeficientes de digestibilidade aparente de alimentos energéticos para juvenis de surubim. *Revista Brasileira de Zootecnia*. v.39, n.6, p.1180-1185, 2010.

TSUJI, H., KIMOTO, M. AND NATORI, Y. 2001. Allergens in major crops. *Nutr. Res.* 21:925–934.

TUKEY, W. 1949. Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*.

TOM LOVELL, 1989. Nutrition and Feeding of Fish. Editorial Springer science.

TUNISON, A., PHILLIPS, A., SHAFFER, H., MAXWELL, J., BROCKWAY, D. 1948. The nutrition of trout. Cortland Hatchery Rep., 13. N.Y. Conserv. Dept. Fish- Res- Bull., 6:1-21.

VANDENBERG, G., DE LA NOÛE, J. 2001. Apparent digestibility comparison in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) assessed using three methods of faeces collection and thee digestibility markers. *Aquaculture Nutrition* 7:237-245.

VÁSQUEZ, T., YOSSA, M. Y GUTIERREZ, M. 2013. Digestibilidad aparente de ingredientes de origen vegetal y animal en la cachama. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.48, n.8, p.920-927.

VÁSQUEZ-TORRES W, YOSSA M; HERNÁNDEZ G; GUTIÉRREZ M. 2010. Digestibilidad aparente de ingredientes de uso común en la fabricación de raciones balanceadas para tilapia roja híbrida (*Oreochromis sp.*). *Rev Colomb Cienc Pecu.* 207-216.

WANG, M., HETTIARACHCHY, S., QI, M., BURKS, W. y SIEBENMORGEN, T. (1999). Preparation and functional properties of rice bran protein isolate. *J. Agric. Food Chem.* 47(2):411–416.

WINDELL, J., FOLTZ, J. y SAROKON, J. 1978. Methods of fecal collection and nutrient leaching in digestibility studies. *Prog. Fish-Cult.*40(2): 51-55.

WINFREE, R: y STICKNEY, R.1981.Effects of Dietary Protein and Energy on Growth, Feed Conversion Efficiency and Body Composition of *Tilapia aurea*. *J. Nutr. Ill:* 1001-1012.

XU, Z. 1998. Purification and Antioxidant Properties of Rice Bran γ -Oryzanol Components. Doctoral dissertation. Louisiana State University, USA.

ZEITOUN, I., ULLREY, D., MAGEE, W., GILL, J. y BERGEN, W. 1976. Quantifying Nutrient Requirements of Fish. *J. Fish. Res. Board Can.* 33: 167-172.

VIII. ANEXOS

Anexo I. Parámetros de evaluación de calidad de agua

Parámetro	Unidad	Equipo	Periodicidad	Lugar de muestreo	Promedio
Temperatura	°C	Termometro Sper <i>Scientific</i>	2 veces por semana (3 veces al día)	Acuarios de digestibilidad	26.5
Oxígeno Disuelto	mg/L	Oximetro Pinpoint II <i>American Marine Inc</i>	2 veces por semana (2 veces al día)	Acuarios de digestibilidad	7.5
ph		pHmetro <i>OAKTON</i>	2 veces por semana (2 veces al día)	Acuarios de digestibilidad	165.3
Dureza	ppm (CaCO ₃)	Kit colorimétrico <i>La Motte</i>	2 veces por semana (2 veces al día)	Tanque sumidero	7
Nitrógeno amoniacal	mg/L	Kit colorimétrico <i>Sera</i>	2 veces por semana (2 veces al día)	Tanque sumidero	0.22

Anexo II. Peso y talla inicial de los peces para la prueba de digestibilidad.

Tratamiento control						Tratamiento arroz partido						Tratamiento polvillo de arroz					
Acuario 4		Acuario 6		Acuario 8		Acuario 2		Acuario 5		Acuario 9		Acuario 1		Acuario 3		Acuario 7	
Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)
57.00	12.21	58.00	13.69	60.00	12.85	65.00	13.92	61.00	13.06	63.00	13.49	60.00	13.15	58.00	12.42	59.00	14.43
61.00	13.90	62.00	13.28	67.00	14.35	67.00	12.93	57.00	12.21	57.00	12.21	64.00	13.70	60.00	13.01	59.00	12.63
58.00	12.42	57.00	14.23	65.00	12.51	66.00	14.13	66.00	12.97	63.00	13.49	57.00	12.21	65.00	13.92	64.00	13.70
62.00	13.28	67.00	14.35	67.00	14.35	57.00	12.21	65.00	13.92	65.00	13.92	63.00	13.49	66.00	14.13	65.00	13.92
60.00	12.83	65.00	13.92	57.00	14.24	59.00	12.63	62.00	13.28	60.00	12.85	65.00	12.72	57.00	12.81	58.00	13.10
61.00	13.06	64.00	13.36	63.00	13.49	57.00	14.06	63.00	13.49	62.00	13.28	63.00	13.49	57.00	12.21	58.00	12.42

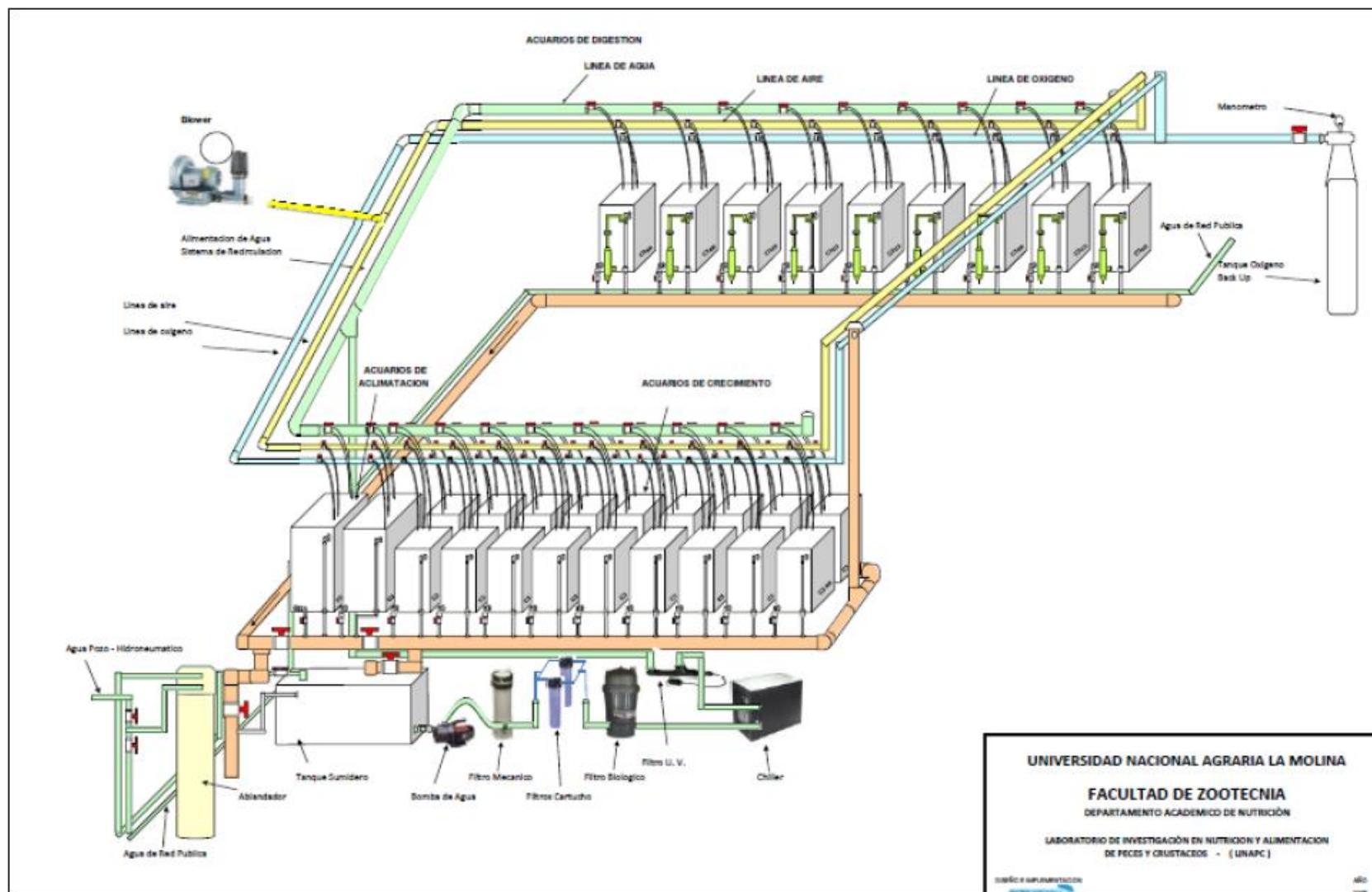
Anexo III. Peso y talla inicial de los peces para la prueba de requerimiento energético.

Tratamiento 2900 Kcal ED/ Kg				Tratamiento 3100 Kcal ED / Kg				Tratamiento 3300 Kcal ED/ Kg				Tratamiento 3500 Kcal ED/ Kg				Tratamiento 3600 Kcal ED/ Kg																																																																																																																						
Acuario 7		Acuario 13		Acuario 15		Acuario 4		Acuario 11		Acuario 14		Acuario 5		Acuario 10		Acuario 16		Acuario 8		Acuario 9		Acuario 18		Acuario 6		Acuario 12		Acuario 17																																																																																																										
Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)																																																																																																									
49.9	48.8	49.2	50.3	49.3	52.2	49.6	45.5	48.0	47.6	48.8	50.7	51.7	52.9	48.1	48.7	49.9	51.7	49.7	50.5	49.3	47.0	47.6	48.8	47.2	52.7	50.9	46.4	48.1	48.8	51.8	47.5	50.7	48.7	47.3	50.7	47.7	48.6	49.1	51.6	47.9	54.0	46.9	47.4	53.0	51.5	51.8	49.8	53.0	51.8	53.4	52.6	52.0	51.3	50.2	51.9	52.8	50.8	52.2	51.3	48.6	51.8	52.7	53.1	50.2	52.7	54.3	50.9	52.5	50.6	54.2	52.1	51.1	52.8	53.8	52.2	47.8	51.8	51.6	48.2	50.3	48.3	51.4	54.1	52.3	49.5	52.9	53.7	53.4	52.8	48.3	49.8	51.3	50.9	49.3	50.2	50.3	49.6	51.7	47.6	48.7	52.1	47.7	50.8	51.0	51.0	52.2	49.1	51.2	49.4	51.6	52.3	51.6	53.5	49.3	50.1	50.7	49.7	48.8	49.0	48.1	48.7	50.1	49.5	48.1	50.8	50.3	49.6	51.3	49.9	52.2	51.5	49.7	50.8	51.0

Anexo IV. Instalaciones y equipos del LINAPC

Equipo	Unidad	Función
Ablandador de agua	1m ³	Disminuye la dureza (concentraciones de iones de Ca ⁺⁺ y Mg ⁺⁺) del agua de La Molina de 1500 ppm a hasta 16 ppm
Tanque sumidero	Capacidad 360 l	Recepciona directamente el agua del ablandador. Consta de un desagüe por rebose y una salida hacia la bomba de agua.
Bomba de agua	1 HP de potencia	Permite el movimiento del agua desde el tanque sumidero a través de todos los filtros hacia los acuarios.
Filtro mecánico (Reemy)	1 unidad	Tiene la capacidad para retener partículas de hasta un mínimo de 20 µm.
Filtros Housing	2 unidades	Apoyan el filtro mecánico con la retención de partículas de 20 µm.
Enfriador/calentador de agua	2 HP de potencia	Enfría o calienta el agua entre n rango de 13 – 32 °C.
Esterilizador UV	25 watts	Esteriliza el agua disminuyendo de esta forma la presencia de algas, bacterias y virus no deseado en los acuarios.
Filtros Cuno	4 unidades	Compuesto por dos pares de filtros (5 µm y 1 µm), permite que el agua llegue con mayor pureza a los acuarios.
Bomba de aire (Blower)	1/3 HP de potencia	Toma aire del ambiente y lo traslada a través de las líneas de aire hacia los acuarios, donde se encuentran las piedras difusoras de aire.
Acuarios para pruebas de digestibilidad	9 unidades	Alberga a los peces durante la evaluación. Cada acuario de fibra de vidrio tiene capacidad de 55 litros de color blanco, liso por dentro y fuera, con frontis de vidrio de 6 mm y dimensiones de 0.47x0.47x0.50m.

Anexo V. Laboratorio de investigación en nutrición y alimentación de peces y crustáceos (LINAPC)



Anexo VI. Contenido de materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno, ceniza y energía bruta de la dieta referencial y dietas pruebas (base fresca) – Prueba digestibilidad

	Dieta referencial	Dieta prueba con arroz partido	Dieta prueba con polvillo de arroz
Materia seca (%)	93.50	93.60	92.70
Proteína bruta (%)	31.30	23.70	24.10
Extracto etéreo (%)	10.50	7.50	10.90
Fibra cruda (%)	2.40	1.80	2.70
Ceniza (%)	6.40	4.50	6.20
ELN (%)	42.90	56.10	48.80
Energía (Kcal/Kg)	4446.10	4226.90	4334.00

Anexo VII. Contenido de materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, y energía bruta de las heces obtenidas de la dieta referencial y las dietas pruebas (parcialmente seca)

	Dieta referencial			Dieta prueba con arroz partido			Dieta prueba con polvillo de arroz		
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Materia seca (%)	89.62	91.29	90.73	90.91	90.77	91.07	91.32	90.40	90.66
Proteína bruta (%)	12.17	11.59	12.50	13.99	14.20	14.41	13.00	14.74	13.67
Extracto etéreo (%)	1.75	1.52	1.64	1.90	1.80	1.40	3.73	3.84	3.19
Energía (Kcal/Kg)	3864.0	3923.8	3931.7	3925.3	3933.0	3940.8	3931.2	4025.4	4067.2

Anexo VIII. Valores de óxido de cromo en las dietas y las heces (base fresca).

Muestra	Repeticiones	Oxido de cromo (%)
Dieta referencia		0.51
Dieta Prueba con arroz partido		0.45
Dieta Prueba con polvillo de arroz		0.44
	R1	1.09
Heces de la dieta de referencia	R2	1.16
	R3	1.10
	R1	1.09
Heces de la dieta prueba con arroz partido	R2	1.12
	R3	1.14
	R1	1.03
Heces de la dieta prueba con polvillo de arroz	R2	1.05
	R3	1.06

Anexo IX. Coeficientes de digestibilidad aparente del arroz partido y el polvillo de arroz (base seca)

	Arroz partido						Polvillo de arroz					
	R1	R2	R3	x	σ	CV	R1	R2	R3	x	σ	CV
Materia seca (%)	66.78	69.19	71.03	69.00	2.13	3.09	61.67	64.24	65.41	63.77	1.91	3.00
Extracto etéreo (%)	85.67	87.61	93.42	88.90	4.04	4.54	75.18	78.55	81.39	77.97	3.11	3.97
Proteína cruda (%)	66.49	66.96	67.42	66.82	0.46	0.69	69.75	69.48	68.49	68.96	0.66	0.96
Energía Bruta (%)	65.07	67.04	68.93	66.11	1.93	2.88	63.92	63.02	63.40	64.95	0.45	0.71

x : Promedio

σ : Desviación estándar

CV : Coeficiente de variación

Anexo X. Contenido de materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno y ceniza de las dietas (base fresca) – Prueba Requerimiento

	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Trat 4	Trat 5
Materia seca (%)	89.0	88.9	86.4	91.9	91.5
Proteína bruta (%)	36.4	36.6	35.6	35.9	35.5
Extracto etéreo (%)	6.1	6.7	9.2	12.4	15.4
Fibra cruda (%)	3.5	3.3	3.6	3.5	3.5
Ceniza (%)	7.2	6.8	6.5	6.7	5.7
ELN (%)	35.8	35.5	31.5	30.6	28.6

Anexo XI. Análisis del varianza del peso final – Prueba de requerimiento

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	P-valor
<i>Tratamiento</i>	4	137.94	34.486	12.59	0.001
<i>Error</i>	10	27.39	2.739		
<i>Total</i>	14	165.33			

Anexo XII. Análisis del varianza de ganancia de peso diario –Prueba de requerimiento

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	P-valor
<i>Tratamiento</i>	4	0.16504	0.041260	11.85	0.001
<i>Error</i>	10	0.03482	0.003482		
<i>Total</i>	14	0.19986			

Anexo XIII. Análisis del varianza del consumo de alimento – Prueba de requerimiento

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	P-valor
<i>Tratamiento</i>	4	83.15	20.788	4.30	0.028
<i>Error</i>	10	48.31	4.831		
<i>Total</i>	14	131.47			

Anexo XIV. Análisis del varianza de conversión alimenticia– Prueba de requerimiento

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	P-valor
<i>Tratamiento</i>	4	0.026834	0.006708	10.15	0.002
<i>Error</i>	10	0.006609	0.000661		
<i>Total</i>	14	0.033443			