

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE NUTRICIÓN**



**DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES Y
LA ENERGÍA DIGESTIBLE DE LA TORTA DE SOYA (*Glycine
max*) EN JUVENILES DE GAMITANA (*Colossoma macropomum*)**

**Presentado por:
CÉSAR AUGUSTO BARBOZA HUAMÁN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO ZOOTECNISTA**

Lima- Perú

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE ZOOTECNIA

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE NUTRICIÓN

**“DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES
Y LA ENERGÍA DIGESTIBLE DE LA TORTA DE SOYA (*Glycine
max*) EN JUVENILES DE GAMITANA (*Colossoma macropomum*)”**

Tesis para optar el Título de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

Presentado por

CÉSAR AUGUSTO BARBOZA HUAMÁN

Sustentado y Aprobado ante el siguiente Jurado:

Dr. Víctor Guevara Carrasco

PRESIDENTE

Ing. Víctor Vergara Rubín

PATROCINADOR

Ing. Jessie Vargas Cárdenas

MIEMBRO

Ing. Gloria Palacios Pinto

MIEMBRO

DEDICATORIA

Con mucho cariño y aprecio para las personas que me brindaron su amor, comprensión y apoyo incondicional en mi vida; en especial durante mi etapa universitaria.

A mi madre, hermanos y familia.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Víctor Vergara Rubín por su asesoría y apoyo durante todo el tiempo que duró la ejecución, redacción y sustentación de la tesis; y por el ánimo brindado en cada visita realizada con mis múltiples preguntas.

Al Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos (PIPS) de la Universidad Nacional Agraria la molina (UNALM) que me facilitó el ingrediente evaluado y su preparación.

Al Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC) de la UNALM donde se llevó el experimento.

Al Ing. Roberto Camacho Cuya por el apoyo y motivación constante para el desarrollo del presente trabajo.

A los miembros del jurado por el aporte valioso que me brindaron para la culminación de la tesis.

A la Sra Silvia por el apoyo y paciencia en los análisis de laboratorio.

Gracias a todos mis amigos que me animaron y apoyaron durante todo el tiempo que me tomo realizar la tesis.

Por último y no menos importante a mis padres, hermanos y familia por su apoyo incondicional durante todo este proceso.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE ANEXOS

RESUMEN

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISION DE LITERATURA	3
2.1	Soya (<i>Glycine max</i>)	3
2.1.1	Aspectos generales	3
2.1.2	Obtención de la torta de soya	4
2.1.3	Valor nutritivo de la torta de soya	7
2.1.4	Factores antinutricionales	9
2.2	Torta de soya en la alimentación en especies acuícolas.....	10
2.3	Digestibilidad	12
2.3.1	Aspectos generales.....	12
2.3.2	Métodos para la determinación de la digestibilidad	14
2.3.3	Factores que afectan la digestibilidad	16
2.4	Energía digestible	19
2.5	Gamitana (<i>Colossoma macropomum</i>)	21
2.5.1	Posición taxonómica y distribución geográfica.....	21
2.5.2	Descripción de la especie y hábitat	21
2.5.3	Hábitos alimenticios	22
2.6	Fisiología digestiva de la gamitana	23
2.6.1	Digestión y absorción de nutrientes	24
2.7	Requerimientos nutricionales de la gamitana.....	27
2.7.1	Alimentación de la gamitana	31
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1	Lugar y duración de la fase experimental.....	34
3.2	Instalaciones y equipos.....	34

3.3 Animales experimentales	35
3.4 Ingrediente evaluado	35
3.5 Análisis químicos	35
3.6 Procedimiento experimental	36
3.6.1 Dietas experimentales	36
3.6.2 Suministro de alimento	39
3.6.3 Colección y manejo de las heces	39
3.6.4 Determinación de los coeficientes de digestibilidad	40
3.6.5 Cálculo de la energía digestible	41
3.7 Evaluación de la calidad del agua	41
3.7.1 Temperatura	41
3.7.2 Oxígeno disuelto	41
3.7.3 pH	42
3.7.4 Dureza	42
3.7.5 Amonio y amoniaco	42
3.7.6 Nitrito	42
3.8 Parámetros estadísticos	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1 Calidad de agua	43
4.2 Coeficiente de digestibilidad aparente de la torta de soya	43
4.3 Energía digestible	47
V. CONCLUSIONES	49
VI. RECOMENDACIONES	50
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	51
VIII. ANEXOS	68

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Contenido nutricional de la torta de soya	8
2	Requerimientos nutricionales de la gamitana	29
3	Fórmula de la dieta referencial, dieta prueba y su valor nutritivo Estimado	37
4	Fórmula de la premezcla de vitaminas, minerales y aditivos.	38
5	Contenido nutricional de la digestibilidad de la torta de soya	44

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Flujo del proceso de obtención de la torta de soya	5

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
I.	Instalaciones y equipos del LINAPC	68
II.	Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC)	69
III.	Parámetros de calidad de agua medidos durante el ensayo	70
IV.	Distribución de las dietas en los acuarios	71
V.	Peso (g), incremento de peso (g), consumo de alimento (g) y conversión alimenticia (g) de la prueba de digestibilidad	72
VI.	Análisis químico proximal de las dietas brindadas	73
VII.	Análisis químico proximal de las heces obtenidas	74
VIII.	Valores de óxido de cromo determinado en las dietas y heces	75
IX.	Cantidad de heces colectadas de los acuarios de digestibilidad	76
X.	Coeficientes de digestibilidad aparente de la torta de soya	77
XI.	Digestibilidad y energía digestible aparente de la torta de soya	78

RESUMEN

El presente ensayo se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación en Peces y Crustáceos (LINAPC) del Departamento Académico de Nutrición de la facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). La elaboración de las dietas experimentales se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos, Facultad de Zootecnia. El objetivo del presente estudio fue determinar la digestibilidad aparente de la materia seca, proteína, extracto etéreo y extracto libre de nitrógeno; y la determinación de la energía digestible de la torta de soya en gamitana, usando el método indirecto con un marcador de óxido de cromo (Cr_2O_3). Se utilizaron 18 juveniles de gamitana (*Colossoma macropomum*), fueron adquiridos en el Centro de Investigación y Producción Piscícola (CINPIS), con peso promedio de 258 g. Los peces fueron recepcionados en dos acuarios de adaptación donde permanecieron por cuatro días. Luego distribuidos aleatoriamente en seis acuarios de digestibilidad tipo *Guelph*, en número de tres peces por acuario. La duración de la fase experimental fue de 30 días (29 de abril al 26 de mayo del 2013), durante el cual se realizó colecciones diarias de heces. Los resultados de los coeficientes de digestibilidad aparente de la torta de soya es para materia seca 61.16 por ciento, para proteína cruda 82.76 por ciento, para extracto etéreo 72.42 por ciento, para extracto libre de nitrógeno 36.91 por ciento y para energía bruta 67.31 por ciento. La energía digestible obtenida para la gamitana fue de 2.969 Mcal/Kg (tal como ofrecido), de la torta de soya.

Palabras clave: gamitana, torta de soya, energía digestible, digestibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura en el Perú ha experimentado un gran desarrollo en los últimos años. Sin embargo, tiene un nivel de desarrollo escaso, comparado con otros países de la región. En la actualidad existe una gran demanda del mercado de consumo de especies acuícolas debido a su alto valor nutritivo; además existe un considerable crecimiento demográfico a nivel mundial. Es por ello, que se está buscando optimizar el uso de los ingredientes para la alimentación de las especies acuícolas, con la finalidad de evaluar la digestibilidad y los niveles de uso para mejorar el comportamiento productivo.

El beneficio económico de la acuicultura intensiva y semi-intensiva lo determina el costo de los ingredientes proteicos. Pues, es uno de los nutrientes más importantes a considerar en la alimentación de peces.

La gamitana (*Colossoma macropomun*), pez oriundo de la cuenca del Amazonas ha sido caracterizada por su gran potencial para el cultivo debido a su rusticidad, buen crecimiento y buena aceptación de alimentos balanceados. Su cosechase incrementó de 203 TM en el año 2003 a 453 TM en el año 2012 (Produce, 2012). Se encuentra distribuida por toda la cuenca amazónica, predominando su producción en la región Loreto.

La torta de soya (*Glycine max*) constituye un ingrediente utilizado en la formulación de alimentos para peces, debido a su alto nivel de proteína (48 por ciento) y aminoácidos esenciales, además presenta una alta disponibilidad en los mercados mundiales. La torta de soya es muy utilizada debido al alto valor nutricional que posee en la alimentación de aves y porcinos. Sin embargo, se desconoce los valores de digestibilidad de nutrientes, el valor de la energía digestible y el nivel óptimo de uso en peces amazónicos, por lo que es necesario realizar evaluaciones para obtener dicha información y así formular alimentos de manera más precisa, que tengan como característica su bajo costo y generen un mínimo impacto en la contaminación del medio acuático.

Por lo tanto el objetivo de este trabajo es determinar el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de la materia seca, proteína, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno y la energía digestible de la torta de soya en juveniles de gamitana, usando el método indirecto con el marcador óxido de cromo.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Soya (*Glycine max*)

2.1.1 Aspectos generales

La soya (*Glycine max*), es una leguminosa que ha sido reconocida desde años atrás como una excelente fuente de proteínas para la alimentación de muchas especies animales, también ha sido utilizada con éxito en la alimentación de organismos acuáticos. Dicha leguminosa se emplea bajo distintas formas de manufactura y se aprovecha su aceite y las pastas residuales, ricas en proteína, después de la obtención del aceite. Es la proteína vegetal más utilizada en la acuicultura (Lim et al., 1998; Hardy, 1999). La producción mundial de soya del año 2014 fue de 317.25 millones de toneladas y se estima que la producción mundial de soya para los años 2015/2016 será de 317.3 millones de toneladas, que podrían significar un incremento de 0.05 millones de toneladas o un 0.02% en la producción de soya alrededor del mundo (USDA, 2015)

Es originaria del este de Asia, donde ha sido utilizada en la alimentación humana desde hace más de 4000 años. A partir del año 1900 se introdujo a Europa y América. En este último continente encontró las mejores condiciones climáticas para convertirse en un cultivo comercial de gran impacto productivo y económico. Actualmente, los principales países productores de soya son: Estados Unidos, Brasil, Argentina, China, India, Paraguay y Canadá. Estados Unidos es el primer productor y exportador en el mundo, sin embargo Brasil y Argentina suman la mitad de la producción mundial. Y la soya transgénica representa más del 70 por ciento de la soya sembrada en todo el mundo, con el objetivo de lograr una mayor resistencia a los herbicidas e insectos (FAO, 2012)

En el Perú, la producción de soya es mínima en comparación a los países antes mencionados, esto se debe al desconocimiento de todos los beneficios que ofrece la soya. Sin embargo, su producción incrementó de 2698 TM en el año 2001 a 3441 TM en el año 2009(MINAGRI, 2010).

La soya es el primer producto agrícola importado por Perú. Destacan: Tortas y demás residuos 46,3 por ciento, aceite 40,2 por ciento y frejol 6.5 por ciento. Los principales países de procedencia son Argentina 38 por ciento, Paraguay 22.4 por ciento y Bolivia 19,4 por ciento. En el periodo del 2010-2011, hasta agosto de ese año se han registrado 42 hectáreas destinadas al cultivo de esta leguminosa. Los principales departamentos productores en el Perú son: Piura 673 TM, Amazonas 666 TM, San Martín 437 TM y Cajamarca 409 TM (MINAG, 2013).

2.1.2 Obtención de la torta de soya

Existen varios procesos para tratar los frijoles de soya. El más común consiste en remover la vaina, los frijoles se muelen a hojuelas que son desgrasadas con un solvente, después es tostado para eliminar los factores antitripticos. El producto obtenido se denomina torta de soya, un producto con un alto contenido de carbohidratos, bajo en lípidos y que contiene alrededor de 48 por ciento de proteína cruda. Este producto puede ser molido (Foster et al., 2002).

En la Figura 1, muestra el flujo de proceso para la obtención de la torta de soya. Se inicia con la recepción de las semillas, estas se limpian para eliminar cualquier material extraño como piedras, residuos de cosecha y otros desperdicios. Luego son almacenados manteniendo a un nivel bajo el contenido de humedad (secado) para evitar el deterioro microbiano y la combustión espontánea. Después pasa a la molienda, donde las semillas se trituran y con algunas de ellas se proceden a una decortización (eliminación de la cáscara) parcial o total por medio de una combinación de clasificación con aire y tamizado o en algunos casos por flotación (Newkirk, 2010).

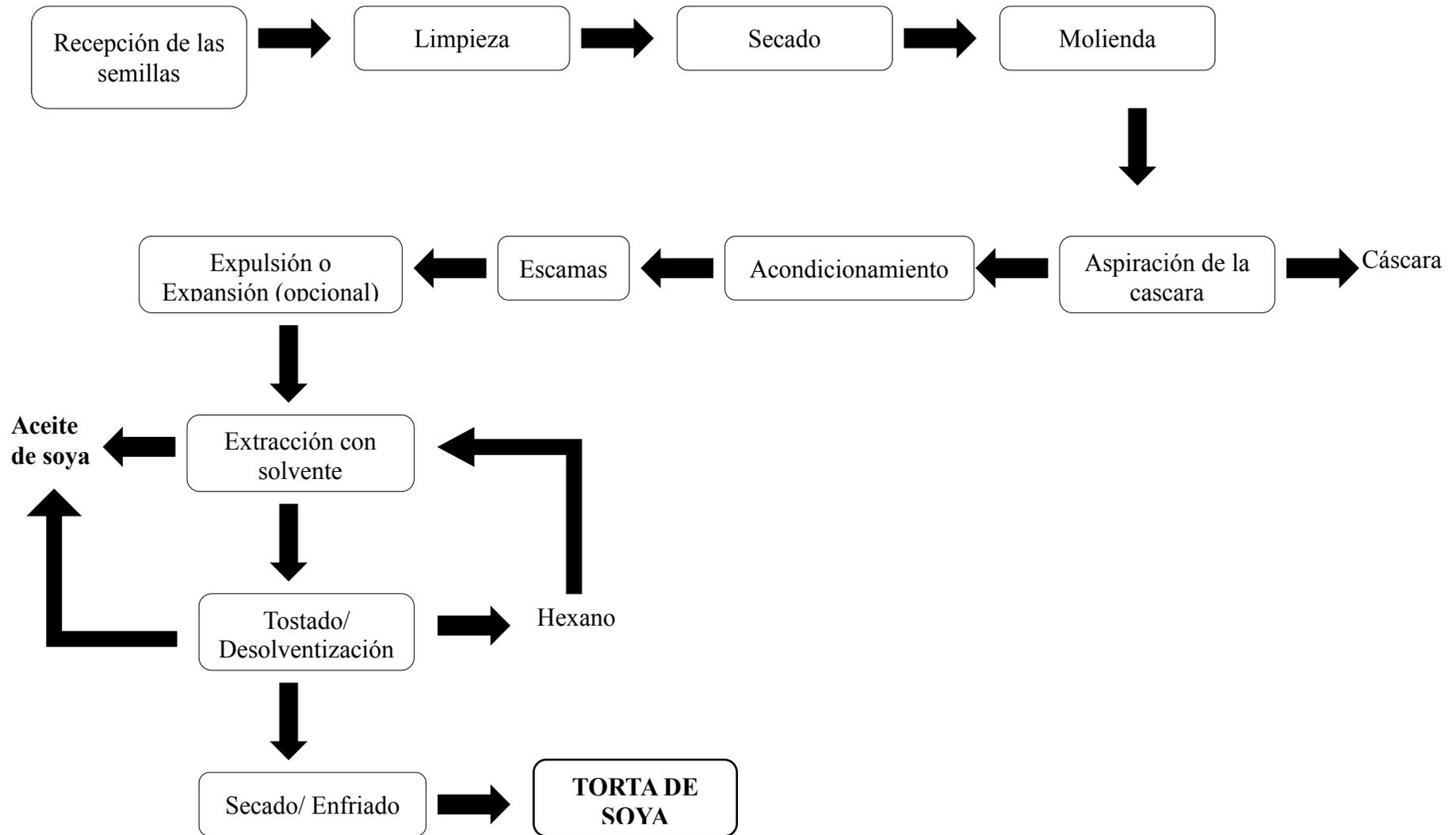


FIGURA 1. Flujo del proceso de obtención de la torta de soya (Newkirk, 2010).

En la molienda, la extracción del aceite se realiza con mayor eficiencia cuando la semilla se somete a una trituración previa o a una laminación. Para esta operación existen molinos diseñados para producir la rotura de las semillas. El diámetro de los cilindros de un molino de rodillos varía de 200 a 400 milímetros y su longitud es de 1000 milímetros. También se puede utilizar los molinos de martillo o cilindros dentados (Campos, 1991).

El calentamiento, favorece el proceso posterior de extracción. Las gotas de aceite repartidas en la masa de la semilla se unen entre ellas para originar gotas más grandes, que salen más fácilmente de la masa de la semilla, por efecto de la elevación de la temperatura. Es importante mencionar que el calentamiento de las semillas se debe realizar con equipos adecuados para no producir alteraciones físico-químicas u organolépticas en el aceite (Newkirk, 2010). Bernardini (1981), explica la influencia del tratamiento térmico en la extracción de aceite basado en que las gotitas de aceite, de dimensiones ultramicroscópicas que están repartidas en la masa de la semilla, por efecto de la elevación de la temperatura se unen entre ellas para originar gotitas más grandes, que salen más fácilmente de la masa de la semilla.

Existen dos procesos para la separación del aceite y la parte sólida de la soya. El primer proceso es por el método de prensado mecánico. Este método se basa en la aplicación de presión sobre una masa de productos oleaginosos combinados en bolsas, telas, mallas u otros. Este proceso puede hacerse mediante prensas continuas o discontinuas. El segundo proceso es por el método de extracción por solvente, el cual se realiza con hexano, que elimina los constituyentes no oleosos, como la proteína y la fibra. Prácticamente es el único método para conseguir una extracción casi completa del aceite (Chirinos et al, 2009). La torta obtenida después del proceso de extracción del aceite de soya, contiene alta cantidad de lípidos y proteínas, surge como alternativa para el uso en la actividad pecuaria.

2.1.3 Valor nutritivo de la torta de soya

La torta de soya es uno de los productos de la soya (*Glycine max*), es utilizado en todos los tipos de alimentos para animales, es una de las materias primas proteicas de mayor uso en la nutrición de animales, esta se vende de acuerdo a su contenido de proteína, es el producto obtenido por la molienda de los frijoles de soya después que la mayor parte del aceite se ha separado por extracción mecánica ó por solvente. Debe aplicarse calor durante el proceso (Espejo, 2003). Tiene un nivel de proteína de 44-48 por ciento, por lo que se sitúa entre los insumos de origen vegetal, que se consideran fuentes de alto valor proteico. Este subproducto puede utilizarse como la fuente primaria de proteínas para los peces omnívoros en todo el mundo, pues es un producto que es fácilmente disponible y bien utilizado por los peces. En el Cuadro 1 se presenta el análisis químico proximal y aminograma de la torta de soya.

La proteína de la soya contiene uno de los mejores perfiles de aminoácidos de todos los ingredientes de origen vegetal, cubriendo los requerimientos de aminoácidos esenciales para peces (NRC, 2011). La metionina + cistina son los aminoácidos esenciales limitantes en la proteína de soya para casi todos los animales. Sin embargo, en el caso del bagre el requerimiento de metionina+cistina es relativamente bajo, por lo que la proteína de soya cubre sus requerimientos. La proteína de soya es limitante en metionina+cistina y también en treonina para algunos peces, pero sigue siendo superior en contenido de aminoácidos a los de otras fuentes de origen vegetal comúnmente utilizadas (Lovell y Smitherman, 1993).

Aunque el contenido de aminoácidos esenciales se puede utilizar como un índice para determinar el valor nutritivo de las fuentes proteicas, se ha encontrado que el valor individual y los valores promedios de la disponibilidad aparente de los aminoácidos y la verdadera disponibilidad de aminoácidos varían dentro y entre las diversas fuentes proteicas (Lim y Dominy, 1991).

CUADRO 1. Contenido nutricional de la torta de Soya

Componente (%)	Torta de soya ^a
Humedad	12.00
Proteína total	47.00
Grasa cruda	3.70
Ceniza	8.00
Fibra cruda	3.50
ELN	25.80
Aminoácidos g/16g de N ^b	
Ácido aspártico	11.70
Ácido glutámico	18.70
Serina	5.11
Glicina	4.19
Arginina	7.19
Prolina	5.51
Histidina	2.51
Isoleucina	4.51
Leucina	7.81
Lisina	5.40
Metionina	1.30
Cisteína	1.30
Fenilalanina	4.89
Tirosina	3.11
Treonina	3.89
Triptófano	1.30
Valina	4.81
Alanina	4.30
Macrominerales (%) ^c	
Ca	0.29
P	0.64
Na	0.02
Cl	0.04
Mg	0.27
K	2.20
Microminerales y vitaminas (mg/Kg) ^c	
Cu	13.00
Fe	120.00
Mn	33.00
Zn	48.00
Vit. E	4.00
Biotina	0.32
Colina	2740.00

^a NRC(2011), ^b AA en 32.53% de proteína y ^c FEDNA (2013)

A pesar de la extracción de los aceites, conserva un buen porcentaje de ácidos grasos esenciales, como ω -3 (0.12 por ciento) y ω -6(0.85 por ciento), mucho más importantes para las dietas acuícolas que en otras especies. En cuanto a los aportes minerales de la torta de soya, destacan dos, el calcio y el fósforo con 0.3 y 0.63 por ciento respectivamente, cifras superiores a las de los cereales (NRC, 2011).

2.1.4 Factores antinutricionales

La soya cruda contiene diversos factores anti-nutricionales que se sabe afectan el crecimiento y salud de los peces. Sin embargo, diversos métodos de tratamientos con calor (tostado, extrusión y peletización) han sido exitosamente utilizados para inactivar o eliminar los factores antinutricionales mejorando así los el valor nutritivo de la soya (Lim y Akiyama, 1991). La principal sustancia antinutricional es el inhibidor de tripsina (IT), que además de afectar el crecimiento, causa hipertrofia pancreática. La harina de soya también contiene cantidades significativas de ácido fítico que forman un complejo con varios minerales y los vuelve no disponibles. Hay otros factores antinutricionales conocidas como hemaglutininas, que causan aglutinación de los glóbulos rojos; los goitrógenos que causan la inflamación de la glándula tiroides; toxinas que causan el alargamiento del páncreas e inhibidores de proteasas que ligan las enzimas digestivas de proteína, la tripsina y quimiotripsina (Ruiz, 1990).

El calentamiento de la soya cruda durante la extracción comercial del aceite (105 °C durante 10-12 minutos) aumenta su valor nutritivo y su palatabilidad, ya que destruye la mayoría de estos factores termolábiles, a la vez que desnaturaliza las proteínas haciéndolas más digeribles. Sin embargo, no es deseable un calentamiento excesivo debido a la reacción de Maillard (formación de complejos indisponibles de azúcar-amino) y a la destrucción de aminoácidos sensibles al calor como la lisina y cistina. La calidad de la proteína de soya, como cualquier otra fuente de proteína, se reduce si se sobrecalienta (Triveño, 1995)

El principal factor que debe considerarse cuando se evalúa la calidad de la harina de soya es el grado de calentamiento a que ha sido sometida durante el procesamiento. El calentamiento insuficiente no es recomendable porque se mantiene activo los factores antinutricionales termolábiles; el sobrecalentamiento afecta el valor nutricional al

disminuir la disponibilidad de la lisina. Las harinas de soya de color muy claro, por lo general, han tenido un tratamiento insuficiente con calor mientras que las de color oscuro están por lo general, sobrecalentadas (Pike y Hardy, 1997)

La actividad ureásica es un método indirecto para medir el nivel de procesado a calor de la pasta de soya, debido a que la destrucción de la ureasa en la soya equivale a la destrucción de la mayoría del resto de los factores antinutricionales. Otro método para determinar la calidad de la proteína es el Inhibidor de Tripsina (IT). Un nivel de 1-3 mg de inhibidor de tripsina/g de pasta de soya se considera adecuado para alimentos acuícolas. Este nivel de IT se relaciona con un valor de actividad ureásica de 0.00 a 0.23; aunque, una actividad ureásica de 0.00 podría indicar un sobrecalentamiento, debido a que esta escala tiene valores negativos. La mejor forma de determinar el adecuado procesamiento de la soya es a través de la determinación de la solubilidad de proteína en KOH (Dale, 1992). En el estudio que realizó Akiyama (1992), considera como óptimo para especies acuícolas, un índice de solubilidad de la proteína de 60-80 por ciento.

2.2 Torta de soya en la alimentación en especies acuícolas

Estudios realizados por Gutiérrez y Vásquez (2008), en digestibilidad de la soya (*Glycine max*) en juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*), con el objeto de determinar los coeficientes de digestibilidad aparente de la proteína y el contenido de energía bruta de la torta de soya, se utilizó el método indirecto con marcador de óxido de cromo, recolectando las heces por el sistema *Guelph* modificado. La dieta consistía de 69.5 por ciento de dieta referencia, 0.5 por ciento de marcador inerte (óxido de cromo) y 30 por ciento de torta de soya. Las heces fueron recolectadas a las 9 horas después de suministrar el alimento, cada hora durante 12 horas al día, por un periodo de 4 semanas. Las heces fueron inmediatamente secadas a una temperatura de 60 °C y se almacenaron a - 17 °C hasta ser analizadas para composición proximal, energía y niveles de óxido de cromo. Se encontró que el coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína de la torta de soya fue 83.2 por ciento y el contenido de la energía de la torta de soya fue 59.9 por ciento.

Flores et al. (2009), en el estudio II, en la fase de acabado para truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), tuvo como objetivo determinar el rendimiento productivo, el cual se evaluó la dieta con 20 % de harina integral de soya tostada, en reemplazo de la torta de soya, manteniendo constante la harina de pescado y los niveles de proteína y energía digestible. Los resultados sobre parámetros de comportamiento productivo fueron similares en ganancia de peso y eficiencia del uso del alimento. Así mismo, Reintz y Hitzel (1980) realizaron estudios con alevines de trucha arco iris alimentados con una dieta que contenía el 72.7% de harina de soya con grasa. En el resultado se obtuvo un aumento significativo de tamaño y peso, además de una tasa de conversión de alimento mucho mayor comparado con los alimentados de la dieta control que contenía el 25% de harina de arenque, 5% de aceite de pescado y el 20% de harina y aceite de soya. El índice de mortalidad en ambos grupos fue similar y no hubo ningún efecto en cuanto a la firmeza y el sabor de la carne.

Gutierrez et al. (2007) condujeron un experimento para evaluar los efectos de cinco niveles de proteínas (25 por ciento, 27 por ciento, 29 por ciento, 31 por ciento y 33 por ciento) sobre el comportamiento productivo de alevinos de gamitana (*Colossoma macropomum*) alimentados con dietas isocalóricas (2.7 Kcal de ED/g). Los parámetros medidos fueron ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA), proteína retenida (PR), razón de eficiencia proteica (REP) y energía retenida (ER). En la preparación de las dietas experimentales se utilizaron como fuente de proteína harina de anchoveta y harina de torta de soya; y como fuentes de energía maíz amarillo duro, subproducto de pescado y aceite de pescado. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos para los parámetros GP, PR, REP Y ER. No se encontraron diferencias significativas para CA. Los mejores rendimientos fueron obtenidos cuando las gamitanas fueron alimentadas con niveles dietarios de 25 por ciento, 27 por ciento y 33 por ciento de proteína cruda. También se encontró que a medida que se elevó el nivel de proteína de la dieta la REP decreció significativamente. Tomando en cuenta el costo de la proteína en la dieta, se concluye que la alimentación de la gamitana con niveles de 25 por ciento o 27 por ciento de proteína cruda y 2.7 Kcal de ED/g garantizarán su exitoso crecimiento.

El crecimiento, la conversión alimenticia y la supervivencia de los langostinos jumbo juveniles (*Penaeus monodon*) alimentados con dos niveles de harina de soya en condiciones de laboratorio fueron menores cuando se les suministró altos niveles de harina de soya (Piedad- Pascual y Catacutan, 1990). Por otro lado no mostró diferencias significativas en cuanto al crecimiento, y la supervivencia se mantuvo estable, cuando se reemplazó la harina de pescado de manera parcial o total, por harina de soya a niveles entre 15-55%. Hay que señalar que los langostinos se encontraban en jaulas y estanques con una población de 10 a 20 langostinos por metro cuadrado (Piedad- Pascual y Cruz, 1991).

En estudios con alevines de gamitana, se utilizó como fuente proteica chachafruto (*Erythrina edulis*) y soya, como sustituto de la harina de pescado, en comparación con una dieta testigo a base de harina de pescado, en dietas con porcentaje de proteína bruta de 30 por ciento, se observó que ningún parámetro de crecimiento varió significativamente en función del alimento recibido durante las 10 semanas de evaluación (Morillo et al, 2013).

2.3 Digestibilidad

2.3.1 Aspectos generales

La digestibilidad se define como la proporción del alimento que no es excretado por las heces y que por lo tanto, ha sido absorbido por el animal; se expresa como un coeficiente en forma porcentual en relación a la materia seca (McDonald et al., 2002). La digestibilidad es la cuantificación del proceso digestivo, es decir, la facilidad con que es convertido un alimento en el aparato digestivo en sustancias útiles para el organismo. 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 (Au y Bidart, 1992). Además, es uno de los parámetros utilizados para medir el valor nutricional de los distintos ingredientes destinados a la alimentación acuícola (Gonçalves y Carneiro, 2003; Pezzato et al., 2002).

El valor potencial de un alimento balanceado que suministra ciertos nutrientes puede ser determinado mediante análisis químico, pero el valor real que tiene para el

animal solamente puede ser determinado teniendo en cuenta las pérdidas inevitables que tienen lugar durante la digestión, la absorción y el metabolismo (McDonald et al., 2002). La evaluación de la digestibilidad supone la determinación de la cantidad de un determinado nutriente que desaparece en el tracto digestivo (Church, 1993).

Es importante conocer la digestibilidad debido a que no basta que la proteína u otro elemento se encuentre en altos porcentajes en el alimento (o en ingredientes), también debe ser digerible, para que pueda ser asimilado y en consecuencia, aprovechado por el organismo que lo ingiere (NRC, 1993 y FAO, 1994). Además, es uno de los aspectos más importantes en la evaluación eficiente de los alimentos y es un requisito necesario para formulación de dietas biológica, ambiental y económicamente óptimas (Shipton y Britz, 2001; Aksnes y Opstvedt, 1998; Da Silva y Oliva, 1998; Degani et al., 1997). Así mismo, en acuicultura los estudios de digestibilidad tienen un triple objetivo: un mejor conocimiento de la utilización potencial de los nutrientes, una mejora en la calidad de los alimentos para peces y, finalmente una disminución de los desechos de origen alimentario de modo que se pueda preservar la calidad del medio ambiente en general y el agua en particular (Guillaume et al., 2004).

En general, existen dos métodos para determinar la digestibilidad en las diferentes especies animales. Estos son: digestibilidad *in vivo* y digestibilidad *in vitro*. En el primer método se utiliza directamente al animal, mientras que en el segundo, se trata de producir en el laboratorio en forma artificial y simplificada los procesos de digestión, aunque a veces se usa el animal en forma parcial o indirecta (Rosales y Tang; citado por Jara, 2013).

a. Digestibilidad aparente

La digestibilidad aparente permite asumir que cantidad del alimento fue asimilado por el animal. Se denomina aparente porque no se ha corregido la posible interferencia que involucra la excreción de material fecal de origen endógeno (Manríquez, 1993). Con este método no se conoce la proporción de la proteína que proviene de la dieta o de la secreción de nitrógeno endógeno que provienen de mucoproteínas, enzimas pancreáticas e intestinales, saliva, secreciones biliares y gástricas, y células descamadas de la mucosa intestinal, así como de la proteína de origen bacteriano. Los valores de digestibilidad aparente son afectados por el nivel de proteína cruda en la dieta. Con una dieta baja en proteína cruda, los aminoácidos de fuentes endógenas conforman una alta proporción

del total de los aminoácidos que alcanzan el íleon terminal. A medida que el nivel de proteína cruda en la dieta se incrementa, la proporción de aminoácidos de fuentes endógenas disminuye y la digestibilidad aparente de la proteína cruda de la dieta aumenta (Parra y Gómez, 2008).

b. La digestibilidad verdadera

La digestibilidad verdadera viene a ser la digestibilidad aparente menos los valores de compuestos de origen metabólico o endógeno, tales como compuestos nitrogenados, lípidos y minerales que se mezclan en las heces (Bondi, 1989). Este método contempla la excreción de nitrógeno endógeno en sus cálculos, por lo cual ofrece un valor más exacto de la digestión de un alimento. Como consecuencia, los valores de digestibilidad verdadera no son afectados por el contenido de proteína cruda de la dieta. Así mismo, permite elaborar dietas en las cuales los requerimientos del alimento sean aportados de manera apropiada. Además, para el caso de la proteína ayudará a suplir a los animales de manera adecuada (Parra y Gómez, 2008).

2.3.2 Métodos para la determinación de la digestibilidad

Los coeficientes de digestibilidad en sí mismos son expresiones limitadas del valor nutritivo, aunque son procedimientos comunes para valorar los alimentos. Si bien la digestibilidad por sí sola es una expresión muy simplificada del valor nutritivo, los datos que aporta son útiles (Tobal, 1999).

Existen dos procedimientos para la determinación de la digestibilidad: el método directo e indirecto.

a) Métodos directos

Los métodos directos tienden a medir la relación entre el alimento y la excreta. Es fundamental conocer la cantidad de excreta a partir de una ingestión de alimento durante un periodo de tiempo suficientemente largo para obtener una muestra representativa y característica de las condiciones experimentales empleadas (Halloran, 1972).

El método directo, también llamado método de recolección total, consiste en la recolección cuantitativa, la estimación y el análisis de todas las heces producidas.

El coeficiente de digestibilidad (C.D) se calcula de la siguiente manera:

$$C.D \% = \frac{\text{Nutriente ingerido} - \text{Nutriente en las heces}}{\text{Nutriente ingerido}} \times 100$$

b) Métodos indirectos

El método indirecto o método con marcador, implica el empleo de marcadores en lo cual no se mide la totalidad de ingestión del alimento ni heces excretadas (Bondi, 1989). Consiste en medir la concentración del producto evaluado con respecto al de un marcador inerte incorporado dentro del alimento, en baja cantidad, y se compara la relación del marcador existente en el alimento y en las heces (Watanabe, 1988; De Silva y Anderson, 1995; Manríquez, 1994; Mendoza, 1993). La utilización del marcador permite determinar el Coeficiente de Digestibilidad Aparente (C.D.A) que se calcula aplicando la siguiente ecuación.

$$C.D.A (\%) = 100 - \frac{100(\% \text{ indicador en el alimento} \times \% \text{ ingrediente en las heces})}{(\% \text{ indicador en las heces} \times \% \text{ ingrediente en el alimento})}$$

Características del marcador

El marcador a utilizar en la determinación de los coeficientes de digestibilidad debe cumplir con las siguientes características: estar uniformemente mezclado en la dieta, ser absolutamente inerte, no debe ser absorbible ni metabolizable, no debe influir en los fenómenos de absorción, digestión y secreción ya sea de manera sinérgica o antagónica, debe tener la misma velocidad de tránsito que el ingrediente evaluado, de rápida medición, no ser tóxico y no debe influenciar la tasa de ingestión de la dieta (Marais, 2000; De Silva y Anderson, 1995; Mendoza, 1993).

Los indicadores pueden ser añadidos al alimento (indicador externo) como el óxido crómico, óxido férrico, minerales quelados, sílice y polietileno; o pueden ser componentes naturales del alimento (indicador interno) como la fibra cruda, lignina y cenizas insolubles en ácido (Bondi, 1989)

El óxido de cromo como indicador (Cr_2O_3)

El óxido de cromo es el marcador más ampliamente utilizado durante la evaluación de la digestibilidad en dietas experimentales para peces. Edin (1918; citado por Austreng, 1978), fue el pionero en el uso de marcadores inertes, proponiendo el uso del óxido de cromo. Furukawa y Tsukara (1996) mejoraron la técnica de determinación de este marcador, por lo que muchos investigadores desde entonces, utilizan su metodología cuando aplican óxido de cromo en sus estudios de digestibilidad.

2.3.3 Factores que afectan la digestibilidad

a) Factor animal

Un mismo alimento administrado a diferentes animales, no siempre será digerido a un mismo nivel, lo que muestra la importancia del efecto del animal sobre la digestibilidad (MacDonald et al., 2006). Además de diferencias entre especies, pueden existir diferencias en la misma especie. Los peces de aguas cálidas como la gamitana presentan limitaciones fisiológicas para la digestión de los lípidos, estudios señalan que los niveles de lípido en el alimento para gamitana no deben exceder el 10 por ciento, a diferencia de los peces de aguas frías como la trucha que los niveles de lípido en el alimento si pueden exceder el 10 por ciento. Así mismo, presenta limitaciones fisiológicas para la digestión de los carbohidratos indigestibles como la fibra (celulosa, hemicelulosa y ligninas), que son tolerables hasta 8 por ciento de la dieta; y con mejor respuesta con 5 por ciento (Vergara, 2012).

b) Edad del pez

El estadio del pez puede afectar la actividad enzimática. Blanco (1995) señala que la digestibilidad de la proteína es mayor en los peces de menor edad, ya que sus necesidades de crecimiento son mayores y, por lo tanto, su capacidad de absorción también es mayor. En cuanto a la grasa, el mismo autor señala, que los peces de mayor

edad o talla utilizan mejor, desde un punto de vista digestivo la grasa dietaria que los más jóvenes.

c) Nivel de ingesta

El aumento del nivel de alimentación, produce una disminución en la digestibilidad de la energía, esto puede explicarse básicamente por que la cantidad relativa de enzimas es menor y por qué el tránsito a través del tracto digestivo es más rápido; esto significa menos tiempo para los procesos de digestión y absorción (Buxade, 1994). Las reducciones en la digestibilidad debidas al aumento en el ritmo de paso, son mayores para los componentes de alimentos de digestión más lenta, es decir, los componentes de la pared celular (MacDonald et al., 2006). Al reducir la ingestión de alimento por debajo del nivel de mantenimiento, los animales se hacen más eficientes en la digestión y el metabolismo de los nutrientes (Bondi, 1989).

d) Composición de la dieta

La influencia de la composición química de la dieta sobre la digestibilidad, es de gran importancia. Así la naturaleza de los carbohidratos es la característica que más influye. En general se afirma que a mayor contenido de fibra bruta, disminuye la digestibilidad de los compuestos orgánicos (Buxade, 1994).

Los alimentos de origen vegetal suelen ser digeridos en menor grado que los de origen animal, la celulosa que es difícil de digerir, suele envolver y proteger el efecto de las enzimas digestivas a otros nutrientes más digeribles como las proteínas y los carbohidratos (Hepher, 1992). Según MacDonald et al. (2006), la celulosa y hemicelulosa son parcialmente digestibles, en cambio la lignina no sufre modificación alguna, por ello se explica la relación entre la digestibilidad y fibra de los alimentos.

Una limitación para el uso de fuentes proteicas vegetales es la existencia de factores antinutricionales que pueden reducir la actividad de las enzimas digestivas de peces, siendo los más conocidos los inhibidores de proteasas, presentes principalmente en semillas de leguminosas (Martínez y Ríos, 2012)

e) Procesamiento del alimento

Ciertos procesos tecnológicos basados principalmente en los tratamientos térmicos han sido desarrollados para eliminar factores antinutricionales existentes en algunos insumos vegetales de fuentes proteicas, permitiendo a la soja y a muchas otras materias primas vegetales ser incluidas en las dietas comerciales, en niveles variables, para diferentes especies terrestres y acuícolas (Martínez y Ríos, 2012)

Blanco (1995), indica que el tamaño de partícula con que es ofrecido el alimento al pez influye en la digestibilidad del mismo. La digestibilidad mejora mientras más pequeñas sean las partículas, ya que de esta forma habrá más superficie de acción lo que facilitará el tratamiento digestivo. Además el tamaño de partícula del alimento ejerce influencia sobre la tasa de pasaje; así las partículas más gruesas atraviesan el tracto gastrointestinal rápidamente, mientras que las partículas de tamaño mediano y fino lo hacen más lentamente.

El tamaño de partícula debe ser adecuado para el animal teniendo en cuenta la especie y el estado fisiológico en que se encuentra, ya que alimento ofrecido en partículas demasiado finas podría reducir la digestibilidad motivada por el pasaje más rápido del alimento por el tracto digestivo (Maynard et al., 1981)

f) Condiciones medioambientales

Los peces son organismos poiquiloterms, y por tanto, la temperatura del medio tiene una considerable importancia para su metabolismo. La velocidad de tránsito está influida por la temperatura ambiental, de tal forma que se acelera con las temperaturas altas, como mecanismo fisiológico de regulación, ya que el pez en estas condiciones necesita mayor cantidad de alimento. Una velocidad de pasaje más rápido tiene lugar a una menor digestibilidad (Blanco, 1995).

Se ha demostrado que al aumentar la temperatura del agua en donde se encuentran los peces, mejora la digestibilidad del componente graso de la dieta, igualmente la digestibilidad del almidón está en función de la temperatura del agua, siendo de forma general, más elevado en peces de agua caliente que en los de zonas templadas (Guillaume et al., 2004).

2.4 Energía digestible

La energía no es un nutriente, sino más bien un producto terminal de los alimentos absorbidos en el intestino, capaces de liberar calor cuando se oxidan y se metabolizan. Los peces, como todos los animales, necesitan energía para asegurar sus funciones vitales; por tanto la capacidad de aportarla es de gran importancia al determinar el valor nutritivo de los alimentos (Blanco, 1995)

La energía es necesaria para los procesos vitales y productivos, es así que el contenido óptimo de muchos nutrientes está en relación con el contenido en energía de la dieta que consumo un animal (Lloyd et al.; citado por Caballero, 1992). De esta manera los carbohidratos, lípidos y proteínas son macronutrientes que proveen energía al animal. En el caso de mamíferos terrestres, los carbohidratos fibrosos y no fibrosos son los que aportan la mayor parte de la energía suministrada (Aliaga; citado por Caballero, 1992), mientras que en los peces los lípidos y proteínas son los que proveen energía principalmente (Moyle y Cech, 2000).

Al describir las fracciones energéticas de un sistema animal, la primera evaluación nutricional se define como energía bruta (EB), que es la cantidad de calor proveniente de la oxidación completa del alimento, pudiendo medirse en una bomba calorimétrica, y representa la máxima cantidad posible de energía que se puede obtener de un alimento. La energía se mide en kilojulios o en kilocalorías, una Kcal equivale a 4.184 KJ. La energía bruta no tiene significado nutritivo, ya que no está totalmente disponible para el animal, pero es un parámetro necesario para calcular el valor energético (energía aprovechable) de los alimentos (Flores y Rodríguez, 2005)

Antes que los componentes de un alimento puedan servir como combustible para los animales, deben ser digeridos y absorbidos en el tracto digestivo. Algunos componentes del alimento resisten a los procesos digestivos y una gran porción de los mismos pasan por el tubo digestivo para ser eliminada con las heces. La energía que podría haber sido liberada a partir del material fecal es designada como pérdida de energía fecal (EF). La diferencia entre la energía bruta del alimento y la energía bruta contenida en las heces procedentes de una cantidad unitaria de ese alimento, constituye

la llamada energía digestible (ED). En un alimento bien digerido, la energía digestible se aproxima al valor de la energía bruta (Cho, 1987).

En los ensayos se determina la ED aparente, sin embargo este no constituye una verdadera medida de digestibilidad de la dieta debido a que el tubo gastrointestinal es un sitio de excreción de varios productos que terminan en el excremento. Así mismo, las células que revisten el tubo gastrointestinal podrían desechar cantidades considerables de desperdicios celulares; además de microbios sin digerir y subproductos de estos que podrían constituir una gran porción del excrementos en algunas especies (Church et al., 2003).

La utilización de la proteína y su deposición son dependientes de la energía en todos los estados de transporte e interconexión de aminoácidos, síntesis proteica y proteólisis. Por otro lado, los aminoácidos son un combustible celular potencial, especialmente, para el metabolismo renal y hepático, pero también para el músculo esquelético. De esta manera, la adecuada energía no proteica de carbohidratos o grasas es indispensable para asegurar que la cantidad suficiente de aminoácidos dietarios permanezca disponible como sustratos que satisfagan la demanda de aminoácidos y combustibles asociados a la demanda energética. (Lim, 1997).

Smith (1988) afirma que la energía ingerida por el pez es dividida entre muchos procesos que requieren energía. La magnitud de cada fracción depende de la cantidad de energía ingerida y la habilidad del pez para digerir y utilizar aquella energía. Además el mismo autor señala que, en peces la máxima eficiencia ocurre por debajo de la ingesta máxima, conducta diferente a la de los animales terrestres en donde el crecimiento es más eficiente a una máxima ingesta. Si bien los peces no gastan energía para el mantenimiento de su temperatura corporal, las necesidades de energía basal metabólica son afectadas por la temperatura. La producción de calor en ayunas se incrementa desde 2.87 a 10.00 kcal/kg 0.75/día para “carpa común” que crece a temperaturas entre 10°C y 20°C (Kaushik, 1995).

Los requerimientos para crecimiento corporal y deposición de tejido parecen variar entre 3.58 y 4.30 Mcal de ED/kg de ganancia de peso vivo en salmónidos. Expresados en términos dietarios de ED óptimos para promover el máximo crecimiento, los niveles fluctúan entre 4.06 y 4.30 Mcal de ED/kg de dieta seca (Gutiérrez, 1999).

2.5 Gamitana (*Colossoma macropomum*)

2.5.1 Posición taxonómica y distribución geográfica

La gamitana, es una especie de la clase *Omisteichthyes*, subclase *Actinopterygii*, orden *Characiformes*, familia *Characidae* y subfamilia *Serrasalminae*. Es originario de América del Sur, de los ríos Amazonas y Orinoco (Araujo y Gomes, 2005).

Los nombres comunes con los que se le conoce a esta especie varían de acuerdo al país o región de procedencia, así tenemos: “pacu” en Bolivia y Ecuador, “cachama” en Colombia, “cachama negra” en Venezuela, “tambaqui” en Brasil, “blackpacu” en EE.UU. y “gamitana” en Perú. (Araujo y Goulding, 1998)

2.5.2 Descripción de la especie y hábitat

La gamitana es una especie que habita en aguas con temperaturas medias entre 25 -34 °C, además es capaz de resistir bajas concentraciones de oxígeno disuelto en agua (1 mg/Lt) (Almeida et al., 1995). Es una especie tropical, considerada por muchos autores como el segundo pez más importante de escamas de agua dulce de América del Sur, luego del paiche, *Arapaima gigas* (Fishbase, 2010).

La parte dorsal del cuerpo es generalmente negra y la ventral varía de amarilla a verde oliva. La intensidad de las tonalidades es influenciada por la transparencia y el color del agua. En las aguas negras, con grandes cantidades de ácido húmico como el río Negro en Brasil, el pez es muy negro, mientras que en las aguas blancas (turbias) propias del río Amazonas el color es mucho más brillante y el vientre presenta un color amarillo oro intenso. En la naturaleza, esta especie es encontrada preferentemente en aguas de color negra (pH 3,8 – 4,9) y color fangoso (pH 6,2 – 7,2), sin embargo en aguas claras (pH 4,5 – 7,8), la aparición de la especie es nula o pequeña (Aride et al., 2007)

En el estado juvenil o preadulto tiene la forma ovoidal o romboidal y de acuerdo a su desarrollo ontogénico va cambiando gradualmente a una forma más alargada en el

estadio adulto. Ésta especie permanece la mayor parte del tiempo en lagunas y ciénagas, pero los adultos migran de las lagunas al río, donde las hembras desovan en la corriente. Los huevos desovados inmediatamente son fertilizados por los machos que nadan junto a las hembras (Vinatea y Vega, 1995).

2.5.3 Hábitos alimenticios

FONDEPES (2004), reporta que la temperatura óptima para el cultivo de gamitana oscila entre 25 y 30 °C. En ambiente natural, la gamitana se alimenta principalmente de frutos y semillas en el periodo de inundación y desbordamiento de los ríos, mientras que en la época de vaciante y seca, consume principalmente zooplancton, razón por la cual su hábito alimenticio es comúnmente definido como omnívoro oportunista (Honda, 1974). Otros elementos alimenticios como macrofitas, insectos, algas, moluscos y peces también son consumidos por la especie, sin embargo, en menor frecuencia y muchas veces ingeridos simultáneamente con los alimentos principales (Goulding y Carvalho, 1982). Silva et al., (2000), evaluaron la composición nutricional de la dieta natural de la gamitana en función al régimen de lluvias, verificando que durante el periodo de inundación hay menor ingestión proteica y mayor consumo de carbohidratos y fibras en relación a la estación seca, con pequeña variación para energía y lípidos. En el periodo de seca fue encontrada menor ocurrencia de estómagos llenos y mayor cantidad de grasa visceral (encima de 10% del peso corporal), constituyendo una adaptación de la especie en la fase de sequía, cuando hay escases de frutos y semillas y menor disponibilidad del alimento (Goulding y Carvalho, 1982).

La presencia de dientes molariformes y mandíbulas fuertes confieren a la gamitana adaptación para triturar semillas duras (Araujo y Goulding, 1998). Además de eso, justo detrás de la línea principal de dientes de la mandíbula inferior, hay dos dientes cónicos, mientras que en la región pre-maxilar, presenta una segunda línea compuesta por cuatro dientes, adaptaciones que potencializan su capacidad de triturar semillas (Goulding y Carvalho, 1982). La presencia de dientes abajo de aquellos aparentes y que periódicamente se sustituyen permite una adecuada mantención de la estructura dentaria de la especie (Araujo y Goulding, 1998).

Así mismo, los cuatro arcos branquiales de la gamitana son compuestos por numerosos y alargadas branquiespinas, típico de especies zooplanctófagas (Honda, 1974; Goulding y Carvalho, 1982; Araujo-Lima y Goulding, 1998). Otra característica particular de la gamitana es que, posee un gran opérculo que le permite además, un alto flujo de agua a través de las branquias, potencializando la capacidad de la especie de capturar zooplancton (Goulding y Carvalho, 1982)

Honda (1974), Goulding y Carvalho (1982) y Saint- Paul (1986) reportan que los juveniles, por debajo de 4 kilogramos, son omnívoros y prefieren una dieta de zooplancton, frutos, semillas de arroz silvestre *Oryzaperennis*. Los adultos son exclusivamente frugívoros, demostrando una definida preferencia por los frutos de *Hebe brasiliensis* de la Familia *Euphorbiaceae* (Goulding, 1980).

2.6 Fisiología digestiva de la gamitana

La especie presenta un estómago bien definido, alargado y bastante elástico, seguido por sacos pilóricos, en un número de 43 a 75, los cuales auxilian en la digestión de los alimentos (Goulding y Carvalho, 1982). El intestino es relativamente largo en relación al cuerpo del animal, que asciende cerca de 2 a 2,5 veces del largo corporal (Rotta, 2003). De esa forma, el tracto gastrointestinal de la gamitana puede ser morfológicamente dividido en cinco porciones: esófago, estómago, sacos pilóricos e intestino proximal y intestino distal; mostrando diferencias entre ellos en cuanto a la predominancia de enzimas digestivas (amilasa, maltasa, proteasa ácida, tripsina y quimiotripsina); en el que la digestión se concentra principalmente, en los sacos pilóricos y intestino proximal, con la actividad enzimática de la amilasa, maltasa, tripsina y quimiotripsina (Correa et al., 2007).

Así mismo, Dairiki y Araujo Da Silva (2011), observaron que, la gamitana posee un perfil de enzimas para cada sección del tracto gastrointestinal; las lipasas y amilasas, enzimas exógenas, fueron observadas en todo el tracto, pero se detectó que los sacos pilóricos son los principales productores de amilasa. Una gamitana adulta puede tener hasta 75 sacos pilóricos en su tracto gastrointestinal (Araujo y Goulding, 1998).

La morfología y longitud del tracto digestivo están relacionadas con el régimen alimentario del pez, que puede variar ampliamente de una especie a otra en el medio natural y en el curso de la vida de una especie dada. Los peces herbívoros poseen un tubo digestivo relativamente más largo que el de los carnívoros, lo que incrementa el tiempo de acción de las enzimas digestivas. Los peces carnívoros presentan un gran desarrollo de la superficie intestinal, cargada de enzimas proteolíticas, lo cual aumenta el rendimiento digestivo de su relativamente corto intestino. En los peces herbívoros y omnívoros la actividad de las amilasas es predominante mientras que es escasa en los carnívoros (Hofer, 1982).

De Almeida et al., (2006), observaron un alto potencial proteolítico para la gamitana, relacionándolo al hecho de que la especie naturalmente consume cantidades significativas de proteínas de origen vegetal, que presentan digestión más completa en relación a las proteínas de origen animal. Una vez que la actividad proteolítica fue principalmente detectada en el estómago, los autores lo consideraron como el principal sitio responsable de la digestión proteica en la gamitana.

2.6.1 Digestión y absorción de nutrientes

La digestión es la transformación de los constituyentes del alimento (proteínas, carbohidratos y grasas), en subunidades adecuadas a los mecanismos de transporte desde el tracto digestivo hasta el medio interno del animal, esto se realiza por acción de secreciones enzimáticas en el aparato digestivo. Existe una variación en el equipamiento enzimático del pez que puede variar durante la vida de este y en función de los factores del medio y del tipo de alimento que consuman (Moyle y Cech, 2000).

Las enzimas son sustancias que catalizan el desdoblamiento hidrolítico y por lo general tienen carácter proteico y son hidrosolubles. Los peces tienen enzimas para romper proteínas (proteasas) que actúan a nivel del estómago (pepsina) y a nivel del intestino medio y posterior (tripsina, quimiotripsina y aminotripsina). Además también poseen enzimas digestivas para romper carbohidratos (carbohidrasas) y grasas (lipasas), las cuales se producen en el páncreas (Moyle y Cech, 2000). En el estómago se segrega el pepsinógeno y el ácido clorhídrico, en el intestino la enteroquinasa, alfa-amilasa, alfa-glucosidasa; y en el páncreas el tripsinógeno, quimiotripsinógeno, y la alfa-amilasa (Blanco, 1995).

(Bellan, 2009), establece que la variable que influncia fuertemente, tanto la digestión como la absorción de alimentos, es la velocidad de pasaje o tiempo de tránsito del alimento por el tracto digestivo. Así mismo, la absorción de los nutrientes depende del tiempo en que los mismos estén en contacto con el epitelio de absorción; de esta forma la dieta que tiene alta velocidad de pasaje por el tracto digestivo puede resultar en bajo aprovechamiento del alimento, porque permanece tiempo insuficiente para someterse al proceso de digestión y absorción (Shiau y Lin, 1993).

La hidrólisis de las proteínas de los alimentos se inicia en el estómago. Aquí la pepsina, una endopeptidasa secretada como pepsinógeno por las células parietales de la mucosa gástrica, escinde las proteínas en segmentos de menor peso molecular. Estos pasan al duodeno donde se encuentran tres endopeptidasas: tripsina, quimiotripsina y elastasa del jugo pancreático, que los degradan en trozos menores, del tipo polipéptidos. Hasta aquí no se ha producido aminoácidos libres; estos comienzan a aparecer gracias a la acción de dos exopeptidasas que van atacando los péptidos desde sus extremos. La carboxipeptidasa, de origen pancreático, y la aminopeptidasa intestinal. Finalmente quedan tri- y dipéptidos, cuya hidrólisis es catalizada por tripeptidasas del borde en cepillo del intestino. De esta manera, las proteínas de la dieta son degradadas hasta aminoácidos libres, di- y tripéptidos (Brandan y Aispuru, 2015).

Los productos finales de la digestión de proteínas son incorporados a los enterocitos utilizando distintos mecanismos. Un grupo de aminoácidos libres se incorporan por un transporte activo esterespecífico. El proceso es similar al de absorción de la glucosa. Se trata de un cotransporte con Na^+ , dependiente del funcionamiento de la Bomba Na^+/K^+ ATPasa. Este sistema es utilizado por los aminoácidos neutros, aromático, alifáticos, fenilalanina, metionina, aminoácidos ácidos y prolina. Un grupo menor de aminoácidos (básicos y neutros hidrófobos) ingresan a la célula por difusión facilitada (Na^+ independiente). Por otro lado, los di- y tripéptidos son transportados por sistemas propios que dependen del gradiente químico del Na^+ y una vez dentro de la célula son escindidos a aminoácidos libres por peptidasas intracelulares. Los aminoácidos liberados en el citoplasma pasan luego al intersticio y a los capilares sanguíneos por difusión facilitada. Una vez en el torrente sanguíneo portal,

los aminoácidos ramificados son deportados preferentemente al músculo mientras que los no ramificados se dirigen al hígado Brandan y Aispuru, (2015).

Las grasas procedentes de la alimentación son tratadas a nivel del intestino por los fermentos pancreáticos, como la lipasa, y descompuestos en glicerol y ácidos grasos libres, que gracias a la acción de la bilis, atraviesan la barrera intestinal del intestino y son absorbidas, pasando al espacio linfático (Blanco, 1995). El hígado tiene gran importancia en la digestión de las grasas. Este órgano es el que segrega la bilis, que es acumulada en la vesícula biliar y aporta primordialmente las sales biliares, cuya acción principal es la emulsión o disgregación de las grasas, facilitando la acción de la lipasa, que es segregada por el páncreas (Blanco, 1995).

Los carbohidratos son uno de los tres componentes principales de las dietas de peces (Proteínas, lípidos y carbohidratos) siendo el principal componente energético de las dietas juntamente como los lípidos. Sin embargo, el carbohidrato es el nutriente más controvertido dentro de la alimentación de peces, parecería no existir síntomas de deficiencias cuando está ausente en la dieta, por lo que se podría afirmar inadvertidamente que el requisito de este nutriente es nulo (Wilson, 1994). Esta afirmación puede ser entendida a través de que los peces tienen la capacidad de sintetizar glucosa a partir de fuentes que no son carbohidratos, como proteína y lípidos, en un proceso denominado gliconeogénesis, con el fin de mantener los niveles circulantes de glucosa y transferir energía a las neuronas a partir de aminoácidos y triglicéridos (Tacon, 1989).

Cuando se ingiere, los carbohidratos se convierten principalmente en glucosa que es fácilmente absorbido (Hepher, 1988). Sin embargo, estudio realizado con nueve especies de peces, incluido omnívoros, carnívoros y herbívoros, se observó que la tasa de transporte de glucosa vario 200 veces entre las especies, siendo más baja en carnívoros, como la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), media en omnívoros como el bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) y alta en los herbívoros como la carpa capim (*Ctenopharyn godonidella*) (Halver, 1998).

El uso relativo de los carbohidratos por los peces parece estar asociado a la complejidad de su molécula, ya que ciertas especies de peces utilizan tanto azúcares simples como azúcares complejos, mientras otras no utilizan ni siquiera los azúcares simples como fuente de energía. En carpa común, tilapia del nilo, bagre de canal y híbrido de tilapia (*Oreochromis niloticus x O. aureus*) se han observado mayores tasas de crecimiento en peces alimentados con dietas conteniendo almidón que con las dietas conteniendo glucosa pura, en cuanto a los peces carnívoros como salmón y trucha, digerirán mejor los carbohidratos simple (Hepher; citado por Bellan, 2009).

2.7 Requerimientos nutricionales de la gamitana

Los alimentos balanceados y por ende sus insumos deben de contener los nutrientes y las fuentes de energía esenciales para el crecimiento la reproducción y la salud del pez (NRC, 1993). Se deben cubrir las necesidades de energía, proteína, lípidos, vitaminas y minerales, además tomar en cuenta los insumos alimenticios disponibles, su coste y digestibilidad (El sayed y Tashima, 1991). Una dieta bien equilibrada que contenga todos los nutrientes esenciales, no solo da como resultado una producción más elevada sino que promueve la recuperación a enfermedades y ayuda a los peces a superar los efectos de las tensiones debidas a acciones ambientales (Shepherd y Bromage, 1999).

La relación proteína/energía resulta una consideración nutricional fundamental en la producción comercial de la gamitana. La utilización de adecuados niveles de energía digestible, permite el ahorro de proteínas, optimizando el crecimiento. Con deficiente energía, se usará la proteína con fines energéticos, más que para la síntesis de proteína. El exceso de energía, detiene la ingesta antes de consumir suficiente cantidad de proteína, ya que el consumo está determinado, fundamentalmente, por la energía total disponible en la dieta. Además, se pueden obtener bajos índices de crecimiento, o baja rentabilidad económica, cuando se utilizan fórmulas con bajo contenido energético (Cho, 1987).

La proteína es utilizada por el organismo con tres fines fundamentales: mantenimiento, repleción de los tejidos depleccionados y crecimiento o formación de nuevas estructuras proteicas (De la Higuera et al., 1987). Las dietas con niveles

proteicos que excedan los requerimientos del crecimiento suponen un gasto energético de los aminoácidos, que no es deseable, desde el punto de vista de los índices de conversión y rentabilidad de la dieta. En estas circunstancias se incrementa considerablemente el destino gluconeogénico de los aminoácidos, aumentando las actividades de las enzimas implicadas (FAO, 1989).

La cantidad de ingesta de proteínas disminuye a medida del crecimiento de los peces. En larvas, la exigencia está en torno de 42 por ciento y disminuye hasta 20 por ciento cuando el pez alcanza la edad adulta (Araujo y Gomes, 2005). La cantidad de carbohidratos y lípidos ingeridos aumenta cuando el pez es adulto; peces adultos exigen una dieta con 23 KJ/g de alimento seco consumido, mientras que una dieta de peces jóvenes es de apenas 19-20 KJ/g (Araujo y Goulding, 1998). El Cuadro 2 presenta los requerimientos nutricionales para juveniles de gamitana.

Merola y Catelmo (1987) determinaron la exigencia proteica de juveniles de gamitana (peso medio inicial de 30 g) en 30 por ciento. En otro experimento, se determinó la exigencia de 25,01 por ciento de proteína bruta para juveniles de peso semejante (entre 30g y 250g). Macedo (1979) determinó una baja exigencia proteica para juveniles de gamitana de 5g, registrando un valor de 22 por ciento de proteína bruta. Sin embargo, la tasa de crecimiento observada en el estudio de Macedo (1979) fue inferior a las tasas máximas de crecimiento de la gamitana, lo que puede estar subestimada la exigencia proteica de la especie (Eckman, 1987).

CUADRO 2. Requerimientos nutricionales de juveniles de gamitana

Nutriente	%
Proteína ^a	30.00
Extracto etéreo ^b	6-8
Energía (Mcal/ Kg) ^a	3.00
Aminoácidos ^c	
Arginina	2.24
Fenilalannina	1.17
Histidina	0.97
Isoleucina	1.26
Leucina	2.29
Lisina	1.64
Metionina	0.62
Treonina	1.27
Valina	1.19
Cistidina	0.69
Tirosina	1.03
Fe+ Tir	2.20
Triptófano	0.23
Met+Cis	1.31
Ácido graso ω-3 ^d	0.5
Ácido graso ω-6 ^d	0.5
Vitaminas y minerales ^e	
A (UI)	500000
D3 (UI)	100000
E (UI)	5000
Hierro	0.5
Cobre	0.03
Zinc	0.3

^aLafetaet al. (2011), ^bDairiki y Araujo da Silva (2011), ^cGianini (2008), Lall y Anderson (2004) y Arai (1981), ^dNRC (2011) y ^eGonzaleset *al.*, citado por Arrobo (2008)

Gutiérrez et al. (2008) encontraron mejor desempeño para la gamitana (peso promedio inicial: 52,2 g) alimentados con dietas de 25 por ciento de proteína bruta y 2.700 Kcal g⁻¹ de energía digestible calculado. Resultado semejante fue observado en juveniles de gamitana (peso inicial: 37,5 g) alimentados con dietas isoenergéticas conteniendo niveles crecientes de proteína bruta (en proporción constante de 70 por ciento de harina de pescado y 30 por ciento de harina de soya), que presenta aumento en ganancia de peso para el nivel de 25,01 por ciento de proteína (Vidal Jr et al., 1998). En estudios recientes, Santos et al., (2010) determinaron que la exigencia proteica de juveniles de gamitana ($50,3 \pm 0,26$ g) es de 36 por ciento.

Rodríguez (2013), menciona que, existen grandes divergencias entre los resultados obtenidos para las exigencias en proteína y energía de la gamitana. Los diferentes resultados entre los trabajos se debe probablemente a las diferencias como las condiciones experimentales, relación energía: proteína, valor biológico de la fuente proteica, digestibilidad de las fuentes de energía no proteica, genética y edad de los ejemplares (Vidal Jr et al., 1998).

Los lípidos en la gamitana tienen dos funciones principales: como recurso de energía metabólica inmediata y como recurso de ácidos grasos esenciales. En la formulación es conveniente usar valores moderados de grasa, entre 6 y 8 por ciento. Es importante saber que cuando un alimento contiene mucha grasa, durante su almacenamiento se produce rancidez, dañando la calidad del alimento e inclusive exponiendo al pez a problemas de toxicidad. Una buena fuente de lípidos es el aceite de pescado. Sin embargo, en las gamitanas alimentadas con yuca, maíz y otros insumos se ha observado un alto contenido graso (Castagnioli, 1979).

Los carbohidratos es un grupo de sustancias que incluye azúcares, almidones y celulosa, y son la fuente más barata de energía en la dieta; además de contribuir en la conformación física del pellet y su estabilidad en el agua. Los peces herbívoros y omnívoros utilizan mejor los carbohidratos, comparado con los peces carnívoros. En el medio natural, estos peces se alimentan en gran escala de frutos, semillas y hojas de plantas, que están constituidas mayormente de carbohidratos (TCA, 1999).

Las vitaminas son exigidas en pequeñas cantidades por los peces, necesitando muchas veces ser suplementadas en el alimento, y están divididos en dos grupos, de acuerdo con la solubilidad: las liposolubles (A, D, E y K) y las hidrosolubles (B1: tiamina; B2: riboflavina; B5: ácido pantoténico; B6: piridoxina; B9: ácido fólico; B12: cobalamina; niacina; biotina; C: ácido ascórbico; entre otros) (Pezzato et al., 2004).

Las vitaminas liposolubles son almacenadas en el hígado; en la gamitana, se encuentra elevada concentración de vitamina A₁: retinol y A₂: dehidroretinol (Marx y Maia, 1985). Sin embargo las hidrosolubles necesitan ser suplementadas diariamente, pues no son almacenadas (Pezzato et al., 2004). La vitamina C, es esencial para los peces, pues no es sintetizado debido a la ausencia de la enzima L- gulonolactona oxidase, que es necesaria para promover la oxidación del ácido ascórbico (Fracalossi et al., 2001). Chagas y Val (2003), luego de diez semanas de observación, concluyeron que juveniles de gamitana alimentados con la dieta experimental con mayor nivel de inclusión de ácido ascórbico (500 mg Kg⁻¹) presentaron mejor desempeño zootécnico, en comparación con los animales del control (ausencia de vitamina C en la dieta).

Los peces absorben los minerales para su mantenimiento y crecimiento directamente del agua (Calcio, magnesio, sodio, potasio, fierro, cobre y selenio). Muchos de esos macro y micro minerales no son absorbidos en cantidades suficientes y, por tanto, necesitan ser suplementados en la dieta. El hierro es un ejemplo típico de mineral importante para la formación de hemoglobina, mioglobina, ferritina, entre otros, por eso necesita ser adicionado al alimento de la gamitana (Aride et al., 2010).

2.7.1 Alimentación de la gamitana

La alimentación representa alrededor del 50 a 70 por ciento de los costos de producción acuícola (Vidal et al., 2004). Por lo cual el adecuado manejo de la alimentación es vital para el éxito del cultivo de la gamitana. Para garantizar el éxito del cultivo, se debe manejar un plan de alimentación acorde a sus necesidades nutricionales. Así mismo, el sabor del animal depende de la alimentación suministrada, ya que la subalimentación hace que el animal busque alimento del fondo y su carne adquiera sabor desagradable (FONDEPES, 2004).

El beneficio económico de la acuicultura intensiva y semi-intensiva se encuentra íntimamente relacionado al abasto y al costo del alimento proteico (Lovell y Smitherman, 1993). La producción intensiva implica la provisión de alimentos balanceados, que aportan una dieta completa (adecuados niveles de proteína, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales), que ha sido elaborada, basándose en harina de pescado, torta de soya, maíz, subproducto de trigo, premezcla de vitaminas y minerales, etc., logrando así obtener un mejor comportamiento productivo.

El éxito de la alimentación, se basa en una dieta completa a partir del uso de alimentos peletizados semihúmedos o secos, depende de varios factores importantes: las características nutricionales de la dieta formulada, los procesos de manufactura usados para producir las raciones alimenticias, las características físicas de la dieta, el manejo y almacenamiento de las dietas manufacturadas antes de ser usada en la alimentación, el método de alimentación empleado, ya sea a mano o mecanizada, la frecuencia de alimentación, la tasa de alimentación y la calidad de agua del sistema de cultivo, dado por la temperatura, el oxígeno disuelto, la concentración de minerales, amonio, la salinidad y turbidez (FAO, 1989).

a) Sistemas de crianza

La gamitana puede ser criada en diversos sistemas de producción, cada cual con sus particularidades, rentabilidades y finalidades, desde las formas más simples, como el policultivo con otra especie, como el jaraqui (*Semaprochilodus insignis*), y el aprovechamiento de productos agrícolas y forestales como alimento complementario (Guimaraes y Stortifilho, 2004); y el policultivo más completo, realizado con más de una especie, como en conjunto con la carpa capim (*Ctenoharyngodon idella*), y curimbatá (*Prochilodus marggravii*) (Hancz, 1993), después la producción intensiva en estanques excavados (principalmente), presas y jaulas, siendo la utilización de raciones completas y balanceadas esenciales para el éxito de la crianza (Dairiki y Da Silva, 2011).

b) Tasa de alimentación

Es la cantidad de alimento a suministrar en un estanque en base al porcentaje de la biomasa o peso total existente en dicho estanque. Se debe tener en cuenta la temperatura

del agua, el estadio del pez (talla y peso), el número de peces y la conversión alimenticia (FAO, 1989). El cálculo de la tasa de alimentación se obtiene de la división entre la cantidad de alimento consumido y la biomasa, multiplicado por 100. Generalmente, durante la pre-cría, cuando esta práctica se realiza, es de 5 al 7 por ciento, aunque, es común el suministro “ad libitum” es decir, se administra de acuerdo a lo que consumen. En la fase de engorde, se considera que el 3 por ciento es una tasa apropiada. Al final del cultivo, de acuerdo al tiempo considerado, se suele bajar la tasa a niveles del 1.5 al 2 por ciento (FONDEPES, 2004).

c) Frecuencia de alimentación

La frecuencia de alimentación se refiere al número de veces por día que se debe suministrar alimento a los peces. Normalmente, se divide, la cantidad de alimento calculado para cada día en varias raciones. La frecuencia de alimentación varía con el tamaño del pez, esta disminuye al aumentar el peso del pez. La alimentación de tres a cuatro veces es común en alevines, pero esta disminuye de dos a una en la fase de engorde (Lim y Webster, 2006).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar y duración de la fase experimental

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación en Peces y Crustáceos (LINAPC) del departamento Académico de Nutrición, de la Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina. La elaboración del alimento balanceado se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos. El análisis químico proximal de las dietas y heces se realizó en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA). La determinación del óxido de crómico, se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) del Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía, Universidad Agraria La Molina. La duración de la fase experimental fue de 30 días, del 29 de abril al 26 de mayo del 2013.

3.2 Instalaciones y equipos

El LINAPC cuenta con dos acuarios de adaptación, 18 acuarios para prueba de crecimiento y nueve acuarios para pruebas de digestibilidad (Anexo II). Se utilizó seis acuarios de digestibilidad tipo *Guelph* de fibra de vidrio con una capacidad de 55 litros, de color blanco, liso por dentro y afuera, con base en plano inclinado para realizar la colección de heces y frontis de vidrio de 6 mm incorporado de 43cm. x 55cm. El anexo I muestra más detalles del sistema de recirculación del LINAPC. Estas instalaciones permitieron que la calidad del agua permaneciera estable, con las siguientes condiciones: oxígeno disuelto 5-6mg/Lt, el pH entre 7-8, temperatura 26-27°C y amonio menor a 1 ppm.

Se utilizó placas petri para colocar las heces colectadas, mallas metálicas de 100 um y cucharitas para coleccionar las heces, balanza con 0.005 g de precisión para pesar las heces y el alimento, estufa para secar las heces y refrigerador para almacenarlas y conservarlas.

Además se utilizaron instrumentos para medir la calidad del agua, midiéndose temperatura, oxígeno disuelto, dureza, pH y nitrógeno (amonio, amoniaco y nitrito). Las mediciones tomadas durante la parte experimental se muestran en el Anexo III.

3.3 Animales experimentales

Se utilizaron 18 gamitanas (*Colossoma macropomum*), que fueron adquiridos del Centro de Producción e Investigación Piscícola (CINPIS) perteneciente a la Facultad de Pesquería de la Universidad Agraria La Molina, con un peso promedio de 258 g. La biomasa final de cada acuario del experimento se presenta en el Anexo V. Los peces fueron recepcionados en dos acuarios de adaptación con una capacidad de 120 litros donde permanecieron por cuatro días y fueron alimentadas con alimento para tilapia. Luego distribuidos aleatoriamente en seis acuarios de digestibilidad, tres peces por acuario (Anexo IV).

3.4 Ingrediente evaluado

La torta de soya, es un subproducto obtenido a partir del proceso de extracción de aceite de la semilla de soya por el método de extracción por solvente (hexano).

El análisis químico proximal de la torta de soya en base fresca contiene las siguientes cantidades porcentuales de 88.3 de materia seca, 48.5 proteína, 1.7 de extracto etéreo, 37.91 ELN, 3.38 fibra cruda y 8.51 ceniza (LENA, 2013).

3.5 Análisis químicos

El ingrediente evaluado, las dietas experimentales y las heces colectadas, fueron sometidos al Análisis Químico Proximal y a la medición de la energía bruta mediante bomba calorimétrica, utilizando las normas establecidas por la A.O.A.C. (1995).

Materia seca: Estufa a 105 °C por 24 horas

Proteína cruda: Método semi microkjeldhal

Extracto Etéreo: Extractor de grasa de Soxhlet

Ceniza: Mufla a 600°C por 24 horas

Fibra cruda: Doble digestión ácida y alcalina

ELN: Por diferencia

Además se enviaron las muestras de heces y las dietas experimentales al laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) del departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNALM para determinar las concentraciones de óxido de cromo.

3.6 Procedimiento experimental

Para determinar los coeficientes de digestibilidad aparente de la materia seca, proteína, extracto etéreo y extracto libre de nitrógeno (ELN) así como la energía digestible se utilizó el método de digestibilidad indirecta usando el marcador inerte óxido de cromo. Para ello se trabajó en una etapa de adaptación a la dieta en los acuarios de digestibilidad durante tres días, sin colección de heces, y a partir del cuarto día se inició la colección. El experimento se realizó en base a una modificación del método propuesto por Cho y Slinger (1979) quienes indican que se debe usar peces juveniles, además indican la forma del suministro de alimento y el método para coleccionar las heces. Cada acuario representa una repetición, por lo que se tuvo tres repeticiones por cada dieta suministrada.

3.6.1 Dietas experimentales

Se preparó dos dietas que se detallan a continuación:

- Tratamiento 1: Dieta referencial o dieta control
- Tratamiento 2: Dieta prueba o dieta experimental

Las dietas de los tratamientos experimentales se prepararon basándose en sus requerimientos nutricionales de la gamitana. El Cuadro 3 muestra la fórmula de la dieta referencial, dieta prueba y su valor nutritivo calculado, y en el Cuadro 4 la fórmula de la premezcla de vitaminas, minerales y aditivos.

CUADRO 3.Fórmula de la dieta referencial, dieta prueba y su valor nutritivo calculado

Ingredientes	Dieta referencial	Dieta prueba
Torta soya, 47	9.95	6.95
Maiz	37.81	26.41
Harinilla de trigo	20.36	14.22
Hna.pescado prime,67	30.85	21.55
Fosfato dicalcico	0.02	0.01
Inhibidor H.	0.20	0.14
Cl.Colina,60	0.20	0.14
Premezcla acuacultura	0.10	0.07
Antioxidante	0.02	0.01
Cr2O3	0.50	0.50
Ingred.Prueba (T.soya)	0.00	30.00
TOTAL	100.00	100.00
Contenido nutricional estimado (%)		
Materia seca	88.93	88.53
Proteína	31.84	35.95
Fibra	2.65	1.55
Grasa	6.55	7.20
ED. (Mcal/kg)	3.23	3.21
Lisina	2.12	2.50
Metionina	0.81	0.96
Cistina	0.41	0.36
Arginina	1.94	2.18
Isoleucina	1.46	1.68
Leucina	2.58	2.99
Fenilalan.	2.76	1.65
Triptófano	0.36	0.41
Valina	1.66	1.91
Met.+cist.	1.21	1.38
Fen.+tir.	2.51	2.90
AC.Graso $\omega - 3$	1.24	1.56
AC.Graso $\omega - 6$	0.86	1.07
Fosf.total	1.00	1.17
Calcio	1.22	1.50

CUADRO 4. Fórmula de la premezcla de vitaminas y minerales

Nutriente	Cantidad	Unidad
Vitamina A	4666.67	UI
Vitamina D3	666.67	UI
Vitamina E	46.67	UI
Tiamina	6.00	Mg
Riboflavina (B2)	6.67	Mg
Niacina	50.00	Mg
Ácido Pantoténico	16.67	Mg
Piridoxina (B6)	5.00	Mg
Biotina	0.27	Mg
Ácido fólico	1.33	Mg
Ácido ascórbico	200.00	Mg
Vitamina B12	0.01	Mg
Cloruro de colina	200.00	Mg
Manganeso	13.33	Mg
Hierro	6.67	Mg
Zinc	6.67	Mg
Cobre	0.50	Mg
Yodo	0.50	Mg
Selenio	0.10	Mg
Cobalto	0.50	Mg
B.H.T	40.00	Mg
Excipientes c.s.p	1000.00	Mg

*Composición por 1 Kg. de premezcla

Fuente: DMS NutritionalProducts Perú S.A. (2011)

En la preparación de la dieta comercial se utilizaron ingredientes tales como maíz, harina de pescado, harinilla de trigo, torta de soya, carbonato de calcio, premezcla de vitaminas y minerales. El óxido de cromo (Cr_2O_3) fue usado como un indicador inerte a una concentración de 0.5 por ciento. Cada dieta fue suministrada a tres acuarios, por los que se utilizaron un total de seis acuarios de digestibilidad. Las dietas experimentales se prepararon en la Planta de Alimentos Balanceados de la UNALM y luego se peletizaron utilizando una peletizadora Buhler obteniendo un pellet 3.5 mm de diámetro y 6mm de longitud.

3.6.2 Suministro de alimento

Los peces recibieron dos raciones diarias, ofrecidos a las 8:30 am y 5:00 pm, en cada acuario se alimentó pellet a pellet, con el fin de asegurar que todo el alimento ofrecido sea ingerido por los peces y hasta alcanzar el punto de saciedad de los peces. La cantidad de alimento brindado se fue ajustando en el tiempo, aumentando conforme al crecimiento de los peces.

3.6.3 Colección y manejo de las heces

Al inicio del ensayo los peces fueron alimentados con la dieta referencial y de prueba durante tres días sin realizar la colección de las heces. A partir del cuarto día, una hora después de la última alimentación cada acuario de digestibilidad fue limpiado a fin de eliminar del sistema los residuos de alimentos y heces. Se retiró un tercio del agua de los acuarios para asegurar que el proceso de limpieza sea completo. A las 8:00 am y 5:00 pm del día siguiente, las heces sedimentadas fueron cuidadosamente extraídas del sistema de colección de heces y pasadas a través de una malla de 100 μm para luego ser colocadas en placas petri, eliminando las escamas que se pudieran encontrar, posteriormente fueron secadas a estufa a 65°C por seis horas, para reducir la humedad e inmediatamente almacenadas y refrigeradas a una temperatura de -10 °C para su análisis posterior. Luego con la ayuda de un mortero se pulverizaron y eliminaron las escamas y otros cuerpos extraños. Estas heces libres de contaminación se consideran una muestra representativa de las producidas a lo largo de un periodo de ocho horas. Este procedimiento se repitió durante 30 días, consiguiendo aproximadamente 12 gramos de heces secas por cada acuario de digestibilidad para realizar los análisis de laboratorio.

3.6.4 Determinación de los coeficientes de digestibilidad

Las estimaciones del porcentaje de digestibilidad aparente se realizó sobre la base de la cantidad de heces en cada una de las réplicas colectadas durante 30 días.

Los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) para cada nutriente (materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno) y para la energía bruta en las dietas ingeridas, fueron determinados utilizando las ecuaciones descritas por Bureau y Cho (1999) y son las siguientes:

$$CDA(d) = 100 - \left[100 \left(\frac{\%Cr2O3 d}{\%Cr2O3 h} \right) \times \left(\frac{\%Nh}{\%Nd} \right) \right]$$

Dónde:

$CDA_{(d)}$ = coeficiente de digestibilidad aparente del nutriente en la dieta prueba y referencia

Cr_2O_3d = % de óxido de cromo en la dieta prueba y referencia

Cr_2O_3h = % de óxido de cromo en las heces de la dieta prueba y referencia

% Nd = porcentaje del nutriente en la dieta prueba y referencia

% Nh = porcentaje del nutriente en las heces de la dieta prueba y referencia

$$CDA(i) = \frac{CDA(dp) - b * CDA(dr)}{a}$$

Dónde:

$CDA(i)$ = 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 de la dieta prueba

b = porcentaje de la dieta referencial

3.6.5 Cálculo de la energía digestible

La energía digestible se determinó hallando previamente la energía bruta mediante bomba calorimétrica; posteriormente se multiplicó la energía bruta obtenida por el coeficiente de digestibilidad aparente de la energía, previamente calculado con las formulas descritas anteriormente.

Los valores de energía digestible (ED) y proteína digestible (PD) fueron obtenidos mediante las siguientes fórmulas:

$$ED = CDA_{(i)} \times EB/100$$

$$PD = CDA_{(i)} \times PB/100$$

En que:

ED = Energía digestible de la dieta ingerida o de la torta de soya

EB = Energía bruta de la dieta ingerida o la torta de soya (determinada por bomba calorimétrica)

CDA_(i) = Coeficiente de digestibilidad aparente del ingrediente (torta de soya)

3.7 Evaluación de la calidad del agua

El agua utilizada para alimentar el sistema de recirculación provenía de la red de agua potable pública del Distrito de La Molina.

3.7.1 Temperatura

Se utilizaron termómetros electrónicos de la marca *Sper Scientific*, 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 20 – 70 °C, con 0.1°C de precisión. Se registró la temperatura a las 8:00 am, 12 m y 4:00 pm de tres acuarios al azar, dos veces por semana. La temperatura fue mantenida a 27° C.

3.7.2 Oxígeno disuelto

Se utilizó un monitor de oxigeno de la marca *Pin Point II*, el cual puede mostrar una lectura digital para el oxígeno disuelto. Su rango de medición es de 0.0 – 20.0

mg/L. La medición se realizó en todos los acuarios, dos veces por semana, en las mañanas (10:00 am) y tarde (5:00 pm).

3.7.3 pH

La medida del pH se realizó con un medidor de pH, marca *Oaklon*, con rango de medición de 1.0 – 15.0 pH, con 0.1 de precisión. La medición se realizó en todos los acuarios, dos veces por semana, en las mañanas (9:00 am) y tarde (4:00 pm).

3.7.4 Dureza

Se utilizó el kit colorimétrico de dureza marca *La Motte*, 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 (CaCO_3). La medición de la dureza se registró dos veces por semana, a las 10:00 am y 4:00pm, la muestra fue tomada directamente del tanque sumidero.

3.7.5 Amonio y amoniaco

Ambos parámetros fueron medidos mediante el kit colorimétrico de la marca *Sera*. El rango de medición para el amonio es de 0.5 – 10.0 mg/L. El amoniaco se halló indirectamente, tomando como referencia el contenido de amonio y el pH, siendo el rango de medición de 0.003 – 3.6mg/L. La muestra fue tomada directamente del tanque sumidero dos veces por semana.

3.7.6 Nitrito

Fue medido mediante el kit colorimétrico de tres reactivos de la marca *Sera*. El rango de medición es de 0.0 – 400.0 mg/L. La muestra fue tomada directamente del tanque sumidero, dos veces por semana.

3.8 Parámetros estadísticos

Se utilizó la estadística descriptiva, empleando valores como promedio, desviación estándar y coeficiente de variabilidad (Calzada, 1982).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Calidad de agua

Los parámetros de calidad de agua como temperatura, oxígeno disuelto, Ph, (Anexo III), no afectaron ninguno de los parámetros evaluados. La temperatura del agua en los acuarios durante toda la fase experimental presentó un promedio de 28.0 °C, estando de los rangos recomendados para crianza de gamitana, pues FONDEPES (2004), menciona que la temperatura favorable para el cultivo de gamitana fluctúa entre 25 - 34 °C. Para el potencial de hidrógeno (pH) el valor promedio que se obtuvo en el agua de los acuarios fue de 7.5, estando dentro de los rangos permitidos por (Aride et al., 2007), quienes recomiendan rangos entre 4.5 – 7.8. En el caso del oxígeno disuelto en el agua, el promedio final que se encontró en el agua de los acuarios fue de 6.7 mg/L, nivel que se encuentra dentro del rango permitido por Popma y Loshin (1996), quienes recomiendan un mínimo de 3.0 mg/L.

4.2 Coeficiente de digestibilidad aparente de la torta de soya

La digestibilidad de la materia seca de la torta de soya se presenta en el Cuadro 5 y el Anexo X. Este resultado es similar a la digestibilidad de la materia seca de la torta de soya determinado por Vásquez et al., (2013), quien obtuvo un valor de digestibilidad de $62,5 \pm 0.6$ por ciento en paco. Así mismo, es inferior a la digestibilidad de la materia seca de la torta de soya en tilapia, reportado por Pezzato et al., (2002) y Vásquez et al., (2010), quienes reportaron una digestibilidad de 71.0 ± 0.2 y 90.7 ± 0.1 por ciento respectivamente. Por el contrario, es superior a la digestibilidad de la soya integral determinado por Vásquez et al., (2013), quien obtuvo un valor de digestibilidad de 44.2 ± 1.8 por ciento en paco. Así mismo, es inferior a la digestibilidad de la harina de pescado, determinado por Vásquez et al., (2013) en paco y Gutiérrez et al., (2008) en gamitana; quienes reportaron una digestibilidad de la materia seca de 76.2 ± 1.1 y 88.06 ± 0.83 por ciento respectivamente.

CUADRO5. Contenido nutricional de la digestibilidad de la torta de soya (En base fresca).

Contenido nutricional (%) y EB	
Materia seca	88.3
Proteína cruda	48.5
Extracto libre de nitrógeno	26.21
Extracto etéreo	1.7
Fibra cruda	3.38
Ceniza	8.51
Energía Bruta (Mcal/kg)	4.41134
Coef. de digestibilidad aparente (%)	
Materia seca	61.16±1.98
Proteína	82.76±0.79
Extracto libre de nitrógeno	36.91±2.61
Extracto etéreo	72.42±1.52
Ceniza	36.44±5.26
Energía Bruta	67.31±1.68
Nutrientes digestibles	
Materia seca(g MS)	54
Proteína cruda (g PB)	40.14
Extracto libre de nitrógeno (g ELN)	9.67
Extracto etéreo (g EE)	1.23
Ceniza (g Cz)	3.1
Energía Digestible (Mcal/Kg)	2.969

Además, es superior a la digestibilidad de la torta de sachu inchi cruda e inferior a la torta de sachu inchi extruida, determinado por Camacho (2013) y Canales (2013), quienes obtuvieron un valor de digestibilidad de 54.06 ± 0.1 y 68.92 ± 0.3 por ciento respectivamente, en gamitana.

Por otro lado, el resultado obtenido es superior a la digestibilidad de los ingredientes energéticos como germen de maíz, torta de palmiste, harina de trigo de tercera, harina de trigo duro (granillo), harina de arroz, mezcla forrajera de maíz y maíz amarillo americano, determinado por Vásquez et al., (2013), quienes hallaron una digestibilidad de la materia seca de 55.3 ± 3.8 , 57.5 ± 2.3 , 48.5 ± 0.3 , 53.5 ± 3.3 , 59.8 ± 1.1 , 32.2 ± 1.8 y 59.9 ± 0.1 por ciento respectivamente en paco.

La digestibilidad de la proteína de la torta de soya se muestra en el cuadro 5 y el Anexo X. Este resultado es similar a la digestibilidad proteica de la torta de soya determinado por Gutiérrez y Vásquez (2008), quienes reportaron un valor de digestibilidad proteica de 83.2 ± 1.6 por ciento en juveniles de paco; sin embargo, es ampliamente inferior al reportado por Vásquez et al. (2013), quienes también trabajaron con juveniles de paco y reportaron una digestibilidad de 92.1 ± 0.7 por ciento. Así mismo, es ampliamente inferior a la digestibilidad proteica de la torta de soya en tilapia, determinado por Pezzato et al., (2002) y Vásquez et al., (2010), quienes determinaron una digestibilidad de 91.6 ± 0.3 y 92.4 ± 0.5 por ciento respectivamente.

Se encontró un valor similar en la soya integral tostada, determinada por Gutiérrez y Vásquez (2008), quienes mencionan una digestibilidad proteica de 81.1 ± 0.5 por ciento en juveniles de paco. Así mismo, el resultado obtenido es superior a la digestibilidad proteica de la soya integral cruda, determinado por Gutiérrez y Vásquez (2008), quienes reportaron un valor de digestibilidad proteica de 75.6 ± 3.7 por ciento con juveniles de paco. Sin embargo, es inferior a la digestibilidad de la soya integral, determinado por Vásquez et al. (2010), quien reportó una digestibilidad proteica de 91.9 ± 0.5 por ciento en tilapia. También es inferior a la digestibilidad de la soya integral, determinado por Vásquez et al., (2013), quien reportó un valor de digestibilidad proteica de 84.8 ± 1.4 por ciento en juveniles de paco. También es inferior a la digestibilidad de la harina de pescado, determinado por Gutiérrez et al., (2008), quien halló un valor de digestibilidad de 87.08 ± 1.34 por ciento en gamitana. Además, también es inferior a la

digestibilidad de la torta de sachu inchi cruda y torta de sachu inchi extruida, determinado por Camacho (2013) y Canales (2013), quienes obtuvieron un valor de digestibilidad proteica de 86 ± 0.43 y 87.5 ± 2.62 por ciento respectivamente en gamitana.

Por otro lado, el resultado obtenido es superior a la digestibilidad de los ingredientes energéticos como maíz amarillo americano, mezcla forrajera de maíz, harina de arroz y harina de trigo de tercera, determinado por Vásquez et al., (2013), quienes reportaron un valor de digestibilidad proteica de 75.46 ± 1.53 , 69.0 ± 1.0 , 74.6 ± 1.2 , 75.0 ± 3.6 y 57.6 ± 7.9 por ciento respectivamente en juveniles de paco. De igual manera, Gutiérrez et al., (2008), quien trabajo con maíz amarillo duro determinó una digestibilidad proteica de 75.46 ± 1.53 por ciento en gamitana.

La digestibilidad del extracto libre de nitrógeno (ELN) de la torta de soya se muestra en el Cuadro 5 del Anexo X. Este resultado supera ampliamente a la torta de sachu inchi cruda determinado por Camacho (2015) quien hallo una digestibilidad del ELN de 10.18 ± 0.88 por ciento en gamitana. Sin embargo, el resultado obtenido es inferior al hallado en torta de sachu inchi extruido, determinado por Canales (2013), quien obtuvo una digestibilidad del ELN de $42,28\pm 2.44$ por ciento en gamitana.

La digestibilidad de los lípidos de la torta de soya se muestra en el Cuadro 5 y el Anexo X. Este resultado es inferior a la digestibilidad de lípidos de la torta de soya, determinado por Pezzato et al., (2002), quien obtuvo una digestibilidad lipídica de 82.67 ± 0.12 por ciento en tilapia. También es inferior a la digestibilidad de lípidos de la torta de soya, determinado por Cho et al., (1982), quien obtuvo una digestibilidad de 94.0 ± 0.42 por ciento en trucha arco iris. También es inferior a la digestibilidad de la harina de algodón, determinado por Pezzato et al., (2002), quien obtuvo un valor de digestibilidad de 99.39 ± 0.2 por ciento en tilapia. Así mismo, también es inferior a la digestibilidad de lípidos de la harina de pescado peruano en gamitana, reportado por Gutiérrez et al., (2008), quien obtuvo un valor de digestibilidad de 85.87 ± 2.7 por ciento. Además, es inferior a la digestibilidad de lípidos de la torta de sachu inchi cruda y torta de sachu inchi extruida, determinado por Camacho (2013) y Canales (2013), quienes determinaron una digestibilidad lipídica de 90.61 ± 1.3 y 93.88 ± 0.1 por ciento respectivamente, en gamitana.

Por otro lado, el resultado obtenido es superior a la digestibilidad de los ingredientes energéticos como maíz, harina de trigo y harina de arroz, determinado por Pezzato et al., (2002), quienes determinaron una digestibilidad lipídica de 69.02 ± 0.1 , 67.37 ± 0.1 y 57.47 ± 0.2 por ciento respectivamente en tilapia. De igual manera, Gutiérrez et al., (2008), quien trabajo con maíz amarillo duro, determino una digestibilidad lipídica de 76.17 ± 2.4 por ciento en gamitana.

El coeficiente de digestibilidad de la Energía Bruta (EB) de la torta de soya se muestra en el Cuadro 5 del Anexo X. Este resultado es superior a la digestibilidad de la EB de los hallados en torta de soya, soya integral cruda y soya integral tostada, determinados por Gutiérrez y Vásquez (2008), quienes indican una digestibilidad de la Energía bruta de 59.9 ± 2.9 , 65.7 ± 7.5 y 59.1 ± 4.9 , por ciento, respectivamente en paco. Sin embargo, es inferior a la digestibilidad de la harina de pescado peruano, determinado por Gutiérrez et al., (2008), quien halló una digestibilidad de la energía bruta de 87.29 ± 1.57 por ciento en gamitana. Así mismo, es inferior a la digestibilidad de la torta de sachá inchi extruido, determinado por Canales (2013) y superior a la torta de sachá inchi crudo, determinado por Camacho (2013), quienes hallaron una digestibilidad de la EB de 76.38 ± 0.9 y 59.64 ± 0.0 por ciento respectivamente en gamitana. Además, es inferior a la digestibilidad del maíz amarillo duro, determinado por Gutiérrez et al., (2008), quienes hallaron una digestibilidad de la energía bruta de 75.04 ± 1.8 por ciento en gamitana.

4.3 Energía digestible

La energía digestible (ED) de la torta de soya se muestra en el Cuadro 5 y el Anexo XI. Este resultado es similar a la ED de la torta de soya determinado por Vásquez et al., (2013), quien obtuvo un valor de 2.962 Mcal/kg (en base fresca) en paco. Es superior a la ED de la torta de soya reportado por Pezzato et al., (2002), quien halló un valor de 2.714 Mcal/kg (en base fresca) en tilapia. Supera a la ED de la harina de algodón determinado por Pezzato et al., (2002), quien halló un valor de 1.877 Mcal/kg (en base fresca) en tilapia. Sin embargo, es inferior a la ED de la harina de pescado determinado por Vásquez et al., (2013), quien obtuvo un valor de 3.337 Mcal/kg (en base fresca) en paco. También es inferior a los hallados en torta de sachá inchi cruda y torta de sachá inchi extruida, determinado por Camacho(2013) y Canales

(2013), quienes determinaron una ED de 3.084 y 3.710 Mcal/kg (en base fresca) respectivamente en gamitana.

Por otro lado el resultado obtenido es superior a la digestibilidad de ingredientes energéticos como harina de trigo tercera, harina de trigo duro (granillo), harina de arroz, mezcla forrajera de maíz y maíz amarillo americano, determinado por Vásquez et al., 2013, quienes determinaron una ED de 1.233, 2.140, 2.549, 1.890 y 1.886 Mcal/kg (en base fresca) respectivamente en paco.

El valor de la ED de la torta de soya es superior a los ingredientes antes mencionados a excepción de la harina de pescado y la torta de sachá inchi cruda y extruida. Así mismo, el alto valor de ED en la torta de soya puede deberse a que la gamitana obtiene energía principalmente de la fuente proteica y lipídica. En los resultados, estos nutrientes mostraron una alta digestibilidad en la torta de soya. Además, en el análisis químico proximal, la torta de soya presentó un alto contenido de lípidos (37.91 por ciento) y bajo contenido de fibra cruda (3.38 por ciento). Gutiérrez et al., (2008) establece que la oxidación lipídica rinde aproximadamente dos veces más energía que la oxidación de carbohidratos y proteínas, que éste se ve favorecido un bajo nivel de fibra cruda (material no digestible). Sin embargo, la dieta natural de la gamitana está constituida básicamente por alimentos de origen vegetal, lo que supone que esta especie utiliza eficientemente los carbohidratos solubles como fuente de energía.

V. CONCLUSIONES

Bajo condiciones en que se desarrolló el presente trabajo de investigación y en función de los resultados obtenidos, puede establecerse las siguientes conclusiones:

1. El coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) obtenida para la torta de la soya en juveniles de gamitana, fueron del 61.16 por ciento para la materia seca, 82.76 por ciento para la proteína, 72.42 por ciento para el extracto etéreo, 36.91 por ciento para el extracto libre de nitrógeno, 36.44 por ciento para la ceniza y de 67.31 por ciento para energía bruta.
2. La Energía Digestible (ED) determinado en la torta de la soya para gamitanas, fue de 2.969 Mcal/kg (en base fresca) y 3.359 Mcal/kg (en base seca).

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar los valores de digestibilidad y energía digestible obtenidos de la torta de soya, en la formulación comercial de alimentos balanceados para juveniles de gamitana.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- **AKIYAMA, DM.** 1992. Utilización de la pasta de soya en los alimentos acuícolas. Asociación Americana de Soya. ASA/MEXICO N°18. 1ª Reimpresión. 20 pp.
- **AKSNES, A; OPSTVEDT, J.** 1998. “Content of digestible energy in fish feed ingredients determined by the ingredient-subtitution method.” *Aquaculture* 161: 45-53.
- **ALMEIDA-VAL, VMF; VAL, AL.**1995. Adaptação de peixes aos ambientes de criação. Honczaryk, A. Ed. Criando peixes na Amazônia. Manaus: INPA. 45 -49 p.
- **ARAI, S.** 1981. A purified test diet for coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*, fry. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 47: 547-550.
- **ARAUJO, C; GOMES, LC.** 2005. Tambaqui (*Colossoma macropomum*). Espécies nativas para piscicultura no Brasil. Santa María. Ed. Da UFSM (8): 175-202
- _____; **GOULDING, M.** 1997. So fruit a fish: ecology, conservation, and aquaculture of the amazon’s tambaqui. New York: Columbia University. 191 p.
- _____ . 1998. Os frutos do tambaqui: ecología, conservacao e cultivo na Amazonía. Téfe, AM: Sociedade Civil Mamiraruá; Brasilia. Brasil. 188 p.
- **ARIDE, PHR; ROUBACH, R; VAL, AL.** 2007. Tolerance response of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier) to water pH. *Aquaculture Research*, Oxford, v. 38. 588-594 p.
- **ARROBO, J.** 2008. Evaluación de amaranto (*Amaranthus caudatus*) como alternativa alimenticia en tilapia roja (*Oreochomis* sp.) y cachama (*Colossoma macropomum*) En Santo Domingo De Los Tsáchilas. Tesis para optar el título de ingeniero en ciencias agropecuarias . Escuela Politécnica Del Ejército. Departamento de Ciencias de La Vida

Carrera de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias. Santo Domingo-Ecuador.

- **AU, N; BIDART, J.** 1992. Manual de harina de pescado. Compañía pesquera San Pedro S.A.C.I. Coronel, CHL.56 p.
- **AUSTRENG, E.** 1978. Digestibility of selected trivalent metal oxide as inert markers used to estimate apparent digestibility in salmonids. *Aquaculture*, v. 13, n. 3, 265-272 p.
- **BELLAM, L.** 2009. Digestibilidad de nutrientes, crecimiento e variáveis metabólicas em tilapias do nilo alimentadas comfontes de carbohidratospelizadas, extrusadasoucruas. Tesis doutor Aquicultura. Sao Paulo, Brasil. Universidad Estadual Paulista. 6-11 p.
- **BERNARDINI, E.** 1981. Tecnología de aceites y grasas. 1era. – Ed. Española. Ed. Alambra S.A. Madrid – España 498 p.
- **BLANCO, C.** 1995. La trucha: Cría Industrial. Madrid – España. Editorial Mundi Prensa. 475 p.
- **BONDI, AA.** 1989. Nutrición Animal. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España. 546 p.
- **BRANDAN, N; AISPURU, G.**2015. Metabolismo de compuestos nitrogenados. Universidad Nacional del Nordeste (en línea). Consultado 15 abr. 2015. Disponible en: med.unne.edu.ar/sitio/multimedia/imagenes/ckfinder/files/files/Carrera-Medicina/BIOQUIMICA/nitro.pdf
- **BRAUNER, C; VAL, A; ALMEIDA, V.** 2006. The physiology of tropical fishes. Academic Press. New York.US. 21:277-306.
- **BUREAU, D; CHO, C.** 1999. Measuring Digestibility in fish. UG/OMNR Fish Nutrition Research Laboratory Technical Document, University of Guelph, Ontario, Canada.
- **BUXADE, C.** 1994. Zootecnia. Bases de Producción Animal. Tomo II. Reproducción y Alimentación. Ediciones Mundi prensa. Madrid. ES. 344 p.

- **CABALLERO, NF.** 1992. Valor nutricional de la panca de maíz: consumo voluntario y digestibilidad en el cuy (*Cavia porcellus*). Tesis ing. Zoot. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina. 58 p.
- **CAMACHO, R.** 2013. Digestibilidad de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volúbilis Linneo*) y su evaluación productiva en reemplazo de la torta de soya para gamitana (*Colossoma macropomun*). Sin publicar.
- **CAMPOS, J.** 1991. Proyecto de instalación de una planta de aceite vegetal. Tesis Ing. Alim. UJFSC. Huacho, PE.
- **CANALES, A.** 2013. Determinación de la digestibilidad y energía digestible de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volúbilis Linneo*) extruida en gamitana (*Colossoma macropomum*). Sin publicar.
- **CHAGAS, EC; VAL, AL.** 2003. Efeito da vitamina C no ganho de peso e em parâmetros hematológicos de tambaqui. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF. 38 (3): 397-402 p
- _____ . 2006. Ascorbic acid reduces the effects of hipoxia on the Amazon fish tambaqui. Journal of Fish Biology, v. 69: 608-612 p.
- **CHIRINOS, O; ADACHI, L; CALDERÓN, F; DÍAZ, R; LARREA, L; MUCHA, G; ROQUE, L.** 2009. Exportación del Sachá Inchi al mercado del sachá inchi. Ediciones ESAN
- **CHO, C.** 1987. La energía en la nutrición de los peces. En: Nutrición en Acuicultura II Eds. J Espinosa; U Labarta. Industrias gráficas España. Madrid, ES. 147-243 p.
- _____; **COWEY, CB; WATANABE, T.**1985. Finish Nutrition in Asia: Methodological approaches to research and development. IDRC, Ottawa, Ont. (Canadá), 154 pp.

- _____; **SLINGER, S.** 1979. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. Proc. World Review of Nutrition and Dietetics 61 (1): 132 – 172
- _____; **BAYLER, H.** 1982. Bionergetics of salmonid fishes: Energy intake, expenditure and productivity. Comp. Biochem. Physiol. 73B, 25 – 41.
- **CHURCH, D.** 1993. El rumiante, Fisiología digestiva y nutrición. Editorial Acribia. Zaragoza España.
- _____; **POND, W; POND, R.** 2003. Fundamentos en Nutrición y Alimentación de Animales. Versión traducida al español en México. 2da edición. Editorial Grupo Noriega. 451 p.
- **CORREA, CF; AGUILAR, LH; LUNDSTED, TM; MORAES, G.** 2007. Responses of digestive enzymes of tambaqui (*Colossoma macropomum*) to dietary cornstarch changes and metabolic inferences. Comparative Biochemistry and Physiology, Part A, Amsterdam, v. 147. 857- 862 p.
- **CRUZ, CA; HERNÁNDEZ, A; RAMIREZ, T; ÁNGELES, O.** 2011. Los efectos de las dietas con harina de soja en el crecimiento, digestibilidad, excreción de fósforo y nitrógeno de juveniles de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Hidrobiología 21 (2): 273- 281.
- **DA SILVA, G; OLIVA, A.** 1998. “Apparent digestibility coefficients of feedstuffs in seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles”. Aquat. Living Resource, 3: 187-191.
- **DAIRIKI J; ARAÚJO DA SILVA, T.** 2011. Revisao de Literatura: Exigencias nutricionais do Tambaqui. Embrapa Amazonia Occidental, Manaus, BR. 1517-3135.
- **DALE, N.** 1992. Solubilidad de la proteína: indicador del procesado de harina (Pasta) de soja. ASA/ México. A. N. No.89. 12 pp.

- **DE ALMEIDA, LC; LUNDSTEDT, LM; MORAES, G.** 2006. Digestive enzyme responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed on different levels of protein and lipid. *Aquaculture nutrition*, 12: 443-450 p.
- **DE LA HIGUERA, M; YOUNG, C; WATANABE, T.** 1987. *Nutrición en Acuicultura II- CAICYT. Industrias gráficas España. Madrid, ES.*192-198p.
- **DE SILVA, S.; ANDERSON, T.** 1995. *Fish Nutrition in Aquaculture. London.* 319 pp.
- **DEGANI, G; S. VIOLA, Y. YEHUDA.** 1997. Apparent digestibility coefficient of protein sources for carp, *Cyprinus carpio* L. *Aquaculture Research* 28, 23-28.
- **ECKMAN, R.** 1987. Growth and body composition of juvenile *Colossoma macropomum* Cuvier 1818 (Characoidei) feeding on artificial diets. *Aquaculture*, 64: 293-303 p.
- **EL SAYED, AF; TASHIMA, SI.** 1991. Tilapia Nutrition in Aquaculture. *Reviews in Aquatic Sciences* 5(3): 247-265.
- **ESPEJO, C. 2003.** Materias primas de origen vegetal como alternativas para la productividad y sostenibilidad de la acuicultura en Latinoamérica (en línea). Consultado el 4 ago. 2014. Disponible en: <http://www.carlosespejo.com.co>
- **FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations).**1994. Control de calidad de insumos y dietas acuícolas: I Curso Regional de Capacitación del Proyecto GCP/RLA/102/IT. Santiago, CHL.
- _____.1989. *Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados: manual de capacitación del proyecto GC/RLA/102/IT.* Brasilia, BR.
- _____. 2012. *Agronoticias América Latina y el Caribe.* (en línea). Consultado el 15 may. 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/agronoticias/agronoticias/detalle/es/c/146327/>

- **FEDNA** (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal). 2015. Valor nutricional de la Harina de soja 47 % PB (en línea). España. Consultado 23 mar. 2015. Disponible en : www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/harina-de-soja-47-pb
- **FISHBASE**. 2010. *Colossoma macropomum* (Cuvier, 816) (en línea). Consultado 4 jul. 2013. Disponible en : <http://www.fishbase.org/summary/Colossoma-macropomum.html>
- **FLORES, F; VERGARA, V; GÓMEZ, C; GALECIO, F**. 2009. Harina integral de soja en la alimentación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en las fases de crecimiento y acabado. UNALM. La molina, Lima, PE. 1-10 p.
- **FLORES, P; RODRÍGUEZ, M**. 2005. Nutrición Animal, Publicación de la Unidad Docente del área de Nutrición Animal de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria. España (en línea). Consultado el 26 feb. 2014. Disponible en : www.webs.ulpgc.es/nutranim
- **FONDEPES** (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero). PE. 2004. Manual de cultivo de gamitana. (en línea). Consultado 14 mar. 2015. Disponible en: http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/manual_gamitana.pdf
- **FOSTER, IP; DOMINY, W; TACON, AG**. 2002. The use of concentrates and other soy products in shrimp feeds. En: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M.G., Simoes, N. (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México. pp. 527-540.
- **FRACALOSSO, DM; ALLEN, ME; YUYAMA, LK; OFTEDAL, OT**. 2001. Ascorbic acid biosynthesis in Amazonian fishes. *Aquaculture*, v. 192. 321-332 p.
- _____; **RODRIGUES, APO; SILVA, TSC; CYRINO, JEP**. 2012. Técnicas experimentales en nutrição de peixes. *Nutriqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira*. 1ª ed. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática. 37-63 p.

- **FURUKAWA, A; TSUKAHARA, H.** 1996. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 32: 502-506 p.
- **GIANINI, E.** 2008. Digestibilidade e exigencias de aminoácidos para juvenis de pacu, *Piaractus mesopotamicus*. Tesis Phd. Acuicultura. Jabotical, BR. UNESP. 46-48 p.
- _____; **CARNEIRO, DJ.** 2004. Métodos de colecta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração proteica e da energia de alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus*. R. Bras. Zootec. V.33, n.5, p. 1101-1109.
- **GOMES, LC; SILVA, CR.** 2009. Impact of pond management on tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier), ESproduction during growth-out phase. Aquaculture Research, Oxford, v. 40, p. 825-832
- **GONÇALVES, GE; CARNEIRO, DJ.** 2003. Coeficientes de Digestibilidade Aparente da Proteína e Energia de Algunos Ingredientes Utilizados em Dietas para o Pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*)". R. Bras. Zootec. 32, 779-786.
- **GONZALEZ, A; GONZALEZ, E.** 1996. Tasa de consumo de alimento por *Colossoma macropomum* y *Piaractus brachypomus* (Pisces: Characidae) cultivados en jaulas flotantes.Venezuela (en línea). Consultado el 13 feb. 2015. Disponible en: www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/ZootecniaTropical/zt1401/texto/tasa.htm
- **GOULDING, M.** 1980. The fishes and the forest: Explorations in Amazonian Natural History. University of California Pres, Berkeley. 280 p.
- _____; **CARVALHO, ML.** 1982. Life History and management of the tambaqui *Colossoma macropomum*, Characidae: An important Amazonian food fish. Rev. Bras. Zool. 1:107-133.
- **GUILLAUME, J; KAUSHIK, S; BERGOT, P; MÉTAILLER, R.** 2004. Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. Madrid, ES. Editorial Mundi-Prensa 514p.

- **GUIMARAES, SF; STORTI FILHO, A.** 2004. Productos agrícolas e florestais como alimento suplementar de tambaqui em policultivo com jaraqui. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF. 39(3): 293-296 p.
- **GUTIERREZ, F.** 1999. Efecto de diferentes niveles de energía digestible y proteína sobre el comportamiento productivo y la utilización de la energía de “gamitana” (*Colossoma macropomum*). Tesis Mg.Sc. Lima, Perú. UNALM.13-26 p
- _____; **VÁSQUEZ, T.** 2008. Digestibilidad de *Glycine max* L, soya, en juveniles de cachama blanca *Piaractus brachypomus* Cuvier 1818. México (en línea). Consultado el 19 feb.2015. Disponible en : www.redalyc.org/pdf/896/89612202.pdf
- **GUTIÉRREZ, M; YOSSA, M; VÁSQUEZ, W.** 2011. Digestibilidad aparente de materia seca, proteína y energía de harina de vísceras de pollo, quinua y harina de pescado en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). Orinoquia 15 (2).
- **GUTIERREZ, F; ZALDIVAR, J; CONTRERAS, G.** 2008. Coeficientes de digestibilidad aparente de la harina de pescado peruana y maíz amarillo duro para *Colossoma macropomum*(en línea). Consultado el 19 abr. 2015. Disponible en : http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S172799332008000200018&script=sci_arttext
- **HALVER, J.** 1998. Fish nutrition. 2 ed. London: Academic Press. 798 p.
- **HANCZ, C.** 1993. Performance of the Amazonian tambaqui, *Colossoma macropomum*, in pond polyculture. Aquacultural Engineering, v. 12, 245-254 p.
- **HARDY, R.** 1999. Alternate protein sources. Feed Management 50: 25-28 p..
- **HEPHER, B.** 1993. Nutrición de peces comerciales en estanques. Editorial Limusa. Israel. 406 p.
- **HOFER, R.** 1982. Protein digestion and proteolytic activity in the digestive tract of an omnivorous cyprinid. Comp. Biochem. Physiol. 72A: 55-63.

- **HONDA, E.** 1974. Contribucao ao conhecimento da biología de peixes do amazonas II. Alimentacao de tambaqui *Colossoma bidens* (Spix). Acta Amazónica. 4:47-53.
- **INPA** (Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura). 2001. Fundamentos de acuicultura continental. Bogotá, COL. (en línea). Consultado 21 may. 2015. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/21450865/Fundamentos-de-Acuicultura-Continental#scribd>
- **JARA, E.** 2012. Determinación de la Digestibilidad y Energía Digestible de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) extruida en Trucha arco iris. Tesis ing. Zoot. Lima. PE. UNALM. 10 p.
- **JUNK, WJ.** 1984. Ecology, fisheries and fish culture in Amazonian. In: H.Sioli (Editor), The Amazon. Dr. W.Junk Publ., Dordrecht, 763 pp.
- **KAUSHIK, SJF.** 1995. Amino acid requirements, protein and energy utilization in fish. From feed to food. Victam International. Feed and Food Industries Show.
- **LAFETA, J; VERGARA, V; CAMACHO, R.** 2011. Determinación de los requerimientos de proteína y energía en dietas para pacos (*Piaractus brachypomus*). Tesis MgSc. Nutrición. Lima. PE. UNALM.
- **LALL, SP; ANDERSON, S.** 2004. Amino acid nutrition of salmonids: dietary requirements and bioavailability (en línea). Basel, SW. Consultado el 18 nov. 2014. Disponible en <http://ressources.ciheam.org/om/pdf/c63/05600068.pdf>
- **LENA** (Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos). 2013. Análisis químico proximal.
- **LIENER, IE.** 1994. Implications of Antinutritional Components in Soybean Foods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 34:31-67
- **LIM, C.** 1997. Nutrition and feeding of tilapia, en IV Simposium Centroamericano de Acuicultura, cultivo sostenible del camarón y la tilapia. Tegucigalpa, HON 1997.

- _____; **AKIYAMA, DM.** 1991. Full-fat soybean meal utilization by fish. Proceedings of the aquaculture feed processing and Nutrition Workshop. Thailand and Indonesia. September 19-25. Edited by Dean M. Akiyama and Ronnie K.H. Tan. American Soybean Association. 188-198 p.
- _____; **DOMINY, W.** 1991. Utilization of plant proteins by warmwater fish. Proceedings of the aquaculture feed processing and Nutrition Workshop. Thailand and Indonesia. September 19-25. Edited by Dean M. Akiyama and Ronnie K.H. Tan. American Soybean Association. 163-172 p.
- _____; **KLESIUS, PH; DOMINY, W.** 1998. Soybean products. International Aqua Feeds, 3:17-23
- _____; **WEBSTER, CD.** 2006. Tilapia: biology, culture and nutrition (en línea). Bihanton, US. Consultado 24 ago. 2015. Disponible en: <http://books.google.com.pe/books?id=VzWulvXHmY0C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- **LOVELL, R.T.** 1991. Uso de los productos de soya en dietas para especies de acuicultura. Asociación Americana de Soya. ASA/MEXICO No.19. 8 pp.
- _____; **SMITHERMAN, RO.** 1993. Status and Potencial for the Use of Soy in Aquaculture. 14 de abril, 1993.
- **LUCAS, CM. 2008.** Within flood season variation in fruit consumption and seed dispersal by two characin fishes of the Amazon. Bitropica, v.40, 581-589 p.
- **MACEDO, EM.** 1979. Exigência de proteína na nutrição de tambaqui, *colossoma macropomum* Curvier, 1818. (Pisces, *Characidae*). Dissertação de Maestrado. Univesidade de São Paulo. Jabotical. 71p.
- **MANRÍQUEZ, J.** 1993. Esfuerzos desarrollados en Chile para disminuir el impacto ecológico de la alimentación en centros de cultivo de peces. Seminario internacional acuicultura y medio ambiente. Santiago, Chile. 2-3 setiembre de 1993. Fundación Chile. 189 pp.

- _____, 1994. La digestibilidad como criterio de evaluación de alimentos su aplicación en peces y en la conservación del medio ambiente. En Control de calidad de insumos y dietas acuáticas. FAO. MEX. 67-72 p.
- **MARAIS, J. P.** 2000. Farm Animal Metabolism and Nutrition. Ed JPF D’Mello.
- **MARTINEZ, C; RÍOS, M.** 2012. Aspectos de la alimentación de los peces y el uso de microagregados en acuicultura. (en línea). Consultado 28 mar. 2013. Disponible en : http://www.iiap.org.pe/publicaciones/CDs/MEMORIAS_VALIDAS/pdf/Mart%C3%A1Dnez.pdf
- **MARX, F; MAIA, JGS.** 1985 Determination of fat soluble vitamins from Amazonian fresh- wáter fishes. 1. HPLC analysis of tambaqui, pira rucu and cuiu-cuiu livers. Acta Amazonica. Manaus. 15 (1-2): 185-191 p.
- **MAYNARD, L; LOOSLI, J; HINTA; WARNER, R.** 1981. Nutrición Animal. 4ta Edición. México. 680 p.
- **McDONALD, P; EDWARDS, RA; GREENHALGH, JFD; MORGAN, CA.** 2006. Nutrición Animal. 6ta Edición. Editorial Acribia. Zaragoza. ES. 587 p.
- **MENDOZA, R.** 1993. Métodos para evaluar la digestibilidad proteíca de los alimentos destinados a los organismos acuáticos. Memorias del Primer Simposium Internacional de Nutrición y Tecnología de Alimentación para Acuicultura. p. 155-202.
- **MINAGRI** (Ministerio de Agricultura y Riego). 2013. Anuario producción de principales productos agrícolas. Lima, PE. (en línea). Consultado 18 may. 2015. Disponible en: <http://siea.minag.gob.pe/siea/?q=publicaciones/anuarios-estadisticos>

- **MINAGRI**(Ministerio de Agricultura y Riego).2010 Producción de soya periodo: 2001-2009 (en línea). Lima, PE. (en línea) Consultado 18 de may. 2015. Disponible en: <http://agroaldia.minag.gob.pe/sisin/clients/detalle/location:Siembras,Per%C3%BA/domain:Siembras,Soya/subject:Siembras,Produccion/period:Siembras,2001/axis:domain/flat:1/prefix:Siembras/write:1/bc:Inicio,index;Cultivos,cadenas.module:Siembras;Soya,siembrascadenas.Soya>
- **MORILLO, M; OVALLES, JF; VISBAL, T; AGUIRRE, P; RIAL, L.** 2013. Alimentación de alevines de *Colossoma macropomun* con dietas a base de *Erythrina edulis* y Soya. Rev. Venez. Cien.Pec 38(2):121
- **MOYLE, P; CECH, J.** 2000. Fishes. An Introduction to Ichthyology. Fourth Edition. Prentice Hall, Inc. US. 612 p.
- **NELSON, J.** 1994. The fishes of the world. Third Edition. 600 pp.
- **NEWKIRK, R** .2010. Soybean Feed Industry Guide (en linea), CAN. Consultado el 10 nov 2014. Disponible en: <https://cigi.ca/wp-content/uploads/2011/12/2010-Soybean-Feed-Industry-Guide.pdf>
- **NRC** (National Research Council, U.S.).2011. Nutrient Requeriments of fish. (en línea).Consultado 18 may. 2015. Disponible en: <http://www.nap.edu/catalog/13039/nutrient-requirements-of-fish-and-shrimp>
- **OISHI, CA; NWANNA, LC; PEREIRA-FILHO, M.** 2010. Optimum dietary protein requeriment for Amazonian tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818, fed fishmeal fre diets. Acta Amazonica, 40: 757-762 p.
- **ORTEHA, H; GUEVARA, J.** 1981. Estudio bioecológico de las principales especies icticas comerciales de la zona de Pucallpa. Bol. U.N.M.S.M. 15 pp.

- **PARRA, J; GOMÉZ, A.** 2009. Importancia de la utilización de diferentes técnicas de digestibilidad en la nutrición y formulación porcina (en línea). Córdoba, COL. Consultado 2 set. 2015. Disponible en: [file:///C:/Users/User/Desktop/TIPOS%20DE%20DIGESTIBILIDAD%20\(SCIELO\).html](file:///C:/Users/User/Desktop/TIPOS%20DE%20DIGESTIBILIDAD%20(SCIELO).html)
- **PEZZATO, L; CARVALHO, E; BARROS, M; QUINTERO, L; MASSUMITU, W; PEZZATO, A.** 2002. Digestibilidade Aparente de Ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Rev. Bras. Zootec., v.31, n.4. 1595- 1604 p.
- _____; **BARROS, M; FRACALOSI, D; CYRINO, J.** 2004. Nutrição de peixes. Tópicos especiais em piscicultura de agua doce tropical intensiva. São Paulo: TecArt. (5) : 75-170 p.
- **PIEDAD- PASCUAL, F; CRUZ, EM.** 1991. Supplemental feeding of *Peneaus monodon* juveniles with diets containing varios levels of defatted soybean meal. Sumalangcay. A. Jr. Aquaculture. 89.
- **PIEDAD-PASCUAL, F; CATA CUTAN, M.** 1990. Defatted Soybean meal and Leucana leaf morumeal as a protein source in diets for *Penaeus monodon* juveniles. Proc. The Second Asian Fisheries Forum 1991. Asian Fish Soc; Manila Philipines, 345.
- **PIKE, I.H; HARDY, R.W.** 1997. Standards for Assessing Quality of Feed Ingredients. En: D´Abramo, LR., Conklin, D.E. y Akiyama, D,M, (Eds) Crustacen Nutrition 6:473-492
- **POPMA, T; MASSER, M.** 1999. Tilapia, Life History and Biology. Southern Regional Aquaculture Center. Publication N° 283. USA.
- **PRODUCE.** 2012. Perú: cosecha de recursos hidrobiológicos procedentes de la actividad de acuicultura según ámbito y especie 2003-2012. Lima, PE. (en línea) Consultado 9 abr. 2015. Disponible en: <http://www.produce.gob.pe/images/stories/Repositorio/estadistica/anuario/anuario-estadistico-pesca-2012.pdf>

- **RAFI.** 2000. Seed Industry Giants: Who owns whom www.etcgroup.org Actualizado a diciembre del 2000.
- **REINITZ, G; HITZEL, F.**1980. Formulation of practical diets for rainbow trout based on desired performance and body composition. *Aquaculture*, 19: 243-252.
- **RODRIGUES, AP.** 2013. Nutrição e Alimentação do Tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Bol. Inst. Pesca, São Paulo*, 40(1): 135-145 p
- **ROTTA, MA.** 2003. Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes relacionados a piscicultura. Corumbá: Embrapa Pantanal. 48 p.
- **RUIZ, B.** 1990. La soya en la alimentación acuícola. En Memorias del seminario de Extrusión en alimentos balanceados. Guadalajara, Jalisco, México. 6 de diciembre 1990. Asociación Americana de Soya. 49-59 p.
- **SANTOS, L; PEREIRA FILHO, M; SOBREIRA, C; ITUASSÚ, D; FONSECA, FAL.**2010. Exigencia proteica de juvenies de tambaqui (*Colosooma macropomum*) após privação alimentar. *Acta Amazonica, Manaus*. 40 (3): 597-604 p.
- **SHEPERD, J;BROMAGE, N.** 1999. *Piscicultura Intensiva*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, ES. 151-158p.
- **SHIAU, S; LIN, S.**1993. Effect of supplemental dietary chromium and vanadium on the utilization of different carbohydrates in tilapia, *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*. *Aquaculture*. 110: 321 p.
- **SHIPTON, T. A; BRITZ, P.J.** 2001. An assessment of the use of chromic oxide as a marker in protein digestibility studies with Haliotismidae. *L. Aquaculture* 203, 69-83.
- **SILVA, J; PEREIRA, M; OLIVEIRA, M.** 2000. Seasonal variation of nutrients and energy in tambaqui's (*Colossoma macropomum* CUVIER, 1818). *Rev. Bras. Biol.* 60: 599-605

- **SMITH, M.W.**1970. Selective regulation of amino acid transport by intestine of goldfish. *Comp. Biochem. Physiol.*, 35, 387 – 401.
- **SMITH, RR.** 1988. Nutritional energetic. P. 1-29. In: *Fish Nutrition . Second Edition.* Edited By J.E. Halver. Ed. Academic Press, Inc. 788 pp.
- **TACON, A.** 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de capacitación. Brasilia, BRA. (en línea). Consultado 21 may. 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/3/contents/60051bb9-bd0e-5631-b5e1-9b5ec8e51998/AB492S00.htm>
- **TACON, AG; HAASTER, JV; FEATHERSTONE, PB; KETT, K; JACKSON, AJ.** 1983. Studies on the utilization of full-fat soybean and solvent extracted soybean meal in a complete diet for rainbow trout. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 49:1437-1443
- **TCA (Tratado de Cooperación Amazónica).** PE. 1999. *Piscicultura Amazónica con especies nativas* (en línea). Consultado 21 may. 2015. Disponible en : <http://www4.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ciencia/cd/iap/iap1/TEXT003.htm>
- **THIESSEN, D; CAMPBELL, G; ADELIZI, P.** 2003. Digestibilidad y el crecimiento de juveniles de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) alimentados con arvejas y aceite de canola. *Acuicultura Nutrición* 9 (2): 67-75
- **TOBAL, CF.** 1999. Evaluación de los alimentos a través de los diferentes métodos de digestibilidad (en línea). Argentina. Consultado 20 de may. 2015. Disponible en: <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/anuavet/n1999a16tobal.pdf>
- **TRIVEÑO, LM.** 1995. Uso de la soya en acuicultura. Universidad Autónoma de Nuevo León. (en línea). México. Consultado el 19 de feb. 2015. Disponible en: http://www.cina.ucr.ac.cr/recursos/docs/Revista/uso_de_la_soya_en_acuicultura.pdf

- **USDA** (Departamento de Agricultura de Estados Unidos). US. 2015. Soja Producción Mundial 2015/2016. (en línea). Consultado 14 may. 2015. Disponible en: <https://www.produccionmundialsoja.com/default.asp>
- **VAL, A.** 1996. Respiratory aspects of fish of the Amazon. National Institute for Amazon Research INPA. Manaus.69-73 p.
- **VALDÉZ, F.** 2009. Digestibilidad de la harina de cabeza de camaron libre de quitina y afrecho de maíz, en dietas para tilapia roja (*Oreochromis sp*). Tesis Mg. Sc. Recursos naturales y medio ambiente. Guasave, México. Instituto Politécnico Nacional. 56 p
- **VÁSQUEZ, W.** 2001. Fundamentos de acuicultura continental. INPA.
- _____; **YOSSA, MI; GUTIÉRREZ, MC.** 2013. Digestibilidad aparente de ingredientes de origen vegetal y animal en la cachama. Rev. Bras. Pesq.agropec, v.48, n.8, p. 920-927
- **VERGARA, V.** Necesidades nutricionales de truchas y tilapias. Programa de investigación y proyección social en alimentos (en línea). Lima, PE. Consultado 3 de set. 2015. Disponible en: https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCIQFjABahUKEwiCsqTA19vHAhWIIB4KHTrKCsQ&url=http%3A%2F%2Fwww.lamolina.edu.pe%2Ffacultad%2FZootecnia%2FPIPS%2FProg_Alimentos%2Fproyeccion_archivos%2FEstandaresnutricionales.ppt&usg=AFQjCNHP3XVPK_luk6_02Yloi3i0qk_ow&bvm=bv.101800829,d.dmo
- **VIDAL, M; DONZELE, J; CAMARGO, A; ANDRADE, D; SANTOS, L.** 2004. Níveis de proteína bruta para tambaqui (*Colossoma macropomum*), na fase de 30 a 250 gramas. 1. Desempenho dos tambaquis. Revista Brasileira de Zootecnia 27 (3) : 421-426 p
- **VINATEA, J; VEGA, A.** 1995. Piscicultura tropical: peces nativos y exóticos. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Serie: Acuicultura. Lima, Perú. 338 pp.

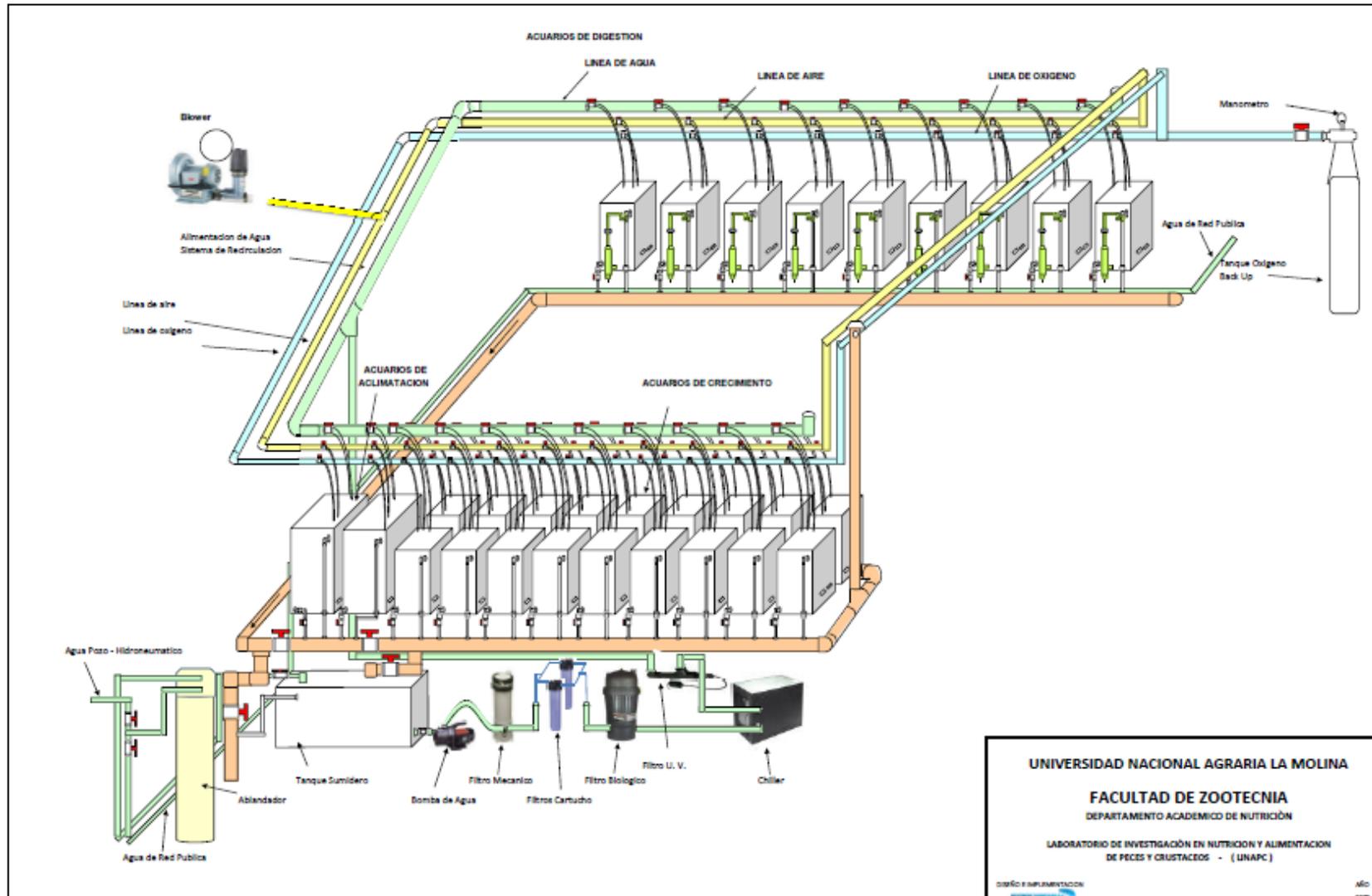
- **WATANABE, T.** 1988. Fish Nutrition and Mariculture. Department of Aquatic Biosciences. Tokyo University of Fisheries. 233 pp.
- **WILSON, R.** 1994. Utilization of dietary carbohydrate by fish. Aquaculture. Aquaculture v. 124. 67-80 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO I. Instalaciones y equipos del LINAPC

EQUIPO	UNIDAD	FUNCIÓN
Ablandador de agua	1m ³	Al poseer el agua de La Molina 1500 ppm (concentración de iones de Ca ⁺⁺ y Mg ⁺⁺), el ablandador cumple la función de disminuir la dureza hasta 16 ppm.
Tanque sumidero	Capacidad 360 Lt	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 todos los acuarios.
Filtro mecánico (Reemy)	1 unidad	Tiene la capacidad para retener partículas de hasta un mínimo de 20µm.
Filtros Housing	2 unidades	Apoyan al filtro mecánico con la retención de partículas de 20µm
Enfriador/calentador de agua	2 HP de potencia	Enfriar o calienta el agua entre un rango de 13 – 32 °C.
Esterelizador U.V.	25 watts	Esteriliza el agua disminuyendo de esta forma la presencia de algas, bacterias y virus no deseada en los acuarios.
Filtros Cuno	4 unidades	Compuesto por dos pares de filtros (5µm y 1µm), 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	6	Cada acuario de fibra de vidrio tiene capacidad de 55 litros, de color blanco, liso por dentro y fuera, con frontis de vidrio de 6mm y dimensiones de 0.47ancho x 0.47 profundidad x0.50 altura (cm) y pendiente de 13°.

ANEXO II. Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC)



ANEXO III. Parámetros de calidad de agua medidos durante el ensayo

Parámetros		Semanas				Promedio Final
		1	2	3	4	
Temperatura Acuarios (°C)	8.00 am	27.4	27.4	27.3	27.2	27.3
	12.00 m	28.0	27.9	27.9	27.6	27.9
	4.00 pm	29.1	28.9	28.7	28.6	28.8
Temperatura Ambiental (°C)	8.00 am	27.0	26.0	24.0	25.0	25.5
	12.00 m	29.0	28.0	27.0	27.0	27.8
	4.00 pm	31.0	29.0	29.0	30.0	29.8
Oxígeno disuelto (mg/L)		6.8	6.8	6.7	6.7	6.7
Dureza (ppm)		190.0	164.0	170.0	150.0	168.5
pH		7.5	7.6	7.5	7.3	7.5
Amonio (mg/L)		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Amoniaco (mg/L)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nitrito (mg/L)		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

ANEXO IV. Distribución de las dietas en los acuarios

ACUARIO	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6
REPETICION	R1	R2	R3	R1	R2	R3
TIPO DE DIETA SUMINISTRADA	Dieta de referencia			Dieta prueba		

ANEXO V. Peso (g), incremento de peso (g), consumo de alimento (g) y conversión alimentaria (g) de la prueba de digestibilidad

Dietas	Rep.	Biomasa inicial (g)	Biomasa final (g)	Ganancia de biomasa (g)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Ganancia de peso (g)	Consumo de alimento (g)	Conversión alimentaria
Referencia	R1	767.50	975.63	208.13	255.83	325.21	69.38	130.33	1.88
	R2	801.00	1080.10	279.10	267.00	360.03	93.03	162.98	1.75
	R3	799.50	1052.05	252.55	266.50	350.68	84.18	146.17	1.74
	Prom.	789.33 ± 18.92	1035.92 ± 54.07	246.59 ± 35.86	263.11 ± 6.31	345.31 ± 18.02	82.20 ± 11.95	146.493 ± 16.33	1.79 ± 0.078
Prueba	R1	773.00	948.66	175.66	257.67	316.22	58.55	134.78	2.30
	R2	779.00	973.37	194.37	259.67	324.46	64.79	143.90	2.22
	R3	755.50	926.15	170.65	251.83	308.72	56.88	130.93	2.30
	Prom.	769.17 ± 12.21	949.39 ± 23.62	180.23 ± 12.50	256.39 ± 4.07	316.46 ± 7.87	60.08 ± 4.17	136.536 ± 6.664	2.27 ± 0.05

ANEXO VI. Análisis químico proximal de las dietas brindadas

Análisis químico proximal de la dieta referencia

Contenido nutricional (%)	Base fresca	Base seca
Materia Seca	92.76	100.00
Extracto etéreo	4.87	5.25
Proteína cruda	32.81	35.37
Ext. libre de nitrógeno	45.71	49.28
Fibra cruda	1.87	2.02
Ceniza	7.50	8.08
Energía digestible (Kcal/Kg)	4.24	4.57

Análisis químico proximal de la dieta prueba

Contenido nutricional (%)	Base fresca	Base seca
Materia Seca	89.36	100.00
Extracto etéreo	3.90	4.37
Proteína cruda	35.86	40.12
Ext. libre de nitrógeno	40.53	45.36
Fibra cruda	2.04	2.28
Ceniza	7.04	7.87
Energía digestible (Kcal/Kg)	4.20	4.70

ANEXO VII. Análisis químico proximal de las heces obtenidas

Análisis químico proximal de las heces obtenidas en la dieta referencia

Contenido nutricional	Base fresca			Base seca		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Seca	91.44	91.42	90.65	100.00	100.00	100.00
Extracto etéreo	0.04	0.01	0.07	0.04	0.01	0.07
Proteína cruda	10.60	10.70	10.77	11.59	11.70	11.89
Ext. libre de nitrógeno	63.38	64.29	62.33	69.31	70.33	68.75
Fibra cruda	13.18	13.66	12.54	14.42	14.94	13.83
Ceniza	16.75	16.41	16.58	18.32	17.95	18.29
Energía bruta (Kcal/Kg)	3.52	3.39	3.31	3.85	3.70	3.66

Análisis químico proximal de las heces obtenidas en la dieta prueba

Contenido nutricional	Base fresca			Base seca		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Seca	90.90	90.84	90.79	100.00	100.00	100.00
Extracto etéreo	0.75	0.65	0.70	0.82	0.71	0.77
Proteína cruda	10.73	10.61	10.86	11.81	11.67	11.96
Ext. libre de nitrógeno	63.33	63.87	64.41	69.67	70.31	70.95
Fibra cruda	14.16	14.11	14.57	15.58	15.53	16.05
Ceniza	15.51	15.39	15.26	17.07	16.94	16.81
Energía bruta (Kcal/Kg)	3.44	3.44	3.43	3.79	3.78	3.77

ANEXO VIII. Valores de óxido de cromo determinado en las dietas y heces

Muestra	Repeticiones	Oxido de cromo	
		Base fresca	Base seca
Dieta referencia	-	0.46	0.50
Dieta prueba	-	0.45	0.50
Heces de la dieta referencia	R1	1.43	1.56
	R2	1.39	1.56
	R3	1.35	1.49
	Promedio	1.39 ± 0.04	1.54 ± 0.04
Heces de la dieta prueba	R1	1.41	1.55
	R2	1.47	1.62
	R3	1.44	1.59
	Promedio	1.44 ± 0.03	1.59 ± 0.03

ANEXO IX. Cantidad de heces colectadas de los acuarios de digestibilidad

Cantidad de heces colectadas de los acuarios en la dieta referencial

		Acumulado semanal (g)		Promedio día (g)		% de materia seca
		Húmedas	Secas	Húmedas	Secas	
Semana 1	R1	18.90	2.27	2.70	0.32	11.99
	R2	21.35	2.58	3.05	0.37	12.10
	R3	23.35	2.91	3.34	0.42	12.45
Semana 2	R1	31.32	3.69	4.47	0.53	11.77
	R2	40.90	4.44	5.84	0.63	10.85
	R3	37.17	4.41	5.31	0.63	11.87
Semana 3	R1	25.05	2.98	3.58	0.43	11.88
	R2	31.24	3.59	4.46	0.51	11.49
	R3	30.03	3.72	4.29	0.53	12.38
Semana 4	R1	18.15	2.18	2.59	0.31	12.00
	R2	20.42	2.48	2.92	0.35	12.14
	R3	21.91	2.86	3.13	0.41	13.04
TOTAL	R1	93.42	11.11	3.11	0.37	11.91
	R2	113.90	13.09	3.80	0.44	11.64
	R3	112.45	13.89	3.75	0.46	12.44

Cantidad de heces colectadas de los acuarios en la dieta prueba

		Acumulado semanal (g)		Promedio día (g)		% de materia seca
		Húmedas	Secas	Húmedas	Secas	
Semana 1	R1	22.67	2.48	3.24	0.35	10.92
	R2	22.87	2.53	3.27	0.36	11.07
	R3	20.57	2.66	2.94	0.38	12.95
Semana 2	R1	30.76	3.18	4.39	0.45	10.34
	R2	35.51	3.69	5.07	0.53	10.38
	R3	30.55	3.44	4.36	0.49	11.26
Semana 3	R1	20.63	2.33	2.95	0.33	11.28
	R2	27.96	3.05	3.99	0.44	10.89
	R3	20.87	2.57	2.98	0.37	12.31
Semana 4	R1	20.79	2.45	2.97	0.35	11.80
	R2	19.30	2.10	2.76	0.30	10.87
	R3	19.15	2.70	2.74	0.39	14.08
TOTAL	R1	94.84	10.44	3.16	0.35	11.08
	R2	105.64	11.36	3.52	0.38	10.80
	R3	91.15	11.37	3.04	0.38	12.65

ANEXO X. Coeficientes de digestibilidad aparente de la torta de soya

Repetición (%)	Materia Seca	Extracto etéreo	Proteína cruda	Ext. libre de nitrógeno	Ceniza	Energía bruta(Kcal/Kg)
R1	59.14	70.89	82.19	35.11	30.54	65.53
R2	63.09	73.93	83.66	39.90	40.62	68.87
R3	61.24	72.44	82.44	35.71	38.18	67.53
Promedio (%)	61.16	72.42	82.76	36.91	36.44	67.31
Desviación estándar	1.98	1.52	0.79	2.61	5.26	1.68
Coef. De varuiab. (%)	3.24	2.10	0.95	7.07	14.43	2.50

*Los coeficientes de digestibilidad se hallaron usando las ecuaciones descritas por Bureau y Cho (1999)

**ELN = Extracto Libre de Nitrógeno

ANEXO XI. Digestibilidad y energía digestible aparente de la torta de soya

Repetición (%)	Materia seca (g MS)	Extracto etéreo (g EE)	Proteína cruda (g PC)	Ext. libre de nitrógeno (g ELN)	Ceniza (g CZ)	Energía dig. (Kcal/Kg)
R1	52.22	1.21	39.86	13.31	2.60	2890.74
R2	55.71	1.26	40.57	15.13	3.46	3038.02
R3	54.08	1.23	39.99	13.54	3.25	2979.09
Promedio (%)	54.00	1.23	40.14	13.99	3.10	2969.28
Desviación estándar	1.75	0.03	0.38	0.99	0.45	74.13
Coef. De variab. (%)	3.24	2.10	0.95	7.07	14.43	2.50

$$ED = EB * CDA \text{ energía} / 100$$

Donde:

ED = Energía Digestible de la torta de soya

EB = Energía bruta de la torta de soya

CDA energía = Coeficiente de Digestibilidad Aparente de la torta de soya