

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE NUTRICIÓN**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA**



**“DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD Y ENERGÍA  
DIGESTIBLE DEL ACEITE ACIDULADO DE SOYA EN JUVENILES  
DE TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*)”**

**Presentado por:**

**ANGELA REMICIO ROJAS**

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE**

**INGENIERO ZOOTECNISTA**

**LIMA-PERU**

**2016**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE NUTRICIÓN**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA**

**“DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD Y ENERGÍA DIGESTIBLE DEL  
ACEITE ACIDULADO DE SOYA EN JUVENILES DE TRUCHA ARCO IRIS  
(*Oncorhynchus mykiss*)”**

**Tesis para optar al Título de:**

**INGENIERO ZOOTECNISTA**

**Presentado por:**

**ANGELA REMICIO ROJAS**

**Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:**

**Dr. Carlos Vilchez Perales**

**PRESIDENTE**

**Ing. Victor Vergara Rubin**

**PATROCINADOR**

**Dr. Victor Guevara Carrasco**

**MIEMBRO**

**Ing. Jessie Vargas Cárdenas**

**MIEMBRO**

*A Dios que en su infinita bondad  
me dio salud y entendimiento para  
cumplir uno de mis objetivos de  
vida.*

*A mis padres y hermanos que  
gracias a su apoyo incondicional  
me dieron la motivación para  
culminar esta meta personal.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ing. Víctor Vergara por su gran apoyo y motivación para la realización de esta investigación.

A INNÓVATE PERÚ, que a través del contrato N° 169-FINCYT – FIDECOM PIPEI-2013, del proyecto “Mejoramiento del proceso de obtención de los subproductos de refinación del aceite de soya para su uso como fuente energética en el alimento balanceado en trucha arco iris”, financió la ejecución de la presente investigación.

A los miembros del jurado por su aporte valioso que me brindaron para la culminación de esta investigación.

A la empresa SIOL S.A.C. por apoyar la investigación.

A la Planta de Alimentos Balanceados “La Molina” por la elaboración del alimento para la investigación.

A mis compañeros y amigos, quienes me acompañaron y apoyaron en esta etapa de investigación.

## INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	REVISION DE LITERATURA.....	2
2.1.	ACEITE ACIDULADO DE SOYA .....	2
2.1.1.	Refinación de aceites crudos .....	2
2.1.2.	Residuos obtenidos del proceso de la refinación.....	2
2.1.3.	Proceso de elaboración del aceite acidulado .....	5
2.1.4.	Valor nutricional del aceite acidulado .....	7
2.2.	TRUCHA ARCO IRIS ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ).....	8
2.2.1.	Aspectos generales .....	8
2.2.2.	Condiciones medioambientales .....	10
2.2.3.	Necesidades nutricionales.....	12
2.2.4.	La energía en los peces .....	14
2.3.	DIGESTIBILIDAD .....	16
2.3.1.	Coeficientes de digestibilidad.....	17
2.3.2.	Métodos para determinar la digestibilidad .....	18
2.3.3.	Factores que influyen en la digestibilidad .....	23
2.4.	EVALUACIONES DEL ACEITE ACIDULADO EN LA ALIMENTACION ANIMAL .....	25
3.1.	LUGAR Y PERIODO DE DURACIÓN .....	27
3.2.	INSTALACIONES, EQUIPOS Y MATERIALES .....	27
3.2.1.	Temperatura.....	28
3.2.2.	Oxígeno Disuelto .....	28
3.2.3.	Potencial Hidrógeno (pH).....	28
3.2.4.	Dureza.....	28
3.2.5.	Nitrogeno Amoniacal .....	28

3.2.6.	Nitrito .....	28
3.3.	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA.....	29
3.4.	ANIMALES EXPERIMENTALES .....	29
3.5.	PRODUCTO EVALUADO.....	29
3.6.	DIETAS EXPERIMENTALES .....	30
3.7.	PREPARACIÓN DE LAS DIETAS.....	30
3.8.	MANEJO EXPERIMENTAL.....	33
3.8.1.	Suministro de alimento.....	33
3.8.2.	Recolección de heces.....	33
3.8.3.	Análisis de laboratorio.....	33
3.9.	DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD .....	34
3.9.1.	Cálculo de coeficiente de digestibilidad aparente .....	34
3.9.2.	Cálculo de la energía digestible y materia seca digestible del aceite acidulado de soya .....	35
3.10.	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.....	35
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1	CALIDAD DEL AGUA .....	36
4.2.	DIGESTIBILIDAD APARENTE DEL ACEITE ACIDULADO.....	38
V.	CONCLUSIONES .....	42
VI.	RECOMENDACIONES .....	43
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	44
VIII.	ANEXOS .....	54

## INDICE DE CUADROS

<b><u>Cuadro</u></b>		<b><u>Página</u></b>
1	Composición de ácidos grasos del aceite acidulado de soya y aceite crudo de soya (%)	9
2	Parámetros de calidad del agua para trucha arco iris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> )	11
3	Requerimientos nutricionales de la trucha arco iris	13
4	Fórmula de la dieta comercial, referencial y dieta experimental, y el valor nutritivo calculado.	31
5	Fórmula de la premezcla de vitaminas y minerales	32
6	Parámetros de calidad de agua	37
7	Análisis químico de las dietas y heces	39
8	Determinación del contenido nutricional del aceite acidulado de soya.	40

## INDICE DE FIGURAS

<b><u>Figura</u></b>		<b><u>Página</u></b>
1	Flujo del proceso de obtención del aceite acidulado.	6

## INDICE DE ANEXOS

<u>Anexo</u>		<u>Página</u>
1	Instalaciones y equipos del LINAPC	54
2	Laboratorio de investigación en nutrición y alimentación de peces y crustaceos (LINAPC)	55
3	Parámetros de calidad de agua	56
4	Resultados de la materia seca y energía bruta del aceite acidulado	57
5	Análisis químico proximal de las dietas	58
6	Análisis químico proximal de las heces colectadas	59
7	Valores de óxido de cromo determinados en las dietas y heces	60
8	Cantidad de heces colectadas de los acuarios con la dieta referencial	61
9	Cantidad de heces colectadas de los acuarios con la dieta prueba	62
10	Determinación del coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca y energía bruta en la dieta basal y dieta prueba	63
11	Coeficiente de digestibilidad aparente del aceite acidulado	64
12	Digestibilidad y energía digestible del aceite acidulado	65
13	Peso (g), incremento de peso (g), consumo de alimento (g) y conversión alimentaria (g) de la prueba de digestibilidad	66
14	Precio de dieta referencial y dieta prueba	67

## RESUMEN

La energía es un componente a considerar en la formulación de dietas para truchas y los aceites son la fuente de mayor concentración energética, pero el uso de aceites convencionales en la alimentación animal compite con la alimentación humana encareciendo el ingrediente, ante este problema el aceite acidulado de soya es una alternativa económica en la alimentación acuicola. El objetivo fue determinar la digestibilidad y energía digestible del aceite acidulado de soya en juveniles de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). El experimento se realizó en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustaceos (LINAPC), del departamento académico de nutrición, de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), durante 31 días, para lo cual se utilizaron 18 juveniles de trucha arco iris, provenientes de la estación piscícola Zagitario, de la provincia de Canta. Fueron distribuidos en dos grupos experimentales, cada uno tuvo tres repeticiones con 3 peces. Las dietas experimentales se obtuvieron por el método de sustitución, a partir de una dieta comercial para truchas en crecimiento, obteniendo una dieta referencial y una dieta prueba con 8 por ciento del aceite acidulado de soya. El indicador del óxido de cromo se utilizó a la concentración de 0.5 por ciento. El contenido nutricional estimado en la dieta referencial fue; 43.95 por ciento de proteína y 3.73 Mcal/kg ED, y en la dieta prueba fue; 41.56 por ciento de proteína y 4.17 Mcal/kg ED. Para determinar la digestibilidad y energía digestible del aceite acidulado se aplicaron las fórmulas de Cho et al. (1982) y Pezzato et al. (2004). Se determinó que la digestibilidad para la materia seca del aceite acidulado es de 75.45 por ciento y; para la energía bruta, 85.96 por ciento. La energía digestible alcanza un valor de 7.98 Mcal/kg en juveniles de truchas arco iris a 15 °C de temperatura del agua.

**Palabra clave:** *energía, trucha, aceite acidulado, digestibilidad, energía digestible.*

## ABSTRAC

Energy is a component to take into consideration in feed formulation for trout and oils are the major source of energy. However, the use of conventional oils in animal feeding competes with human feeding, making the product more expensive. Because of this problem, acidulated soybean oil is economical alternative in fish feeding. The aim of this investigation was to establish the digestible energy and the apparent digestibility coefficients of the acidulated soybean oil in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). This experiment was conducted at the Laboratory of Nutrition and Food Research of fish and crustaceans (LINAPC), of the academic department of Nutrition, at National Agrarian University La Molina (UNALM), for about 31 days, for which they were used 18 juvenile rainbow trout from Cantas's Zagitario fish station. Fishes were randomly distributed in two experimental groups, each one with three repetitions with three fishes each. Experimental diets were obtained by the substitution method from a commercial diet of trout, having a reference diet and a test diet with 8 percent of the acidulated soybean oil. Chromic oxide was use in 0.5 percent, as the inert indicator. The estimated nutritional composition of the reference diet was; 43.95 percent of protein and 3.73 Mcal/kg DE, and of the test diet was; 41.56 percent of protein and 4.17 Mcal/kg DE. Formulas by Cho et al. (1982) and Pezzato et al. (2004) where use to determine digestible energy and apparent digestibility coefficients of acidulated soybean oil. The apparent digestibility coefficients of dry matter and gross energy were, 75.45 percent and 85.96 percent respectively. The digestible energy for juvenile rainbow trout was 7.98 Mcal/kg.

Keyword: *energy, trout, acidulated oil, digestibility, digestible energy.*

## I. INTRODUCCIÓN

En nuestro país, se da un crecimiento significativo en producción y exportación de productos acuícolas. Entre las especies que se cultivan en el Perú, la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) es una de las más importantes comercialmente. En el 2013 tubo un incremento de aproximadamente 10 mil toneladas con respecto al año 2012, alcanzando el volumen de producción nacional de 34 992 toneladas que representa el 28 por ciento de la actividad de acuicultura (Produce, 2015).

Su alimentación representa entre el 40 a 60 por ciento de los costos de producción en las empresas acuícolas y la energía es un componente a considerar en la formulación de alimentos para peces, por consiguiente si consideramos nuevos ingredientes económicos como posible fuente de energía, permitiran tener ingredientes alternativos para mantener o reducir los costos de producción (Castello, 2000).

Los aceites son la fuente de mayor concentración energética, aportan 2.5 veces más calorías que ingredientes como el maíz. Su inclusión en las dietas aporta ácidos grasos esenciales y fosfolípidos; por su efecto extra calórico, incrementa la disponibilidad de los nutrientes del alimento. La industria de refinación de aceites genera entre 3-4 por ciento de residuos “borras” que tras un proceso especial de acidulación pueden ser aprovechados como un ingrediente energético más económico que los aceites tradicionales (SIOL, 2004).

Varios autores han realizado trabajos de investigación del nivel de inclusión de los aceites acidulados, principalmente en aves y cerdos, pero muy pocos han determinado la digestibilidad de dicho subproducto, menos aun en especies acuícolas, sin embargo es necesario realizar evaluaciones para determinar el aporte nutricional que tendría el aceite acidulado, antes de ser utilizado en la alimentación de las diferentes especies acuícolas.

Por lo antes mencionado, la presente investigación tiene por objetivo determinar los coeficientes de digestibilidad y la energía digestible del aceite acidulado de soya en juveniles de trucha arco iris mediante el método indirecto utilizando como marcador el óxido crómico.

## **II. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1. ACEITE ACIDULADO DE SOYA**

#### **2.1.1. Refinación de aceites crudos**

Independientemente del tipo y/o naturaleza del aceite crudo y de su posterior utilización, cualquier “refinación” en general, consiste en una serie de procesos aplicados a los aceites para eliminar la mayoría de los componentes menores que dificultan los sucesivos tratamientos a las que se someterán, que impiden una buena conservación del aceite refinado o que le dan características organolépticas no deseables para el consumidor (Melgarejo, 2003).

Todos los aceites crudos poseen cantidades importantes de fosfátidos, así como de proteínas o sus productos de degradación y de sustancias gomosas, procedentes de las matrices oleosas de las que han sido obtenidos los aceites. Estos fosfátidos interfieren en el resto del proceso de la refinación, por su tenso actividad son nocivos para las tierras decolorantes y para los catalizadores de hidrogenación, afectan a la estabilidad y a las propiedades organoléptica del aceite refinado, favorecen la autoxidación, acortando la vida útil y otorgándole malos olores, su presencia en el desodorizador durante la desodorización puede dar lugar a la aparición de colores oscuros indeseables (Graciani et al. 2012). Los componentes mencionados, deben ser eliminados durante el proceso de refinación.

#### **2.1.2. Residuos obtenidos del proceso de la refinación**

Los residuos de refinación, son un subproducto de la industria del aceite y son comparativamente más baratos que los aceites vegetales. Los ácidos grasos crudos obtenidos por el desdoblamiento de las pastas mediante ácido sulfúrico, están contaminados con compuestos coloreados, glicéridos parciales, ácidos grasos oxidados, saponificables, polímeros de glicerina, etc. y su color puede ser desde amarillo hasta marrón oscuro, siendo de importancia los colores iniciales y la estabilidad del color durante el almacenamiento de los mismos debido a las modificaciones que sufre esta característica

con el tiempo a causa de las impurezas que arrastran los ácidos grasos durante su obtención (Gracianiet et al. 2012).

El uso de cualquier lípido insaturado en animales próximos al sacrificio ha de tomarse con cautela por su efecto negativo sobre la composición lipídica de la carcasa. Por tanto, es necesario implantar controles de calidad rigurosos a fin de evitar las frecuentes mezclas no deseadas con otras fuentes lipídicas o la entrega de productos deficientemente procesados (exceso de humedad, impurezas, material no eluible, insaponificables y acidez mineral). El contenido en materia no grasa de estos productos aumenta cuando se reciclan dentro de las oleínas los residuos resultantes del proceso de deodorización del aceite o de la industria de la glicerina o de ácidos grasos (FEDNA, 2014). Según Shepperson et al. (1993) dependiendo de que el proceso de refinación sea químico o físico, podemos obtener de los residuos, aceites ácidos o destilados respectivamente.

#### **a. Residuos del desgomado**

El desgomado da lugar a un residuo de “gomas o fosfatidos” salvo cuando proceden de aceites con muchos fosfatidos y desgomados con agua que dan lugar a las lecitinas. Las gommas pueden ser reutilizadas añadiéndolas a las semillas preparadas antes de su extracción para recuperar la grasa neutra, esto permite de alguna manera una extracción exhaustiva de la semilla y su mejor aprovechamiento. Pero son de poco valor cuando los fosfatidos hidratables están mezclados con los no hidratables y con el ácido fosfórico utilizado para poder flocularlo, ya que solo pueden ser aprovechables por su aportación como grasa en los alimentos para animales (Gracianiet et al. 2012).

En el caso de aceites con altos valores de fosfolípidos (como el de la soya) se obtienen las lecitinas, los cuales tienen un alto valor, ya que son muy solicitadas por muchas industrias. Pero por haberse utilizado ácido fosfórico para la floculación de los fosfatidos no hidratables, al separar las gommas, por ir mezcladas con ácido fosfórico no son utilizables para la alimentación de forma directa (Gracianiet et al. 2012).

#### **b. Residuos de la neutralización y lavado**

Los residuos obtenidos en la neutralización o llamadas pastas de refinación, esta compuesta por jabones, grasa neutra, restos de los álcalis utilizados, y en muchos casos, por las gommas y los fosfatos procedentes de la neutralización del ácido fosfórico utilizado

en el desgomado. Los complejos industriales que elaboran alimentos añaden este residuo, pero en otras refinerías es frecuente que se procesen mediante desdoblamiento con ácido sulfúrico para la obtención de los ácidos grasos libres que mediante una purificación, pasan al mercado (Graciani et al. 2012).

Las aguas de lavado pueden llevar una gran carga orgánica, sobre todo si conjuntamente al resto de jabones, llevan las ceras procedentes del descerado. En general estas aguas unidas a las procedentes de otras partes de la refinería, deben ser depuradas antes de su vertido definitivo (Graciani et al. 2012).

### **c. Residuos de la decoloración**

La decoloración produce como residuos las “tierras decolorantes agotadas” junto con los coadyuvantes de filtración. Este residuo también puede añadirse a las semillas preparadas para su extracción con hexano, para la recuperación de la grasa neutra. Por lo general los refinadores no acostumbran trabajar con hexano por el alto riesgo de esta operación, que eleva el costo de los seguros obligatorios y no se compensa con el valor de la grasa neutra recuperada. Pero como no se puede desechar las tierras agotadas a vertederos ya que debido a su alto contenido en grasa (aprox. 30 por ciento sobre el peso de la tierra) y al estar sumamente dividida, con gran superficie de contacto con el aire, los procesos de autoxidación provocarían la ignición de dicha grasa y por consiguiente de todo el vertedero. Para ello existen empresas auxiliares que se encargan de estos residuos. Las tierras agotadas tras su extracción si pueden ser eliminadas a los vertederos (Graciani et al. 2012). Shepperson et al. (1993) menciona que las arcillas tales como la bentonita pueden ser recicladas o bien pueden ser comercializadas como un ingrediente alimenticio.

### **d. Residuos de la desodorización**

En la desodorización se producen unos compuestos llamados “oleínas” que, cuando tienen un adecuado proceso, pueden contener cantidades apreciables de componentes de gran valor añadido: tocoferoles naturales, principalmente la vitamina E, escualeno y fitoesteroles naturales. Como resultado de haber optimizado los procesos anteriores estos condensados no contienen grasas neutras o la contienen en muy pequeñas cantidades (Graciani et al. 2012). El uso de los subproductos de la deodorización debería ser

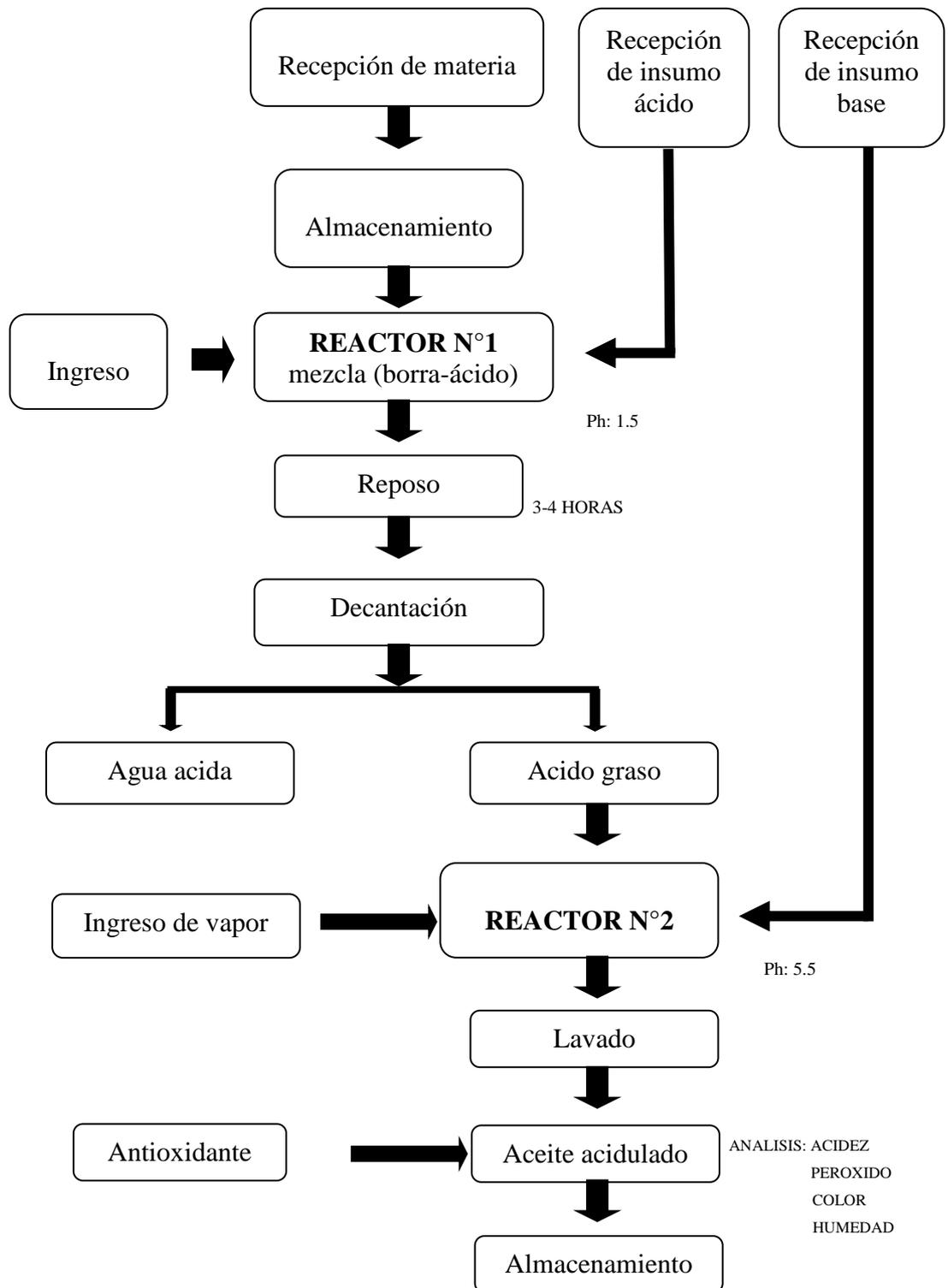
estrictamente limitado en los alimentos del ganado debido a su contaminación potencial con productos dañinos, tales como los pesticidas (Shepperson et al. 1993).

### **2.1.3. Proceso de elaboración del aceite acidulado**

Durante el proceso de refinado se separan los triglicéridos de los ácidos grasos libres, que son los responsables de la acidez, mediante la adición de soda caustica (NaOH) en el proceso de neutralización. A continuación, se separan ambas fases por centrifugación y decantación. Las pastas sódicas resultantes se neutralizan con ácido sulfúrico, originándose las llamadas oleínas aciduladas (acidulated soapstocks). Estas se lavan con agua abundante para arrastrar el exceso de sulfúrico, y se secan por decantación dando lugar a las oleínas comerciales (FEDNA, 2014).

En la descomposición de las grasas con ácido sulfúrico, no solo se consigue un desdoblamiento de la grasa neutra en glicerina y ácidos grasos, también la transformación del ácido oleico al ácido graso sólido (Uliman, 1950). Este método de naturaleza hidrolítica, utiliza el efecto del ácido sulfúrico sobre los glicéridos llevándose a cabo cuanto menos una sustitución parcial de los ácidos grasos por un ácido mineral más fuerte. El factor temperatura influye en la reacción, recomendándose como óptimas aquellas entre 80 °C a 90 °C para alcanzar el máximo rendimiento. Sin embargo para Kirschenbauer (1964), las pastas deben calentarse con vapor seco alrededor de 120 °C. La agitación de la mezcla es otro factor que complementa a la temperatura, ya que al efectuarse se aumenta la superficie de contacto entre los grumos de la masa jabonosa y el ácido sulfúrico en solución (Quijandria, 1956).

Los ácidos grasos liberados por la acción del ácido sulfúrico presentan un color muy oscuro, debido a la acción carbonizante ejercida por dicho ácido sobre los glicéridos y luego, ya iniciado el desdoblamiento, sobre los propios ácidos grasos. La acción sulfonante ejercida es predominante en los glicéridos de ácidos grasos de las series no saturadas y que por acción del agua forman compuestos hidroxilos que provienen de los mismos glicéridos y en el caso de los ácidos sus correspondientes láctonas, (Colom, 1950). El flujo del proceso del aceite acidulado se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Flujo del proceso de obtención del aceite acidulado.

La reacción del jabón con el ácido sulfúrico es exotérmica y hace elevar la temperatura de la masa en unos 20 °C, una elevada temperatura conduce, aún más que el ácido sulfúrico, a la descomposición y pérdida de la sustancia grasa, con el consiguiente desprendimiento de anhídrido sulfuroso y materia carbonizada. La acidulación en si se lleva a cabo entre las sales sódicas de los ácidos grasos provenientes del aceite y el ácido sulfúrico (Gadea, 1965). El rendimiento de esta reacción depende teóricamente de dos factores importantes: la presión y la temperatura, el cambio de volumen entre los reactantes y los productos es nulo, por tanto la reacción se lleva a cabo en un tanque abierto a la presión atmosférica (Gadea, 1965).

Según las normas de calidad, el aceite acidulado deberá llevar el nombre del aceite que le dio origen. Su contenido de lípidos debe ser mayor de 97 por ciento y de humedad menor de 3 por ciento. Este alto contenido de humedad obliga a tomar precauciones necesarias y utilizarlo lo más rápidamente posible para evitar su peroxidación y la corrosión de equipos de alimento (Zumbado et al. 1994). El índice de peróxidos debe ser de 3 meq O<sub>2</sub>/kg como máximo, entre otras características tenemos el pH entre 5.5 a 7, datos que son comparados con el aceite refinado de soya con un índice de yodo y pH similares a excepción del porcentaje de humedad más impurezas que oscila entre 0.4 por ciento (Bedoya, 2003).

#### **2.1.4. Valor nutricional del aceite acidulado**

El aceite acidulado es una buena fuente de energía para todo tipo de animales, quizás con la excepción de animales muy jóvenes. En monogástricos, las oleínas tienen menor digestibilidad y, por tanto, menor valor energético que los aceites de los cuales proceden. En estas especies, los monoglicéridos resultantes de la digestión enzimática de los triglicéridos son más polares y por ello favorecen la formación de micelas más que los ácidos grasos libres (FEDNA, 2014).

Más del 70 por ciento de los ácidos grasos constituyentes del aceite acidulado de soya son insaturados, contienen de 40-50 por ciento de ácido linoleico, que es generalmente reconocido por ser el ácido graso representativo de la familia omega-6, benéfica para la salud; además de ser el precursor de las prostaglandinas, sin embargo el aceite insaturado es también susceptible a la oxidación y deterioro de la calidad (Bedoya, 2003).

El aceite crudo de soya contiene aproximadamente 2 por ciento de fosfolípidos, como la colina fosfatida, la etalonamina fosfatida y el inositol fosfatida, que son los mayores componentes del aceite de soya; estos son removidos en la refinación del aceite y forman un valioso subproducto conocido como lecitina que se encuentra en el aceite acidulado de soya. (Smith y Circle, 1987).

El FEDNA (2014), reporta la energía digestible evaluada en cerdos de los aceites de soya, oliva y palma que son 8.7, 8.5 y 8.35 Mcal/kg respectivamente mientras que para las oleinas de soya, oliva y destilado de palma indica que son 8.05, 8.0 y 7.7 Mcal/kg respectivamente.

En el Cuadro 1 se muestra Composición de ácidos grasos del aceite acidulado de soya y aceite crudo de soya en porcentajes, donde podemos observar que hay grandes variaciones entre los diferentes autores, principalmente con los autores más antiguos, esto debido a que con el tiempo se ha mejorado el proceso de obtención, permitiendo estandarizarlo para obtener un aceite acidulado de mejor calidad.

## **2.2. TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*)**

### **2.2.1. Aspectos generales**

La trucha arco iris es un pez que pertenece al grupo de los salmónidos originarios de América del Norte. Tiene un cuerpo fusiforme presenta una conformación idéntica a la de los salmones, suave curvado, su contorno de línea es ligeramente suelto, creando la conocida forma aerodinámica, que le permite deslizarse por el agua con la menor resistencia posible al avance, de una longitud promedio de 40 a 60 cm. (Phillips citado por Sarmiento, 2011).

La banda irisada longitudinal que marca los flancos le ha conferido su nombre, la coloración general varía según el medio de vida, con el dorso verde-gris y el vientre blanco y unos puntos negros destacan del conjunto del cuerpo, así como las aletas dorsal, anal y caudal lo cual la diferencia de las otras truchas (Breton, 2007).

**Cuadro 1:** Composición de ácidos grasos de aceite acidulado de soya y aceite crudo de soya (%)

ÁCIDOS GRASOS	* ACEITE ACIDULADO					**ACEITE CRUDO
	Sibbald et al. (1977)	Waliszewski (1986)	Blanch et al. (1995)	Narciso (2002)	Haas (2005)	Chowdhury et al. (2007)
<b>Palmitoleico (C16:1)</b>	0.1	0.1	ND	0.85	ND	-
<b>Estéarico (C18:0)</b>	8.5	6.3	3.9	5.83	4.4	4.0
<b>Oleico (C18:1n-9)</b>	37.2	23.3	27.27	18.47	15.7	23.3
<b>Linoleico (C18:2n)</b>	17.3	37.8	2.92	18.29	55.6	52.2
<b>Linolénico (C18:3n)</b>	2.0	3.8	4.77	1.5	7.1	5.63
<b>Palmítico (C16:0)</b>	2.5	28.2	20.76	10.06	17.2	14

FUENTE:

\* Sibbald et al. (1977), Waliszewski (1986), Blanch et al. (1995), Narciso (2002), Haas (2005) citados por Perez, 2011.

\*\*Chowdhury et al. (2007)

## 2.2.2. Condiciones medioambientales

El hábitat natural de la trucha son los ríos, lagos y lagunas de aguas frías, limpias y cristalinas y prefiere las corrientes moderadas y ocupa generalmente los tramos medios de fondos pedregosos y de moderada vegetación (Figuroa, 2009). Sin embargo Blanco (1995) menciona que los lugares de mayor profundidad, 1-1.5 m, con fuerte corriente y fondos rocosos o pedregosos reúnen condiciones para su concentración.

Los principales factores ambientales que influyen en el crecimiento de los peces son la temperatura, luz, concentración de oxígeno, constituyentes químicos permanentes del agua como sales y compuestos orgánicos (calidad del agua) y la presencia de catabólicos de los peces que inhiben el crecimiento (Ivor citado por Hephher, 1988). La trucha arco iris se caracteriza por depender de aguas con elevadas concentraciones de oxígeno, superiores a los 6 mg/L, de carácter turbulento con cierto movimiento de agua y temperaturas entre 11 y 18 °C (Ortega citado por Gloria de la Oliva, 2011). Son peces de agua frías, aunque el grado de tolerancia a la temperatura es amplio, pudiendo subsistir a temperaturas de 25°C durante varios días y a límites inferiores cercanos a la congelación (Figuroa, 2009).

Las truchas toleran mal las poluciones acuáticas y son muy sensibles a las contaminaciones orgánicas, así como a numerosos productos que de forma accidental se encuentran en el agua. El nitrógeno amoniacal disuelto en el agua se encuentra bajo 2 formas: amoníaco no ionizado, (NH<sub>3</sub>) tóxico para peces y el amonio (NH<sub>4+</sub>) formando sales de amonio, cuyas concentraciones dependen del pH y la temperatura del agua (Blanco, 1995). Camacho et al. (2000), reporta que el límite de tolerancia para el amonio no ionizado en cultivo de truchas arco iris debe ser menor a 0.012 mg/L. Petit y Ferron (1975), indican que la máxima concentración de NH<sub>3</sub> más NH<sub>4+</sub> para alevines y juveniles de truchas es 0.5 y 0.7 mg/L respectivamente.

Es importante conocer la calidad del agua que se está utilizando en la producción de trucha arco iris, ya sea en aguas lólicas (ríos) o lénticas (lagos); las características físicas y químicas deben permitir desarrollar la acuicultura en forma sostenible .

En el Cuadro 2, se presenta las condiciones hidrobiológicas que son límite de tolerancia para el cultivo de trucha arco iris.

**Cuadro 2:** Parámetros de calidad del agua para trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*)

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
Oxígeno disuelto (mg/l)	> 5.0
Salinidad (ppt)	0 – 35
pH	6.4 - 8.4
Alcalinidad (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	30 – 200
Dióxido de carbono (mg/l)	< 2.0
Zinc (mg/l)	< 0.4 a pH 7.5
Hierro (mg/l)	< 1.0
Amonio no ionizado (N-NH <sub>3</sub> ) (mg/l)	< 0.012
Nitrogeno amoniacal*	< 1.8
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> ) (mg/l)	< 0.55
Nitrógeno total (mg/l)	< 100% de saturación total
Sólidos suspendidos (mg/l)	< 80
Sólidos disueltos (mg/l)	50 -200
Temperatura (°C)	7.2 - 17

FUENTE: Camacho et al. (2000) y \*Smith y Piper 1975, citado por Molony (2001)

### **2.2.3. Necesidades nutricionales**

Las proteínas son el principal alimento de los peces en la naturaleza y es a su vez, el componente fundamental de su organismo, encontrándose preferentemente en el músculo esquelético. Los mayores requerimientos de proteínas se producen en las truchas en la etapa de crecimiento activo y en relación con la edad. Así durante el inicio de su alimentación requieren alrededor del 50 por ciento, disminuyendo a las dos semanas al 40 por ciento y en un año hasta en 37 por ciento (Blanco, 1995). Lovell (2002), recomendando formular con niveles de proteína alrededor de 45-50 por ciento para alevines y 42-45 por ciento para post juveniles y peces maduros. Los requerimientos nutricionales de la trucha arco iris se muestra en el Cuadro 3, (NRC, 2011).

Guillaume et al. (2004), indica que el requerimiento de mantenimiento es menor en peces que en mamífero. Sin embargo, el requerimiento de crecimiento, es superior al de mantenimiento, ya que es necesario para la síntesis de un gramo de proteína corporal, el mismo orden de magnitud en peces que en vertebrados superiores. Por tanto la exigencia de proteínas en los peces es ante todo relativa, deriva además del escaso requerimiento energético, que se traduce en escasos requerimientos de nutrientes energéticos no nitrogenados, y por tanto un valor elevado del contenido proteico óptimo del alimento.

La mayor parte de la proteína contenida en los alimentos comerciales para salmónidos, son de origen animal, sobre todo harina de pescado blanco, cuya digestibilidad sobrepasa el 90 por ciento. En juveniles, la mayor parte de la fracción proteica se cubre con este ingrediente, lo cual asegura un alto valor proteico de la dieta y la suficiente cantidad de aminoácidos esenciales indispensables para el crecimiento óptimo de la trucha (Blanco, 1995).

Las truchas, con respecto a otros peces son exigentes en vitaminas, estableciéndose hasta un número de quince vitaminas que han sido consideradas como esenciales en estos peces y que deben por lo tanto, estar presentes en el alimento. La vitamina E se incorpora también en los alimentos como material antioxidante de las grasas y la vitamina C en proporciones superiores a las necesarias, como protector frente al estrés, enfermedades, etc., especialmente en alevines. Los peces son capaces de absorber del medio acuático, a través de las branquias o de la piel algunos iones minerales, así como completar, con la alimentación, todos aquellos que les son necesarios (Blanco, 1995).

**Cuadro 3:** Requerimientos nutricionales de la trucha arco iris

<b>Nutriente</b>	<b>Trucha</b>
Energía digestible (kcal/kg)	3.6
Acidos grasos n-3 (%)	1.0
Acidos grasos n-6 (%)	1.0
Proteína (%)	40 – 50
Arginina (%)	1.5
Histidina (%)	0.7
Isoleucina (%)	0.9
Leucina (%)	1.4
Lisina (%)	1.8
Metionina (%)	0.7
Met. + Cis. (%)	1.0
Fenilalanina+tirosina (%)	0.8
Treonina (%)	1.8
Triptófano (%)	0.2
Valina (%)	1.2
Magnesio (%)	0.05
Fósforo (%)	0.7
Potasio (%)	0.7
Cobre (mg/kg)	3.0
Iodo (mg/kg)	1.1
Hierro (mg/kg)	60.0
Manganeso (mg/kg)	13.0
Zinc (mg/kg)	30.0
A (UI/kg)	2500
D (UI/kg)	2400
E (UI/kg)	50
Riboflavina (mg/kg)	4
Ac. Pantoténico (mg/kg)	20
Niacina (mg/kg)	10

NRC (1993, 2011)

En agua dulce la diferencia de presión osmótica conlleva a una pérdida de sales y una absorción de agua a través de la piel con eliminación renal de orina muy diluida, aunque muy abundante en volumen. A nivel branquial la pérdida de sodio se ve compensada por una eficacia aumentada de la bomba de sodio, las concentraciones en minerales disueltos suelen ser escasas y sobre todo variable; el papel de los aportes alimentarios es importante.

En agua salada la presión osmótica conlleva una deshidratación y una absorción importante de sales, de ello se deriva la necesidad de absorber por vía oral grandes cantidades de agua, la posibilidad de aporte de minerales por este medio es mayor que en el medio dulceacuícola ya que el contenido de sales minerales disueltas es mucho más elevado y casi constante (Guillaume et al. 2004). La mayor parte de las necesidades de calcio, hierro, magnesio, cobalto, potasio, sodio y zinc pueden ser cubiertas por el pez a través del agua. Por otra parte muchos de los ingredientes utilizados en la composición del alimento son ricos en minerales disponibles para los peces, e incluso pueden encontrarse en grandes cantidades cuando estos ingredientes son de calidad (Blanco, 1995).

La alimentación de las truchas varía en función al peso, la época del año (verano-invierno), la carga del estanque, así mismo del modo de alimentar como la forma del alimento (De la Oliva, 2011). La cantidad de alimento que requiere dependerá de la temperatura del agua y del tamaño del individuo, la frecuencia de alimentación es otra variable operacional en el cultivo de trucha, ya que la primera alimentación de los alevines requieren de una alimentación constante, mientras que los peces en etapa de engorde se alimentan considerablemente una o dos veces al día (Lovell, 2002).

#### **2.2.4. La energía en los peces**

Todas las funciones vitales y productivas del animal requieren energía; por lo tanto la capacidad de aportarla es de gran importancia al determinar el valor nutritivo de los alimentos. Los peces como todos los animales, necesitan energía para asegurar sus funciones vitales. En condiciones aerobias, la única energía utilizable por el organismo deriva de la oxidación de los compuestos orgánicos (glúcidos, lípidos y proteínas) procedentes de la digestión de los alimentos y de la renovación de células y tejidos (Guillaume et al. 2004). Requieren energía para su actividad diaria y para la reproducción y crecimiento de sus tejidos corporales (Jover citado por Sanz, 2009).

Las necesidades energéticas de los peces dependen de cada animal (especie, estadio fisiológico) varían también en función de factores medioambientales y en particular, de la temperatura del agua, otorgando este carácter ectotermo de los peces una originalidad evidente a su metabolismo energético (Guillaume et al. 2004).

Dicha energía la consiguen a través de los alimentos mediante la oxidación de la fracción orgánica, constituida por proteínas, grasas y carbohidratos. No obstante, parte de la energía ingerida no puede ser aprovechada, pues se pierde durante el proceso de digestión y metabolismo, como desechos orgánicos, heces y amoníaco, o como calor, siendo el resto retenido en forma de tejidos corporales. Los peces tienen una menor necesidad energética que el resto de animales de granja debido a que no necesitan emplear energía para mantenimiento de su temperatura corporal por su carácter poiquilotermo, la excreción nitrogenada en forma de amonio fundamentalmente en vez de urea o ácido úrico, reduce las pérdidas, y el mantenimiento de la posición corporal y desplazamiento en el medio acuático requiere un menor gasto de energía. En los peces carnívoros, los aminoácidos y los ácidos grasos son los principales sustratos energéticos, mientras que los carbohidratos son los peores utilizados (Jover citado por Sanz, 2009).

#### **a. Distribución de la energía ingerida**

La energía química contenida en un alimento, se conoce como “energía bruta” y puede determinarse directamente en una bomba calorimétrica, midiendo su calor de combustión, o estimarse a partir de los niveles de proteína, lípidos y carbohidratos y de sus respectivos coeficientes caloríficos, 23.6, 39.5, 17.2 KJ/g (NRC, 1993).

Únicamente parte de esta energía bruta del alimento es utilizable por los peces para su crecimiento, pues existen una serie de pérdidas que se dan durante los procesos de digestión en forma de energía fecal, resultando la energía digestible (Jover citado por Sanz, 2009).

La energía bruta o calor de combustión de un alimento es la cantidad de calor que se libera cuando se quema en un calorímetro, y representará la máxima cantidad posible de energía que se puede obtener de un alimento. 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 proporción 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 aproximara al valor de la energía bruta (Cho, 1987).

### **2.3. DIGESTIBILIDAD**

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

El verdadero valor nutritivo de una dieta formulada depende de la composición nutricional y la biodisponibilidad de sus nutrientes. La digestibilidad puede estar afectada por las relaciones entre los micronutrientes y macronutrientes tanto como de la presencia de componentes inhibitorios (Manríquez, 1994). Por tanto, la digestibilidad de un ingrediente en el animal depende no solo de las condiciones medioambientales, estructura del tracto digestivo y su fisiología sino también del ingrediente y sus características nutricionales (Lee y Lawrence, 1997).

En las truchas arco iris, disminuye la digestibilidad (aparente) de los ácidos grasos saturados de cadena de longitud variable hasta 18 átomos de C (Austreng et. al., citado por Steffens, 1987). Los ácidos grasos de cadena larga exhiben por su parte, una superior digestibilidad y los ácidos grasos con un solo enlace doble se digieren por lo general mejor que los correspondientes ácidos grasos saturados.

La grasa endurecida perjudica la digestibilidad de los diversos ácidos grasos, cuanto más alto es el punto de fusión. Adicionando fosfolípidos se registró una elevación de la digestibilidad de la grasa en truchas arco iris (Strel'cova y Ol'sanskaja citado por Steffens, 1987).

Aparentemente, los lípidos con cantidades elevadas de ácidos grasos saturados de cadena media (sebo), tiene un coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) bajo, ya que hace la emulsificación de los lípidos más difícil, así en los salmonidos el CDA de la manteca (punto de fusión es 28 a 48 °C) pasa de 70 a 78 por ciento cuando la temperatura sube de 5 a 15°C, mientras que en las mismas condiciones el CDA de aceites, permanecería prácticamente invariable, 90 a 93 por ciento (Guillaume et al. 2004). Además Steffens (1987) encontró que si la fracción de grasa en el alimento es de 10 por ciento y está constituida exclusivamente por aceite de pescado hidrogenado (punto de fusión 53 por ciento), empeoraban el crecimiento y el aprovechamiento del ingrediente.

### **2.3.1. Coeficientes de digestibilidad**

El coeficiente de digestibilidad permite cuantificar la digestibilidad. Puede definirse de dos maneras, según tengamos en cuenta o no en el balance la presencia eventual de una posible fracción de origen endógeno en el desecho fecal (esencialmente en el caso de lípidos, aminoácidos y minerales). De este modo, se define para un nutriente dado dos tipos de coeficientes.

#### **a. Coeficiente de digestibilidad aparente (CDA)**

Depende del estado fisiológico del pez y del nivel de ingesta, y permite evaluar la aptitud del animal en retener o utilizar una ración alimenticia (Guillaume et al. 2004).

$$CDA = \frac{\textit{ingesta} - \textit{fecal}}{\textit{ingesta}}$$

#### **b. Coeficiente de digestibilidad real (CDR)**

Depende sobre todo de la naturaleza de la dieta y de las capacidades digestivas de la especie, permitiendo evaluar la aptitud del alimento para proveer al animal con el nutriente utilizable. De forma rutinaria se calcula el CDA ya que la determinación de la fracción endógena (reducida en el pez) es delicada (Guillaume et al. 2004).

$$CDR = \frac{\textit{ingesta} - (\textit{fecal} - \textit{fecal endogeno})}{\textit{ingesta}}$$

### **2.3.2. Métodos para determinar la digestibilidad**

La digestibilidad constituye una excelente medida de calidad y ello ha suscitado la idea de medirla de diferentes formas, in vitro sometiendo a un alimento a una digestión artificial por enzimas que se encuentra en el estómago de los animales superiores, o in vivo (Au y Bidart, 1992), cuyo principio de medida implica el conocimiento de la ingestión y de la emisión fecal.

#### **a. Método directo**

Implica la medición de la totalidad del alimento ingerido y de las heces emitidas, correspondientes a una o varias comidas. Este método es aplicable siempre que se permita recoger cuantitativamente las materias fecales derivadas de la ración dada a los peces. (Guillaume et al. 2004). Este método fue propuesto por Tunison et al. (1948), utilizada por Post et al. (1965) y Ogino et al. (1973) y ampliamente desarrollado por Smith (1971, 1976), citado por Choubert (1999). Una de sus ventajas es que puede ser usado para evaluar dietas vivas y alimentos, cuantificando los nutrientes aportados por la dieta y excretados en las heces, y por diferencia obtener el porcentaje de nutrientes asimilado por el organismo. La mayor desventaja de este método, es la necesidad de recolectar la totalidad de la materia fecal excretado por los peces, lo que en la realidad es muy difícil de lograr, además que se presenta el inconveniente que no todos los elementos excretados corresponde a los incorporados por la ración diaria de alimento (Choubert et al. 1979). Se puede utilizar para ello una cámara metabólica en la que el principio utilizado es el mismo que para los animales terrestres. No obstante, también es adecuado cualquier otro método para recoger las heces siempre que permita una cuantificación total de las materias fecales de los peces (Guillaume et al. 2004).

En el método de la cámara metabólica se utiliza un acuario especial, que presenta forma cilíndrica y puede contener a un pez, de aproximadamente 500 g. está separada en dos partes por una membrana flexible que soporta el animal entre las aletas pectorales y pélvicas. Este dispositivo permite coleccionar de forma simultánea y por separado, las excreciones branquiales, urinarias y fecales; la parte anterior recoge el amoníaco excretado a través de las branquias; la parte posterior las heces y la orina se recoge por canulación de la uretra. Los peces son alimentados con una sonda intragástrica después de anestésarlos (Choubert, 1999).

La recolección de los productos de excreción, son determinados cualitativamente y cuantitativamente. Por tanto, es posible saber la absorción aparentemente de los nutrientes (por diferencia entre lo ingerido y excretado) y luego calcular el coeficiente de digestibilidad. Sin embargo el método presenta inconvenientes; ya que sólo se puede experimentar con peces grandes y con uno a la vez, lo que significa realizar micro-dosages o muestras de agrupación, durante varios días, debido a que los productos que se excretan diariamente son mínimos. Además, la introducción del dispositivo (cánula), resulta complicado en algunos peces, los cuales deben soportar el confinamiento, durante mucho tiempo. Este estrés en el animal puede ser la causa de resultados erróneos debido en particular a los trastornos fisiológicos (Choubert, 1999).

#### **b. Método indirecto**

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

La principal ventaja del método con indicador es la no necesidad de una recolección total, sino que basta una muestra tomada al azar que contenga el indicador. Una de las desventajas este método es la lixiviación que sufren las heces al estar en contacto con agua. Al respecto es necesario ser muy uniforme en la realización de todos los procedimientos de manera que todas las muestras sufran el mismo grado de lixiviación y los resultados continúan siendo válidos, porque son comparativos (Bórquez, citado por Gutiérrez et al. 2009).

La utilización de un componente interno indigestible (cenizas insolubles en ácido) (Vandenberg & De la Noüe, 2001; Goddard y Mclean, 2001) o un marcador externo indigestible (Cho y Slinger 1979, Austreng et al. 2000) elimina la necesidad de cuantificar la totalidad de las heces, pero requiere una muestra representativa (Maynard et al. 1979).

Existen muchos marcadores inertes que pueden ser utilizados, pero los más relevantes son: óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), óxido de Itrio ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ), óxido de lantano ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ), dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de iterbio ( $\text{Yb}_2\text{O}_3$ ), polietileno, Celite, Sipernat y el microtraza Fe-Ni (Austreng et al. 2000, Vandenberg y De la Noüe 2000, citados por Calderon (2010)).

Una variedad de criterios han sido reportados para la utilización de un marcador específico en los alimentos, incluyendo la tasa de marcador recuperado en las heces y alimento (Hillestad et al. 1999 y Austreng et al. 2000), uniformidad al pasar por el sistema digestivo (Austreng et al. 2000, Vandenberg y De la Noüe 2001), exactitud del cálculo de digestibilidad (Hillestad et al. 1999 y Morales et al. 1999), solubilidad del marcador (Austreng et al. 2000), complejidad de los análisis, o interacción del marcador con algún ingrediente del alimento o el sistema digestivo del pez (Shiau y Shy 1998, y Fernández et al. 1999). Dentro de las particularidades que debe cumplir un marcador se destacan: fácil mezcla con alimento, no tóxico, dosificable, debe ser totalmente indigerible, con una tasa de evacuación igual a la del contenido estomacal y debe analizarse en laboratorio fácilmente (Hardy 1997 y Austreng et al. 2000).

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

### **2.3.3 Métodos para la recolección de heces**

Para la determinación de coeficientes de digestibilidad aparente de una dieta o una materia prima, es común utilizar la recolección de las heces del animal, pues es un procedimiento económico y que no representa mayor esfuerzo. En animales terrestres es fácil realizar este procedimiento, pero en peces se dificulta por la existencia del medio acuático. Tunison et al. citados por Austreng (1978), fueron pioneros al adaptar un método directo para determinar digestibilidad en trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*), que consistía en filtrar las heces del agua.

Este método necesitaba de muchos análisis y cálculos, además de generar muchos errores al contaminarse las muestras de heces con compuestos nitrogenados excretados a través de las branquias y la orina.

A partir de estos autores, se han venido desarrollando múltiples técnicas para la recolección de heces de los peces, buscando determinar la digestibilidad aparente de la manera más precisa posible. Los métodos más usados son los siguientes:

**a. Masaje abdominal o stripping**

Consiste en practicarle al pez un masaje firme en su abdomen en sentido craneal – caudal, para extraer muestras de heces (Fernández et al. 1996, Percival et al. 2001, Vidotti et al. 2002, Adeparusi & Komolafe 2006, Gaylord et al. 2009, Rawles 2009). Austreng (1978) evaluó la eficiencia de 2 métodos de stripping para la extracción de heces vs. heces obtenidas directamente por disección de los segmentos anterior y posterior del intestino. El método I de *stripping* consistía en practicarle el masaje al animal en sentido craneal – caudal desde las aletas pectorales hasta el ano, tal y como se hace para la extracción de ovas. El método II de *stripping* consistía en practicarle el masaje desde las aletas ventrales hasta el ano. Con este último se encontraron altos coeficientes de digestibilidad, al igual que con el método de disección.

**b. Disección intestinal**

Los peces son alimentados por cinco días con una dieta conteniendo óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), posteriormente se escogen aleatoriamente a los peces que serán anestesiados con benzocaína (0.05 g/L), los cuales serán sacrificados y abiertos lateralmente para retirar el contenido fecal del recto. La porción distal del intestino (después de la segunda válvula intestinal), es retirada del pez y colocada en una placa petri. Utilizando una hoja de bisturí, el intestino es abierto longitudinalmente y con una espátula, el contenido fecal es retirado y colocado en una placa petri para ser llevada a estufa y realizar los análisis respectivos (Abimorad & Carneiro, 2004).

**c. Sifoneo**

Los peces son alimentados durante el día, cuidadosamente a saciedad, con el fin de asegurar que todo el alimento ofrecido sea ingerido por los peces. Una hora después de la última comida cada acuario es limpiado y se vacía un tercio del agua de cada uno, a fin de eliminar del sistema los residuos de alimento y heces, y así asegurar que el proceso de limpieza sea completo.

Al siguiente día, se extraen del fondo del tanque o acuario las heces que se encuentren allí reposadas, por medio de una manguera (Adeparusi y Komolafe 2006, Cruz Suárez et al. 2009).

#### **d. Método de Guelph**

Comprende dos tipos de colección:

- Guelph convencional: consiste en el uso de tanques cilíndricos, con un fondo cónico y capacidad de 80 litros. El abastecimiento de agua fue por la parte superior y el flujo de agua por la parte inferior, cuenta con una columna de agua donde se depositan las heces para su recolección. Los peces son alimentados con dietas conteniendo óxido de cromo, por cinco días, en tanques externos, posteriormente son trasladados a los acuarios Guelph convencionales para coleccionar las heces cada media hora (Abimorad y Carneiro, 2004).
- Guelph modificado: los acuarios de digestibilidad presentan medidas de 50x40cm una inclinación de 10 a 15° en su base, permitiendo el deslizamiento de las heces a la parte más baja del acuario, además cuentan con un tubo colector en la parte frontal, en la cual por el flujo del agua y gravedad, las heces se depositan en la parte inferior del mismo, para ser coleccionadas (Adamidou et al. 2009, Bureau y Cho 1999).

Abimorad y Carneiro (2004), evaluaron en un estudio cuatro métodos de recolección de heces, que fueron: disección, stripping, Guelph convencional y Guelph modificado, para determinar digestibilidad de la proteína, para una dieta referencial, la cual contenía 0.5 por ciento de óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Las evaluaciones se realizaron en paco (*Piaractus mesopotamicus*), con un peso promedio de 250 g. Los resultados fueron de  $81.44 \pm 3.523$ ;  $82.83 \pm 2.55$ ;  $86.66 \pm 0.76$  y  $84.52 \pm 0.38$ , para los métodos Guelph convencional, Guelph modificado, stripping y disección, respectivamente, no mostrando diferencias estadísticas. También evaluaron el efecto de los tiempos de intervalo de colección de heces (0; 30; 60; 120; 240 y 480 minutos), no encontrando diferencias significativas para los tiempos. Sin embargo recomiendan la colección cada 30 minutos para evitar la lixiviación de las heces.

### **2.3.3. Factores que influyen en la digestibilidad**

La digestión depende de tres factores principales: a) el alimento ingerido y el grado al cual es susceptible a los efectos de las enzimas digestiva, b) la actividad de las enzimas digestivas, c) el tiempo que esta expuesto a dichas enzimas cada una de estos factores principales es influido por una multitud de factores secundarios algunas de las cuales se relacionan con el pez en si, como especie, edad, tamaño, y estado fisiológico; otros están asociados a las condiciones medioambientales, como temperatura del agua, y otros mas se relacionan con el alimento, como composición, tamaño de partícula y cantidad ingerida. Los más importantes de estos factores y efectos sobre la digestibilidad merecen un análisis mas detallado (Hepher, 1988).

#### **a. Especie:**

El coeficiente de digestibilidad puede variar entre especies debido tanto a las diferencias en el aparato digestivo y sus enzimas. Según Hepher (1988) las variaciones entre especies de peces en la digestibilidad de proteínas y de lípidos son pequeñas, pero son mucho más pronunciadas las variaciones en la digestibilidad de carbohidratos, en especial el almidón, ya que los peces carnívoros digieren esta sustancia en mucho menor medida que los peces omnívoros y herbívoros.

#### **b. Edad del pez:**

La actividad enzimática puede variar con la edad del pez, las actividad proteolítica y amilolítica de la trucha son mas bajas en las primeras fases del desarrollo que en las fases posteriores. Esto puede afectar los coeficientes de digestibilidad (Choubert, 1999).

#### **c. Condiciones fisiológicas**

Los peces cuyo equilibrio fisiológico se encuentren alterados debido a manipulación excesiva o enfermedad, pueden presentar trastornos digestivos (Job citado por Hepher, 1988). La inanición por lo general reduce la capacidad hidrolítica del intestino (Risse citado por Hepher, 1988), al disminuir la actividad de las enzimas digestivas (Ananichev y Overnell ctado por Hepher, 1988). Paralelamente con las variaciones estacionales, la actividad de la enzima digestiva, puede presentar variaciones en la capacidad digestiva de los peces (Hepher,1988).

#### **d. Condiciones del agua**

Un aumento en la temperatura puede incrementar tanto la secreción y la actividad de las enzimas e influye en la rapidez de absorción de los nutrientes digeridos, a través de la pared intestinal. Sin embargo mientras mayor sea la temperatura más rápido será el transporte del alimento y más corto el tiempo de exposición a las enzimas digestivas. Cho y Singler (1979) demostraron que el coeficiente de digestibilidad de un alimento prueba, para truchas arco iris no variaba a un intervalo de temperatura de 9°C a 15 °C pero aumentaba ligeramente cuando la temperatura se elevaba a 18 °C.

MCLcod citado por Hepher (1988) observó que la digestibilidad de la materia seca, energía y la proteína para la trucha arco iris disminuía linealmente al aumentar la salinidad del agua. Podría ser un efecto directo del contenido de sal o un efecto indirecto de la alteración del equilibrio fisiológico del pez.

#### **e. Composición del alimento**

Hepher (1988), menciona que los alimentos de origen vegetal son digeridos en menor grado que los de origen animal, ya que las células vegetales poseen una pared celular que les da gran resistencia y dificulta la penetración de las enzimas digestivas. Además la digestibilidad también puede ser afectada por la forma del alimento y como se le procese. Sanbank citado por Hepher (1988) demostraron que las algas secadas al sol son menos digeribles que las desecadas en un tambor de vapor. Ya que al parecer en el tambor de vapor se rompe la pared celular del alga y expone el contenido de las células a la acción de las enzimas, mientras que la deshidratación lenta al sol puede causar el engrosamiento y endurecimiento de dicha paredes. Lo cual protege el contenido celular contra las enzimas.

Lovell citado por Hepher (1988) demostró que el molido y la acción y la cocción como el proceso de extrusión mejoran la digestibilidad de la proteína y el almidón (pero no de las grasas) en dietas para bagre. Nose citado por Hepher (1988) demostró que la digestibilidad de los lípidos depende de la composición y el nivel de saturación de estos, disminuye al aumentar el número de átomos de carbono en la cadena de ácido graso y se incrementa con el número de dobles enlaces.

#### **2.4. EVALUACIONES DEL ACEITE ACIDULADO EN LA ALIMENTACION ANIMAL**

Bazan (2002), evaluó la utilización del aceite acidulado de pescado en remplazo del aceite compuesto para la alimentación de truchas arco iris. Encontró que la utilización de dietas de crecimiento y acabado conteniendo aceite acidulado de pescado (peso a peso) del aceite compuesto, fue comparable respecto al crecimiento, consumo de alimento, conversión alimenticia y mortalidad de truchas arco iris. Además, la composición corporal de la carcasa y la evaluación sensorial (pigmentación del filete, preferencia y aceptabilidad) en el acabado no fueron afectadas al remplazar el aceite compuesto por el aceite acidulado en dietas de acabado de truchas arco iris. El aceite acidulado de pescado en dietas de crecimiento y acabado permite obtener un menor costo del alimento por kilogramo de ganancia de peso en relación a la utilización del aceite compuesto.

Perez (2011), realizó la estimación de la energía metabolizable de dos aceites acidulados de soya y su efecto en la producción de pollas y gallinas *Bovans White*, encontrando que el uso de aceites acidulados de soya, como fuente de EM, es una alternativa factible al formular dietas para gallinas ponedoras. Se presentó variación en la composición de ácidos grasos, de los aceites acidulados, pero no afecta los parámetros productivos y calidad del huevo considerándose como fuentes de pigmento natural. La composición lipídica del huevo varía con la composición del aceite acidulado administrado en la dieta de las gallinas ponedoras y el uso de aceites acidulados disminuye los costos de producción.

Bedoya (2003), determinó la energía metabolizable del aceite acidulado de soya y evaluó comparativamente dietas de inicio para pollos de carne, encontrando que el valor promedio de la EM del aceite acidulado de soya tal como ofrecido es de 8.61 Mcal/kg. Además la dieta con aceite acidulado de soya, en el nivel de 3 por ciento produjo mejor ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia en comparación con la dieta control con 3 por ciento de aceite semirrefinado de pescado (reemplazo peso a peso). La dieta con 3 por ciento de aceite acidulado de soya en el alimento de inicio generó una retribución económica de 28 por ciento, al evaluarla con el aceite semirrefinado de pescado.

Zunino (1999), evaluó el comportamiento productivo de las gallinas *Hy Line Brown* alimentadas con diferentes niveles de aceites acidulados de pescado, encontrando que existen diferencias altamente significativas para los parámetros; producción de huevo (%), peso de huevo, consumo de alimento, calidad interna de huevo y porcentaje de cascara, pero en relación a los parámetros de masa de huevo, conversión alimenticia y espesor de cascara no se hallaron diferencias estadísticas, en el análisis del mérito económico, la mejor retribución económica lo encontró en el tratamiento con 4 por ciento de aceite acidulado de pescado frente a los tratamientos control (sin aceite) y tratamientos con 2 por ciento y 6 por ciento de aceite acidulado de pescado.

Martínez (2009), evaluó dietas bajas en proteínas adicionadas con ácido linoleico conjugado o aceite de soya acidulado para cerdos en engorde, encontrando que el aceite acidulado de soya es una fuente energética de bajo costo y puede sustituir al aceite crudo de soya en dietas para cerdos de engorde, porque no influye negativamente en la respuesta productiva o las características de la canal.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. LUGAR Y PERIODO DE DURACIÓN**

La investigación se realizó en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC) que pertenece al departamento académico de Nutrición de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), La Molina, Lima. La elaboración del alimento balanceado se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos, Facultad de Zootecnia. El porcentaje de humedad de las dietas, heces y aceite acidulado fue determinado en el LINAPC, la determinación de la concentración del óxido de cromo en las dietas y heces se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) del departamento de suelos, de la facultad de Agronomía (UNALM) y la determinación de la energía bruta se realizó en el Instituto de Investigación Nutricional (IIN). La duración de la fase experimental fue de 31 días y correspondió entre los meses de diciembre del 2014 y enero del 2015.

#### **3.2. INSTALACIONES, EQUIPOS Y MATERIALES**

Las instalaciones del LINAPC, cuenta con un moderno sistema de recirculación, el cual permite el control de los estándares de calidad de agua óptimo para la especie en estudio. El laboratorio cuenta con dos acuarios de adaptación (120 litros de capacidad), 18 acuarios para pruebas de crecimiento y nueve acuarios para pruebas de digestibilidad (Anexo nº 1). Para el experimento se utilizó seis acuarios de digestibilidad tipo *Guelph* de fibra de vidrio, de color blanco, liso por dentro y afuera, y frontis de vidrio de 6 mm de grosor con capacidad de 54 litros, con medidas de 45 cm. de ancho, 45 cm. de profundidad, 50 cm. de altura y base en plano inclinado (ángulo 13°) para realizar la colección de las heces. Durante el proceso de recolección de heces se utilizaron mallas metálicas de 100 µm de abertura, recipientes de plástico, como depósito del agua filtrada, cucharilla espátula de metal para retirar las heces de la malla metálica, placas petri para colocar las heces colectadas.

Para pesar las heces y alimento se utilizó una balanza electrónica marca UWE modelo JW-250 con 0.005 g; estufa con rango de 25-350 °C, para secar las heces; refrigerador, para almacenarlas y conservarlas.

En la medición de la calidad de agua se utilizaron los siguientes equipos y kits colorimétricos:

### **3.2.1. Temperatura**

Se utilizaron termómetros electrónicos de la marca *Digital thermometer*, este dispositivo permite configurar la T° min/max y emitir una alarma en caso varíe el rango de T° configurado. Su rango de medición es de 0 – 40 °C, con 0.01°C de precisión.

### **3.2.2. Oxígeno Disuelto**

Se utilizó un monitor de oxígeno (oxímetro) de la marca *PinPoint II*, el cual puede mostrar una lectura digital para el oxígeno disuelto. Su rango de medición es de 0.0 – 20.0 mg/L.

### **3.2.3. Potencial Hidrógeno (pH)**

La medida del pH se realizó con un pHmetro, marca *Oaklon*, con rango de medición de 1.0 – 15.0 pH, con 0.1 de precisión.

### **3.2.4. Dureza**

Se utilizó el kit colorimétrico de dureza marca *LaMotte*, el cual utiliza el valorador de lectura directa, que proporcionan una exactitud dentro de la gama habitual de 0-200 ppm, con una sensibilidad de 4 ppm de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>).

### **3.2.5. Nitrogeno Amoniacal**

Se utilizó un medidor de nitrogeno amoniacal, marca *Hanna*, con rango de medición de 0.00 – 3.00 mg/L.

### **3.2.6. Nitrito**

Fue medido con el kit colorimétrico de tres reactivos de la marca *Sera*. El rango de medición es de 0.3 – 16.5 mg/L.

### **3.2.7. Nitrato**

Fue medido con el kit colorimétrico de tres reactivos de la marca *Sera*. El rango de medición es de 0.0 – 100 mg/L.

### **3.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA**

El agua utilizada para alimentar el sistema de recirculación provenía de la red de agua potable pública del distrito de La Molina. Los parámetros de calidad del agua se midieron en tres acuarios indistintamente. El oxígeno disuelto, dureza, pH, nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos se midieron 3 veces por semana (lunes, miércoles y viernes) a cualquier hora del día, mientras que la temperatura del acuario y temperatura ambiental, se midió en tres momentos del día (8:00am; 12:00m y 4:00pm). Dos veces por semana (martes y viernes), se procedió a la limpieza de los acuarios, filtros y recambio del 20 por ciento de agua del sistema.

### **3.4. ANIMALES EXPERIMENTALES**

Se utilizaron un total de 40 juveniles de trucha arco iris, adquiridos de la estación piscícola Zagitario, ubicado en la comunidad de Cullhuay, provincia de Canta, Lima, a 3850 msnm. Al llegar los peces al laboratorio LINAPC, se mantuvieron una semana en 2 acuarios especiales de adaptación de 120 litros de capacidad cada uno. El primer día no se le suministró alimento, después se les brindó el alimento comercial “la Molina” para trucha en crecimiento, preparado en la Planta de Alimentos Balanceados de la UNALM, tres veces al día a punto de saciedad, durante 7 días. De la Población de 40 juveniles de trucha arco iris se seleccionaron al azar 18 peces y se distribuyeron aleatoriamente en seis acuarios de digestibilidad, correspondiendo a una unidad experimental, un acuario con tres peces, cuyo peso promedio fue de 116.4 gr con desviación estandar de  $\pm 1.67$

### **3.5. PRODUCTO EVALUADO**

El ingrediente evaluado fue el aceite acidulado de soya procedente de la empresa SIOL S.A.C., que es un subproducto obtenido a partir del proceso de refinación del aceite crudo de soya, de la fase de neutralización. Contiene 25 a 50 por ciento de ácidos grasos libres (expresados como ácido oleico), humedad de 0.79 por ciento, energía bruta de 9.28 Mcal/kg y pH de 5.5.

### **3.6. DIETAS EXPERIMENTALES**

Las dietas experimentales se prepararon a partir de una dieta comercial para trucha arco iris en crecimiento, formulada al mínimo costo, utilizando programación lineal, utilizando las recomendaciones nutricionales del NRC (2011).

Se utilizaron dos dietas experimentales, con tres repeticiones cada una, las cuales se detallan a continuación:

Dieta 1: Dieta referencial; con 99.5 por ciento de dieta comercial y 0.5 por ciento de óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ).

Dieta 2: Dieta prueba; con, 91.5 por ciento de dieta comercial, 0.5 por ciento de óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) y 8 por ciento de aceite acidulado de soya.

En el Cuadro 4 se muestra la dieta comercial, la dieta referencial y dieta prueba con su respectivo valor nutritivo calculado y en el Cuadro 5, se muestra la fórmula de la premezcla de vitaminas y minerales.

### **3.7. PREPARACIÓN DE LAS DIETAS**

Se realizó la mezcla de 20 kg de dieta comercial de truchas en crecimiento y se dividió en dos partes, cada una de 10 kg. Para obtener la dieta referencial se reemplazó el 0.5 por ciento de la mezcla comercial por óxido de cromo en el mismo porcentaje. Para obtener la dieta experimental se reemplazó el 8.5 por ciento de la mezcla comercial por 0.5 por ciento del óxido de cromo y 8 por ciento de aceite acidulado. A ambas dietas se les agregó humedad con agua caliente, lográndose una mezcla húmeda que se hizo pasar de forma directa por la prensa de la peletizadora con molde de 3.5 mm. Obtenidos los pellets se llevaron a secar en una estufa eléctrica a 60 °C durante 30 minutos. Una vez secos los pellets, se tamizaron para eliminar el polvillo y los pellets quebrados, obteniendo pellets de 3.5 mm de diámetro y 5 a 6 mm de longitud. Los pellets se colocaron en frascos debidamente rotulados y se almacenaron a temperatura ambiente hasta su posterior uso.

**Cuadro 4:** Fórmula de la dieta comercial, referencial y dieta prueba, y el valor nutritivo calculado.

<b>Ingrediente (%)</b>	<b>Dieta comercial</b>	<b>Dieta referencial</b>	<b>Dieta prueba</b>
Torta soya, 47	25	24.88	22.88
Harinilla de trigo	25	24.88	22.88
Hna. pescado prime,64	44.77	44.55	40.96
Aceite de soya	4.00	3.98	3.66
Sal	0.51	0.51	0.47
Ligante	0.40	0.40	0.37
Premezcla acuicultura	0.30	0.30	0.27
Antioxidante	0.02	0.02	0.02
Cr2O3	0.00	0.50	0.50
Aceite acidulado de soya	0.00	0.00	8.00
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>
<b>Contenido nutricional estimado (%)</b>			
Materia seca	90.38	89.93	91.28
Proteína bruta	44.17	43.95	41.56
Proteína digestible	41.06	41.06	35.99
Fibra	1.62	1.61	2.35
Grasa	9.05	9.00	18.24
ED. Trucha (Mcal/ kg)	3.75	3.73	4.17
Lisina	3.14	3.12	2.96
Metionina	1.11	1.10	1.03
Cistina	0.53	0.53	0.47
Arginina	2.80	2.79	2.66
Met.+cist.	1.63	1.62	1.52
AC.GS.n-3	2.06	2.11	5.41
AC.GS.n-6	2.12	1.34	2.06
Fosf.total	1.35	1.69	1.36
Calcio	1.7	1.70	1.62
Sodio	0.7	0.70	0.66
Potasio	1.09	1.09	1.12
Cloro	0.78	0.78	0.71

**Cuadro 5:** Fórmula de la premezcla de vitaminas y minerales

<b>Nutriente</b>	<b>Cantidad</b>
Vitamina A , UI	14 000 000
Vitamina D3, UI	2 800 000
Vitamina E, UI	140 000
Vitamina K3, g	8.000
Tiamina b1, g	18.000
Riboflavina (B2), g	20.000
Niacina, g	150.000
Ácido Pantoténico, g	50.000
Piridoxina (B6), g	15.000
Biotina, g	0.800
Ácido fólico, g	4.000
Ácido ascórbico, g	600.000
Vitamina B12, g	0.030
Cloruro de colina, g	600.000
Manganeso, g	40.000
Hierro, g	20.000
Zinc, g	20.000
Cobre, g	1.500
Yodo, g	1.500
Selenio, g	0.300
Cobalto, g	0.150
Antioxidante, g	120.000
Excipientes c.s.p	3 000.000

3kg de premezcla por 1 Tn. de alimento

FUENTE: DSM Nutritional Products Perú S.A. (2014)

### **3.8. MANEJO EXPERIMENTAL**

#### **3.8.1. Suministro de alimento**

El primer día del experimento los peces fueron alimentados con las dietas a evaluar solo en la tarde ya que en la mañana se realizó el traslado de los peces del acuario de adaptación a los acuarios de digestibilidad. En adelante los peces recibieron dos comidas diarias, ofrecidas a las 8.00 am y 7.00 pm, cada acuario fue alimentado pellet a pellet, con el fin de asegurar que todo el alimento ofrecido sea ingerido por los peces.

#### **3.8.2. Recolección de heces**

El experimento se realizó en base a una modificación del método propuesto por Cho y Slinger (1979). Al inicio del ensayo los peces fueron alimentados con las dietas a evaluar durante tres días sin realizar la recolección de las heces. A partir del cuarto día se inicio la recolección de las heces. Este día se realizó una sola recolección que fue por la tarde y en adelante se realizaron dos recolecciones diarias, una a las 7:00 am y otra a las 6:00 pm. Las heces fueron cuidadosa y suavemente extraídas del tubo de sedimentación, filtrándolas a través de un tubo con malla de 100 $\mu$ m para luego ser colocadas en placas petri con la ayuda de una cucharilla espátula, se eliminaron algunas escamas y posteriormente fueron secadas en una estufa a 65°C por seis horas, para reducir la humedad, e inmediatamente fueron congeladas a - 15 °C y almacenadas para su posterior uso. Una hora después de la última alimentación del día cada acuario de digestibilidad fue limpiado sifoneando 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. Este procedimiento se repitió durante 28 días, consiguiéndose aproximadamente un total de 7 gramos de heces secas por cada acuario de digestibilidad para los análisis químicos.

#### **3.8.3. Análisis de laboratorio**

Se determinó el porcentaje de humedad en el LINAPC empleando el metodo AOAC (2005), 950.46; y la energía bruta de las dietas y de las heces de cada unidad experimental, en el laboratorio del IIN, para obtener la energía bruta se realizó el ensayo del valor calorífico empleando el metodo ASTM D-2015-66 (1972). Se realizó análisis químico para obtener la concentración del óxido de cromo de las dietas y heces de cada unidad experimental, los cuales se realizaron en el (LASPAF) del departamento de suelos empleando el metodo de espectrofotometría por absorción atómica por el método AOAC, (1990).

### 3.9. DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD

#### 3.9.1. Cálculo de coeficiente de digestibilidad aparente

Las estimaciones del porcentaje de digestibilidad aparente fueron realizadas sobre la base de la cantidad de heces en cada una de las réplicas colectadas durante 28 días. Con los resultados de laboratorio obtenidos de las dietas y heces colectadas se determinaron los Coeficientes de Digestibilidad Aparente (CDA) de las dietas para materia seca y energía bruta, posteriormente se utilizaron estos CDA de las dietas para determinar CDA del aceite acidulado. Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

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

$$CDA\ d = 100 - 100 \frac{\%Cr2O3\ d}{\%Cr2O3\ h} \times \frac{\%N\ h}{\%N\ d}$$

Dónde:

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

Cr2O3d = % de óxido de cromo en las dietas

Cr2O3h = % de óxido de cromo en las heces

Nd = concentración del componente en las dietas

Nh = concentración del componente en las heces

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

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

Dónde:

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

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

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

a = porcentaje del ingrediente prueba

b = porcentaje de la dieta referencial

### **3.9.2. Cálculo de la energía digestible y materia seca digestible del aceite acidulado de soya.**

Con los resultados que se obtuvieron del coeficiente de digestibilidad aparente del aceite acidulado de soya se determinaron los nutrientes digestibles mediante la siguiente fórmula.

$$\text{DID (MS/ED.Ing) (\%)} = (\text{MS/ED Ing.}) * (\text{CDAing})$$

Donde:

DIG. (MS/ED.Ing.): Digestibilidad de la materia seca (MS) o energía digestible (ED) del ingrediente prueba.

MS/ED. Ing.: Concentración de MS o ED del ingrediente prueba.

CDAing: Coeficiente de digestibilidad aparente del ingrediente prueba.

### **3.10. 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 DEL AGUA

Los parámetros de calidad de agua como temperatura, pH, oxígeno disuelto y nitrito que se presenta en el Cuadro 6 y Anexo 3 muestran que se mantuvieron los parámetros óptimos de calidad de agua para el desarrollo de las truchas arco iris. La temperatura del agua en los acuarios durante la fase experimental fue en promedio de 15 °C, estando dentro del rango recomendado por Camacho et al. (2000), quien menciona que la temperatura favorable para el cultivo de truchas arco iris está entre 7.2 a 17 °C así mismo, De la oliva (2011) indica que para truchas juveniles la temperatura adecuada es 16 °C y que con temperaturas por encima de los 21 °C las concentraciones de oxígeno en el agua bajan por lo que no sería un ambiente adecuado para las truchas. Wing-keon et al. (2010) indica que con temperaturas de 20 °C en truchas arco iris se reducen la digestibilidad aparente (DA) de ácidos grasos saturados, pero si las dietas contienen niveles altos de ácidos grasos polinsaturados la DA mejora para dicha temperatura.

En la medida del potencial de hidrogeno (pH) el valor promedio mantenido en la presente evaluación fue 7.13 mg/L, valor que se encuentra dentro del rango óptimo para Walbaum (1792), quien recomienda el rango de 6.5-8.5 mg/L. De la oliva (2011) menciona que los valores adecuados para la crianza de la trucha arco iris con respecto al nivel de oxígeno disuelto debe ser mayor a 5 mg/L y para el nitrito debe ser menor a 0.55 mg/L, parámetros que en la presente evaluación se mantuvo en 8.25 y 0.3 mg/L respectivamente. En la medida del nitrógeno amoniacal, se mantuvo el valor promedio de 0.21 mg/L, el cual se encuentra muy por debajo del valor máximo reportado por Smith y Piper en Molony, (2001) (1.8 mg/L), asegurando así, la calidad del agua.

**Cuadro 6: Parámetros de calidad de agua**

---

<b>Parámetros</b>		<b>Promedio</b>
<b>Temperatura en el acuario (°C)</b>	8.00 am	14.5
	12.00 m	15.1
	4.00 pm	14.5
<b>Temperatura ambiental (°C)</b>	8.00 am	24.0
	12.00 m	27.8
	4.00 pm	25.0
<b>Oxígeno disuelto (mg/L)</b>		8.25
<b>Dureza (ppm)</b>		145.0
<b>pH</b>		7.13
<b>Nitrito (mg/L)</b>		0.3
<b>Nitratos (mg/L)</b>		100
<b>Nitrogeno amoniacal (mg/L)</b>		0.21

---

#### **4.2. DIGESTIBILIDAD APARENTE DEL ACEITE ACIDULADO**

En el Cuadro 7 se presentan el promedio de los resultados de los análisis químicos de las dietas y heces de cada grupo experimental más la desviación estándar, con los cuales se determinaron los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) del aceite acidulado. La digestibilidad aparente de la materia seca se muestra en el Cuadro 8 y Anexo 11. Este resultado es inferior a lo reportado por Guzmán (2015), quien obtuvo 81.64 por ciento de digestibilidad aparente (DA) para la materia seca del aceite crudo de soya en truchas arco iris, a pesar de que el porcentaje de materia seca del aceite crudo y del aceite acidulado de soya son similares, 99.10 (Guzmán, 2015) y 99.21 respectivamente. El resultado obtenido también fue inferior a los CDA reportados por Cho y Kaushik (1990) quien trabajo con truchas arco iris a la temperatura de 15 °C y obtuvo para el aceite de pescado, el aceite crudo de soya, aceite de linaza y aceite de colsa valores de 81, 91, 95 y 90 por ciento respectivamente. Esto posiblemente se debe a que la materia seca de los aceites crudos concentran mayor porcentaje de los componentes lipídicos y el aceite acidulado de soya no solo contiene componentes lipídicos, sino también un cierto porcentaje de material no digerible, producto del proceso de obtención, como restos de jabón, anhídrido sulfuroso o material carbonizado; antioxidantes; productos insaponificables y pigmentos amarillos (carotenoides y xantofilas).

La reducción del contenido de grasa a material carbonizado es explicado por Gadea (1965), quien señala que en el proceso de acidulación, la reacción jabón-ácido es exotérmica y eleva la temperatura de la masa en unos 20 °C, y una elevada temperatura conduce, a la descomposición y pérdida de la sustancia grasa, con el consiguiente desprendimiento de anhídrido sulfuroso y materia carbonizada, Matsura (1987) recomienda como temperaturas óptimas entre 80 a 90 °C para alcanzar el máximo rendimiento. Si tenemos en cuenta estas indicaciones en el proceso de obtención, se puede obtener un aceite acidulado de mejor calidad, es decir, con una composición lipídica más abundante en ácidos grasos insaturados en comparación con los saturados o que otros impurezas.

La menor digestibilidad del aceite acidulado de soya en comparación al aceite de pescado y aceites vegetales se debe probablemente a su menor contenido de ácidos grasos insaturados (AGI), que según Siol S.A.C. (2014) es de 25 a 50 por ciento para el aceite acidulado de soya, mientras que los AGI del aceite de pescado y aceite crudo de palma según el NRC, (2011) y Lessiere et al. (2003), son 51.4 y 75.1 por ciento respectivamente.

**Cuadro 7: Análisis químico de las dietas y heces**

<b>Grupo experimental</b>	<b>Ms.de dieta (%)</b>	<b>Ms. De heces (%)</b>	<b>EB. Dieta Mcal/kg*</b>	<b>EB. Heces Mcal/kg*</b>	<b>Oxido de cromo en dietas (%) **</b>	<b>Oxido de cromo en heces (%) **</b>
<b>REFERENCIAL</b>	91.45 ± 0.0	92.23 ± 0.5	4.4 ± 0.0	3.12 ± 0.03	0.57 ± 0.0	2.0 ± 0.01
<b>PRUEBA</b>	92.75 ± 0.0	93.02 ± 0.4	4.67 ± 0.0	3.09 ± 0.14	0.52 ± 0.0	1.84 ± 0.05

Los datos reportados muestran promedios más desviación estandar en tal como ofrecido.

MS = Materia seca

EB = Energía bruta

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

\*\*Análisis de oxido de cromo realizados en el laboratorio de análisis de suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF)

**Cuadro 8.** Determinación del contenido nutricional del aceite acidulado de soya.

<b>Componente</b>	<b>Valor determinado</b>
Materia seca (%)	99.21
Energía bruta (Mcal/kg)	9.28
CDA de la materia seca (%)	75.45 ± 8.32
CDA de la energía bruta (%)	85.96 ± 3.05
Materia seca digestible (%)	74.86 ± 8.25
Energía digestible (ED) (Mcal/kg)	7.98 ± 0.28

Los datos reportados muestran promedios más desviación estándar en tal como ofrecido.

CDA: Coeficiente de digestibilidad aparente

\*Los CDA se determinaron con los datos del Cuadro 7, según ecuaciones de Cho et al. (1982) y Pezzato et al. (2004).

ED = EB \* CDA energía / 100

Siendo explicado por Schwarz et al. 1988; Strel'cova y Ol'sanskaja, citado por Steffens, (1987) que la digestibilidad de lípidos depende de la composición de ácidos grasos, y que el CDA de ácidos grasos saturados es menor que el CDA de ácidos grasos insaturados. Hua y Bureau (2009) sugieren, que AGS pueden ser incorporado a niveles de hasta aproximadamente 23 por ciento de ácidos grasos totales en la dieta sin afectar negativamente la digestibilidad de los lípidos.

Otros aspectos relacionados con la digestibilidad del aceite acidulado, son la presencia de ácidos grasos libres, lo cual es favorable en la digestibilidad, ya que los ácidos grasos libres son más polares, por lo tanto, son capaces de facilitar la formación de micelas y mejorar solubilización micelar luminal, que facilita la captación por los enterocitos intestinales. (Wing-Keong et al. 2010). También al estar presente en forma libre no necesitan ser hidrolizadas por lipasas y pueden ser absorbidos directamente por los peces. Adicionalmente, Bailey et al. (1972) menciona que los ácidos grasos, tienen un menor punto de fusión cuando se presentan como ácidos grasos libres en comparación con triacilglicerolos, facilitando su absorción.

#### **4.3. ENERGÍA DIGESTIBLE**

La energía digestible (ED) del aceite acidulado se presenta en el Cuadro 8 y el Anexo 12. Valor inferior a la ED del aceite crudo de soya, que es 8.48 Mcal/kg en truchas arco iris (Guzmán, comunicación personal) y de 9.19 Mcal/kg en paiches (Vergara, comunicación personal). El menor contenido de energía digestible del aceite acidulado de soya, está relacionado a su menor digestibilidad.

No se ha encontrado más reportes sobre ED de oleínas o aceites en peces, pero si en otras especies monogástricas. FEDNA (2014), reporta en evaluaciones con cerdos, valores de energía digestible del aceite crudo de soya de 8.7 Mcal/kg. También se ha encontrado reportes de ED del aceite crudo de palma, que según Le Duc Ngoan, citado por Ly et al. (2005) en cerdos es de 6.59 Mcal/kg y según Zumbado (1999) en aves es de 6.44 Mcal/kg.

## 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. Los coeficientes de digestibilidad aparente de la materia seca y la energía bruta determinados en el aceite acidulado de soya en juveniles de trucha arco iris son de 75.45 y de 85.96 por ciento, respectivamente.
2. El contenido de energía digestible para el aceite acidulado de soya en juveniles de trucha arco iris es de 7.98 Mcal/kg.  $\pm$  0.28 en tal como ofrecido.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Apartir del presente trabajo de investigación se recomienda lo siguiente:

1. Utilizar los valores de digestibilidad del aceite acidulado de soya determinados en la presente evaluación.
2. Utilizar el valor de 7.98 Mcal/kg de energía digestible para el aceite acidulado de soya en la formulación comercial de alimentos para truchas.
3. Realizar evaluaciones para determinar la digestibilidad del aceite acidulado de soya a temperaturas de agua inferior al usado en la presente evaluación.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

**ABIMORAD, EG; CARNEIRO, DJ.** 2004. Métodos de Coleta de Fezes e Determinação dos Coeficientes de Digestibilidade da Fração Protéica e da Energia de Alimentos para o Pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). R. Bras. Zootec. 33(5): 1101-1109.

**ADEPARUSI, EO; KOMOLAFE, A.** 2006. Effect of Faecal Collection Methods on Nutrient Digestibility in *Oreochromis niloticus* fed Soya Bean Diets. Journal of Food Technology. 4(1): 4–9.

**ANTIO TRADING** Materias primas para nutrición animal. 2013. Ficha tecnica de aceite acidulado.

**AOAC.** 1990. Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists. 15 edition.

**APARICIO, RC.** 2000 Utilización del aceite acidulado de pescado en vacas en lactación. Tesis para optar al título de ing. Zootecnista. UNALM, PE.

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

**AUSTRENG, E; SKREDE, A; ELDEGARD, A.** 1980. Digestibility of fat and fatty acids in rainbow trout and mink. Aquaculture 19, 93–95.

**AU, N; BIDART, J.** 1992. Manual de harina de pescado. Compañía pesquera San Pedro S.A.C.I., Coronel, C. 56 p.

**BAILEY, AE.,** 1950. Melting and Solidification of Fats. Interscience, New York. 357 pp.  
**Battisti, D.S., Naylor, R.L.,** 2009. Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. Science 323, pag. 240–244.

**BAZAN, LE. 2002.** Utilización del aceite acidulado de pescado en remplazo del aceite compuesto para la alimentación de truchas arco iris. Tesis para optar al título de Magister ciencia. UNALM, PE.

**BEDOYA, G. 2003.** Determinación de la energía metabolizable del aceite acidulado de soya y su evaluación comparativa en dietas de inicio para pollos. Tesis para optar al título de ing. Zootecnista. UNALM, PE.

**BERNARDINI, E. 1981.** Tecnología de aceites y grasas. 1ra. - Ed. Española. Ed. Alambra S.A. Madrid, ES 498 p.

**BLANCO, C. 1995.** La trucha cría industrial. Ediciones mundi-prensa. ES. Pag. 361-371

**BRETON, B. 2007.** El cultivo de la trucha. Ediciones Omega. A&M grafic. Barcelona. Traducida de la edición original publicada en francés por Lavoisier, 2005. Traducción Nùria Fernández .

**BUREAU, D; GIBSON, J; EL-MOWAFI, A. 2002.** Review: use of animal fats in aquaculture feeds. In cruz, L. Ricque, D. Tapia, M. Gaxiola M. Simoes, N. (Eds.). avances en nutrición avícola VI. Memorias del VI Simposium internacional de nutrición avícola. 3 al 6 de setiembre de 1 2002. Cancun, Quintana Roo, Mexico.

**CALDERON, RC. 2010.** Evaluación de la digestibilidad y desempeño en salmón del atlántico salmo salar (LINNAEUS, 1758), utilizando dietas con diferentes niveles de proteína. Tesis para optar al título de ingeniero en acuicultura. Universidad Austral de Chile.

**CAMACHO, B; MORENO, R; RODRÍGUEZ, G; LUNA ROMO, C; VÁSQUEZ, M. 2000.** Guía para el cultivo de trucha. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México D.F. MX.135 p.

**CALZADA, B. 1982.** Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Acribia. ES.

**CASTELLO, F. 2000.** Alimentos y estrategias de alimentación para reproductores y juveniles de peces marinos. Barcelona, ES. p. 550 - 569.

**CHO, C. 1987 .** Nutrición en Acuicultura II: la energía en la nutrición de los peces. Eds. J Espinosa; U Labarta. Industrias gráficas España. Madrid, ES. p. 147–243.

**CHO, C; SLINGER, SJ.** 1979. Apparent digestibility measurements in feedstuffs for rainbow trout. p. 239-247

\_\_\_\_\_, **SLINGER, SJ; BAYLER, H.** 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: Energy intake, expenditure and productivity. *Comp. Biochem. Physiol.* 73B, 25-41.

\_\_\_\_\_; **KAUSHIK, S.** 1990. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *World review of nutrition and dietetics* 61, 132-172

**CHOUBERT, G; DE LA NOUE, J; LUQUET, P.** 1979. Un nouveau collecteur automatique quantitatif de feces de poissons. *Bull. Fr. Piscic.* 288, 68-72.

\_\_\_\_\_. 1999. La digestibilité des nutriments chez les poissons aspects de méthodologie. *Cybiu* 23(1) suppl.: 113-125.

**CHOWDHURY, K; BANU, LA; KHAN, S; LATIF, A.** 2007. Studies on the fatty acid composition of edible oil. *Bangladesh J. Sci. ind. Res.* 42(3), 311-316

**COLOM, VR.** 1950. Industrias derivadas de aceites y grasas. Ed. Tip cat casals. Barcelona pg 405-412.

**CRUZ-SUAREZ, LE; TAPIA, M; VILLAREAL, D; BELTRAN, J; NIETO, MG; LEMME, A; RICQUE, D.** 2009. Apparent dry matter, energy, protein and amino acid digestibility of four soybean ingredients in white shrimp *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture.* 292: 87-94.

**DE LA OLIVA, G.** 2011. Manual de buenas practicas de producción acuícola en el cultivo de truchas arco iris. Perucamaras. (en línea). Consultado el 08 de set. del 2015. Disponible en <http://www.perucam.com/presen/pdf/19.%20Manual%20Buenas%20Pr%20Elcticas%20Acu%20EDcolas%20en%20el%20cultivo%20de%20la%20trucha%20Arco%20Iris.pdf>

**DSM** Nutricional Products Perú SA. 2014.

**FEDNA** (Fundacion Española Para El Desarrollo De La Nutricion Animal, ES). 2014. Aceites y Oleínas De Origen Vegetal (en línea). Consultado el 27 dic. 2014. Disponible en:

[http://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/aceites-y-ole%C3%ADnas-de-origen-vegetal](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/aceites-y-ole%C3%ADnas-de-origen-vegetal)

**FERNÁNDEZ, F; MIGUEL, AG; CUMPLIDO, LR; GUINEA, J; ROS, E.** 1996. Comparisons of faecal collection methods for digestibility determinations in gilthead sea bream. *Journal of Fish Biology*. 49: 735–738.

**FIGUEROA, A.** 2009. Calidad del agua en acuicultura: conceptos y aplicaciones, UNIVERSIA, Red de Universidades, Biblioteca.net. (en línea). Consultado el 10 nov. 2014. Disponible en:

[http://biblioteca.universia.net/html\\_bura/ficha/params/id/37900325.html](http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/id/37900325.html)

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

**GADEA, T.** 1965 Proyecto de planta de recuperación de ácidos grasos de los residuos de refinación de aceites. tesis ing. químico UNMSM Lima. PE. Pag. 12-20

**GARCÍA, H.** Resumen de investigaciones apoyadas por Fondeagro 1988-1992. Tomo I. Proyecto de transformación de la tecnología agropecuaria. TTA. Lima. PE. Pag. 61-63.

**GAYLORD, TG; BARROWS, FT; RAWLES, SD; LIU, K; BREGITZER, P; HANG, A; OBERT, DE; MORRIS, C.** 2009. Apparent digestibility of nutrients and energy in extruded diets from cultivars of barley and wheat selected for nutritional quality in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture Nutrition*. 15(3): 306–312.

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

**GUILLAUME, J; KAUSHIK, S; BERGOT, P; METAILLER, R.** 2004 nutrición y alimentación de peces crustáceos edición española ediciones mundi-prensa. Madrid – ES. Pag 74-77

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

**GUZMAN, A.** 2015. Determinación de la digestibilidad y energía digestible del aceite crudo de soya en truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Tesis para optar al título de ingeniero Zootecnista. UNALM. Comunicacion personal.

**GRACIANI, E; PEREZ, C; DEL PINO RUIZ, M.** 2012. Los aceites y grasas: refinación y otros procesos de transformación industrial. Editorial CIMAPRES Madrid, ES.

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

**HEPHER, B.** 1988. Nutrición de peces comerciales en estanques. 1ra-Ed. Limusa S.A. grupo noriega editores. Mexico

**HERTRAMPF, J; PIEDAD, F.** 2000. Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds (En línea). consultado el 20 de mayo del 2015. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=kJ7-CAAAQBAJ&pg=PA420&lpg=PA420&dq=digestibility+of+soybean+oil+in+rainbow+trout&source=bl&ots=OfFr6P2YLO&sig=5T56TRxoBn-xxHR13giM4xsy1c&hl=es&sa=X&ei=522MVaTdNYOyggSvzYGgBA&ved=0CBoQ6AEwADgK#v=onepage&q&f=false>

**HOSSAIN M., RAHMAN M., CHAKRABORTY S.** Digestible protein and energy value of fish meal, dextrin, fish oil. and soybean oil for Thai sharpunti (*Puntius gonionotus* Bleeker). Bangladesh Fisheries Research Institute . Bangladesh}. Fish. Res., 1 (1) : 65-72

**HUA, K; BUREAU, DP.** 2009. Development of a model to estimate digestible lipid content of salmonid fish feeds. Aquaculture 286, 271–276.

**IVOR, J.** 2002. Efecto de dos niveles de proteína y energía digestible en el comportamiento productivo de tilapia roja (*Oreochromis sp*). Tesis para optar el título de Ingeniero Pesquero. UNALM. p. 17-20.

**KIRSCHENBAUER, GH.** 1964. grasas y aceites química y tecnología 2da edición ed cecsa, mexico pp. 39-59, 97-107, 115-119.

**KONOESTER, M; VAN DEL TEMPEL M.** 1972. The solid-liquid equilibrium of binary mixtures of triglycerides with palmitic and stearic chains. Chem. Phys. Lipids. 9, 309-319.

**LEE, P; LAWRENCE, A** 1997. Digestibility . in crustacean nutrition. Advances in world aquaculture. Vol 6 eds. L.r. D'abramo; D. E. cokin and D.M. akiyama. World aquaculture society. US. 194-260 p.

**LESSIRE, M; SKIBA, F; METAYER, JP; JUIN, H; HALLOUIS, J M; BOUVAREL, I.** 2003. Digestibilite des matieres grasses (soja, palma) chez le dindon juene et age, comparaison avec le coq et le poulet. Cinquiemes Journees de la recherche avicole.

**LOVELL, T.** 1998. Nutrition and feeding of fish. 2ed. Kluwer academic publisher. 13-120 p.

\_\_\_\_\_. 2002. Diet and Fish Husbandry in: J. Halver & R. Hardy. Fish Nutrition. p. 720-730.

**LY, J; SARMENTO, L; SANTOS, R.** 2005. Las palmas como fuente de alimento para cerdos en el tropico (en linea). Revisado el 15 de agosto del 2015. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=Cic\\_9tx4SyEC&pg=PA115&dq=le+duc+Ngoan+1994&hl=es&sa=X&ved=0CB0Q6AEwAGoVChMI\\_8XE-tuGyAIVxdUeCh0P2Ais#v=onepage&q=le%20duc%20Ngoan%201994&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=Cic_9tx4SyEC&pg=PA115&dq=le+duc+Ngoan+1994&hl=es&sa=X&ved=0CB0Q6AEwAGoVChMI_8XE-tuGyAIVxdUeCh0P2Ais#v=onepage&q=le%20duc%20Ngoan%201994&f=false)

**MANRÍQUEZ, JA.** 1994. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación: Digestibilidad como criterio de evaluación de alimentos-su aplicación en peces y en la conservacion del mdio ambiente. (en linea). Consultado el 10 nov. del 2014. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/AB482S08.htm>

**MARTINEZ, M.** 2009. Dietas bajas en proteina adicionadas con acido linoleico conjugado o aceite acidulado de soya para cerdos en engorda. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de doctor en ciencias. Colegio de postgraduados. Montecillo - MX.

**MATEOS, G; SALDAÑA, B; GUZMÁN, P; FRIKHA, M; VAHID, M; BERROCOSO, J.** 2012. Utilización de aceites resultantes de procesos industriales en

piensos para animales monogástricos: oleinas, aceites reconstituidos y lecitinas. XXVIII congreso de especialización FEDNA Madrid-ES

**MATSUURA, L.A.** 1983. Otención de ácidos grasos a partir de la borra de neutralización del aceite crudo de pescado por los métodos de acidulación, mixto y enzimático. Tesis para optar al título de ing. Pesquero UNALM. Pg.32-36.

**MAYNARD, L.A. AND J.K. LOOSLI.** 1979. Animal Nutrition, 6th edition, p: 613. McGraw Hill, New York

**MELGAREJO, M.** 2003. Usos de Girasol: Nutrición, semilla, aceite y pellet. Asociación Argentina de girasol.

**MERCHEN, NR.** 1993. Digestión, absorción y excreción en los rumiantes. En: D. C Church (Ed.). El rumiante, fisiología digestiva y nutrición. Tomo I. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, ES. p. 191–223.

**MOLONY, B.** 2001. Environmental requirements and tolerances of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Brown trout (*Salmon trutta*) with especial reference to western Australia: A review. Department of Fisheries government of Western Australia research report N° 130, 1-128.

**NEWKIRK, R.** 2010. Soybean Feed Industry Guide 1st Edition. Canadian International Grains Institute. p. 12–37.

**NRC (National Research Council, U.S.)** 1993. Nutrient Requirements of fish.

\_\_\_\_\_. 2011. Nutrient Requirements of fish.

**OLSEN, R; HENDERSON R; RINGO E.** 1991. Lipids of arctic charr, *Salvelinus alpinus*. I. dietary induced changes in lipid class and fatty acid composition. *Fish Physiol. Biochem.* 9, 151-164.

**PERCIVAL, S. B; LEE, PS; CARTER, CG.** 2001. Validation of a technique for determining apparent digestibility in large (up to 5 kg) Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in sea cages. *Aquaculture.* 201: 315–327.

**PEREZ, J.** 2011. Estimación de la energía metabolizable de dos aceites acidulados de soya y su efecto en la reproducción de pollas y gallinas Bovans white. Tesis para optar al título de maestra en ciencias. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Montecillo-Mexico. 72p.

**PETIT, J; FERRON, JL.** 1975. Les problemes de l'eau en pisciculture. La pisciculture francaise 42:18-23.

**PETTERSSON, A.** 2010. Effects of replacing fish oil with vegetable oil in feed of rainbow trout (*Oncorhynchus mikiss*) and arctic charr (*Salvelinus alpinus*). Tesis doctoral. Swedish university of agricultural sciencie. Sueciae-Upsale.

**PEZZATO, LE; CARVALHO, E; BARROS, M; MATSSUMITU, W; QUINTERO, LG.** 2004. Digestibilidade aparente da la materia seca e da proteina bruta digestivel de alguns alimentos alternativos pela tilapia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Acta scientiarum. Animal sciences. Maringa v. 29, n. 3, p 329-337

**PRODUCE** (Misterio de la producción del Perú). 2015. Anuario estadístico pesquero y acuícola 2013 (en línea). Lima, PE. Consultado: 10 nov. 2015. Disponible en : <http://www.produce.gob.pe/images/stories/Repositorio/estadistica/anuario/anuario-estadistico-pesca-2013.pdf>.

**QUIJANDRIA, RV.** 1956. Proyecto de obtencion y purificacion de los acidos grasos de la borra de refinacion de aceite de semilla de algodón. Tesis ing. Química, UNMSM. Lima pp 47-50, 62-66, 73-75.

**RAWLES, SD.** 2009. A comparison of two faecal Collection methods for proteína and amino acid digestibility coefficients of menhaden fish meal and two grades of poultry by-product meals for market-size sunshine bass (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*). Aquaculture Nutrition. 16: 81 – 91.

**SARMIENTO, DF.** 2011. Informe tecnico del proyecto de investigación: eficiencia productiva de la trucha arco iris, bajo un sistema de recirculacion de aguas con diferentes densidades de carga animal en la zona de Pailones, Iasa, Ecuador. Escuela politecnica del ejercito. Sangolqui. EC. (en linea). Consultado: 08 de set. del 2015. Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4816/1/T-ESPE-IASA%20I-004576.pdf>

**SAEZ A, P.** 2003. Utilización digestiva de dietas con distintos niveles de inclusión de harina de lupino (*Lupinus albus*) en juveniles de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Escuela de Acuicultura. Facultad de Acuicultura y CS. Veterinarias. Universidad Católica de Temuco. Temuco, CO.

**SANZ, F.** 2009. La nutrición y alimentación en piscicultura. Madrid, ES, Fundación Observatorio Español de Acuicultura. 406 p.

**SCHWARZ, FJ; KIRCHGESSNER, M; STEINHART, H; RUNGE G.** 1988. Influence of different fasts with varying additions of alpha-tocopherol acetate on growth and body composition of carp (*Cyprinus carpio* L.) aquaculture 69, 57-67.

**SHEPPERSON, N; Ltd, N; LICHFIELD, UK.** 1993. Procesos industriales y calidad de las grasas: Grasas técnicas y recuperadas. IX congreso de especialización FEDNA. Barcelona-ES.

**SHIAU, S; SHY, S.** 1998. Dietary chromic oxide inclusion level required to maximize glucose utilization in hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* · *O. aureus*. Aquaculture, 161: 357–364.

**SMITH, AK; CIRCLE, JC.** 1987. Chemical composition of the seed in soybean chemistry and technology. Vol. I 2da ed, A.K. Smith and s. j. Circle (ed) avi. publishing co. Westport, Connecticut.

**STEFFENS, W.** 1987. Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Editorial Acribia – Zaragoza, ES.

**THANUTHONG, T; FRANCIS, DS; SENADHEERA, SD; JONES, PL; TURCHINI GM.** 2011. Fish oil replacement in rainbow trout diets and total dietary PUFA content: I) Effects on feed efficiency, fat deposition and the efficiency of a finishing strategy. Science Direct. Aquaculture 320. 82-90

**ULIMAN, F.** 1950. Enciclopedia química industrial. Ed. Gustavo Gill S:A: barcelona 172-175 p 179-183 p.

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

**VÁSQUEZ, D.** 2011. Eficiencia productiva de trucha arco iris, bajo un sistema de recirculación de aguas con diferentes densidades de carga animal en la zona de Pailones, IASA, EC. Tesis Ing. Agropecuario. Sangolquí. Escuela Politécnica del Ejército. 131 p.

**VERGARA, V.** 2015. Determinación de la proteína y energía digestible en paiches (*Araipama gigas*). Tesis doctoral. Comunicación personal.

**WALBAUM** (1792). Programa de información de especies acuáticas: *Oncorhynchus mykiss*. F.A.O. Departamento de pesca y acuicultura.

**WING-KEONG, NG; BASER, M; CHRIS, G; PETER, D.** 2010. Replacing dietary fish oil with palm fatty acid distillate improves fatty acid digestibility in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, maintained at optimal or elevated water temperature. *Science Direct. Aquaculture* 309. 165-172

**ZUMBADO, M; GUTIERREZ, C; PEREZ, E.** 1994. Utilización de grasas y sus subproductos en alimentación avícola. *Revistas académicas universidad de costa rica* 1(1): 43-58

\_\_\_\_\_. 1999. Chemical composition digestibility, and metabolizable energy content of different fat and oil by products. Consultado el 14 Julio, 2015

Disponibile en : <http://japr.oxfordjournals.org/> revisado

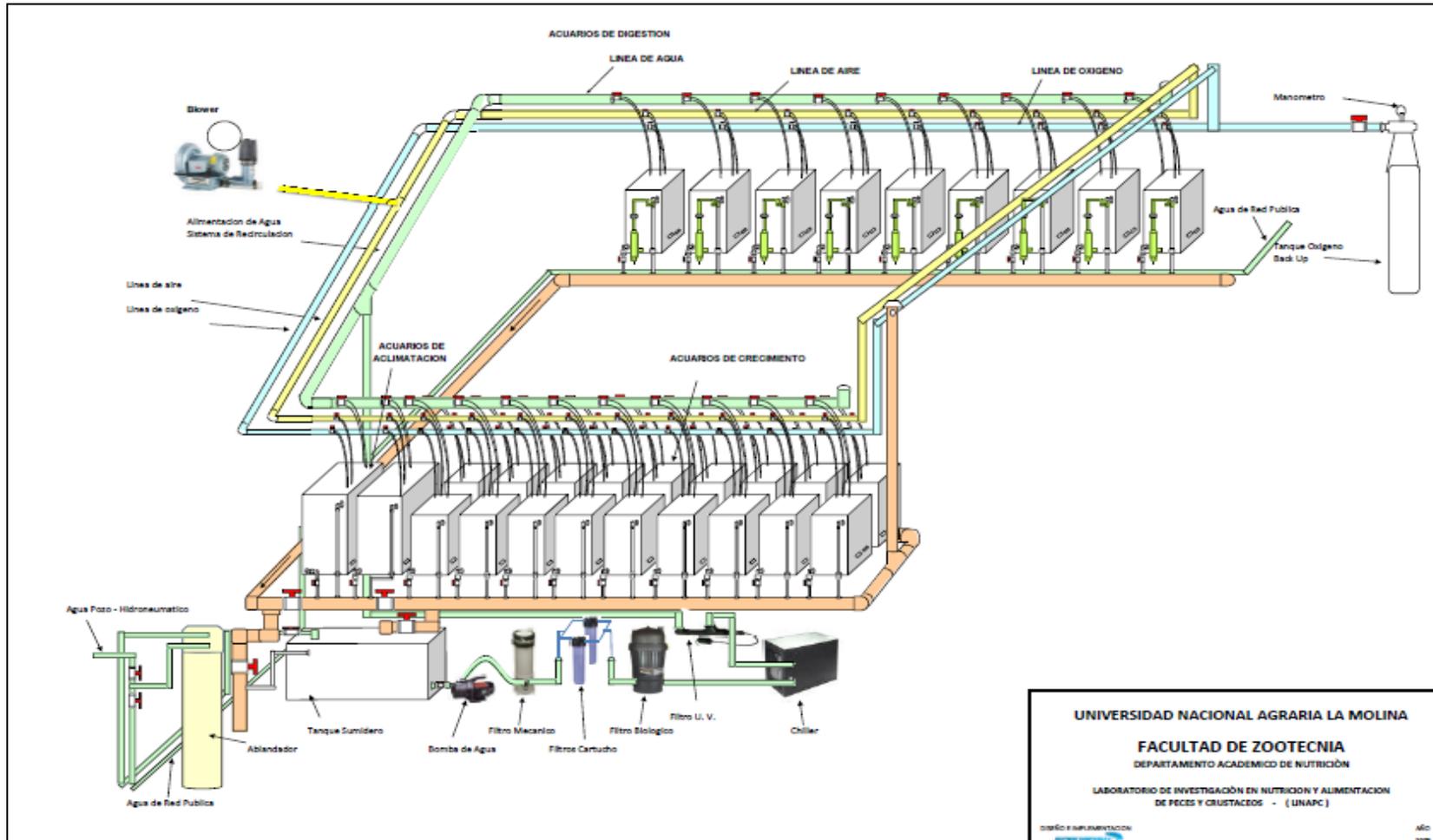
**ZUNINO, CE.** 1999. Comportamiento productivo de las gallinas hy line brown alimentadas con diferentes niveles de aceites acidulado de pescado. Tesis para optar al título de Ing. Zootecnista. UNALM. PE.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1. Instalaciones y equipos del LINAPC

EQUIPO	UNIDAD	FUNCIÓN
Ablandador de agua	1m <sup>3</sup>	Al poseer el agua de La Molina 1500 ppm (concentración de iones de Ca <sup>++</sup> y Mg <sup>++</sup> ), 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	9 unidades	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 2. Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC)



### ANEXO 3. Parámetros de calidad de agua

Parámetros		Semanas				Promedio
		1	2	3	4	
<b>Temperatura</b>	8.00 am	14	14	15	15	14.5
<b>acuarios</b>	12.00 m	14	15	16	15.5	15.1
<b>(°C)</b>	4.00 pm	14	14	15	15	14.5
<b>Temperatura</b>	8.00 am	23	24	25	24	24.0
<b>ambiental</b>	12.00 m	27	27	29	28	27.8
<b>(°C)</b>	4.00 pm	24	25	26	25	25.0
<b>Oxigeno disuelto (mg/L)</b>		9	9.3	8.4	6.3	8.25
<b>Dureza (ppm)</b>		150	170	120	140	145.0
<b>Ph</b>		7.2	7.1	6.7	7.5	7.13
<b>Nitrito (mg/L)</b>		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
<b>Nitratos (mg/L)</b>		100	100	100	100	100
<b>Amoniaco (mg/L)</b>		0.21	0.18	0.16	0.27	0.21

#### **ANEXO 4. Resultados de la materia seca y energía bruta del aceite acidulado**

---

<b>Aceite acidulado</b>	<b>Base fresca</b>	<b>Base seca</b>
Materia seca (%)	99.21	100
Energía bruta (Mcal/kg)	9.28	9.36

---

## ANEXO 5. Análisis químico proximal de las dietas brindadas

### Análisis químico proximal de la dieta referencial

Contenido nutricional	Base fresca			Base seca		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Seca	91.45	91.45	91.45	100.00	100.00	100.00
Energía bruta (Mcal/Kg)	4.40	4.40	4.40	4.81	4.81	4.81

### Análisis químico proximal de la dieta prueba

Contenido nutricional	Base fresca			Base seca		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia Seca	92.75	92.75	92.75	100.00	100.00	100.00
Energía bruta (Mcal/Kg)	4.67	4.67	4.67	5.03	5.03	5.03

## ANEXO 6. Análisis químico proximal de las heces obtenidas

### Análisis químico proximal de las heces obtenidas de la dieta referencial

---

<b>Contenido nutricional</b>	<b>Base fresca</b>			<b>Base seca</b>		
	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>
Materia Seca	92.75	92.19	91.75	100.00	100.00	100.00
Energía bruta (Mcal/Kg)	3.14	3.09	3.14	3.38	3.35	3.42

---

### Análisis químico proximal de las heces obtenidas de la dieta prueba

---

<b>Contenido nutricional</b>	<b>Base fresca</b>			<b>Base seca</b>		
	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>
Materia Seca	92.55	93.25	93.25	100.00	100.00	100.00
Energía bruta (Mcal/Kg)	3.02	3.26	3.01	3.41	3.54	3.52

---

## ANEXO 7. Valores de óxido de cromo determinado en las dietas y heces

Muestra	Repeticiones	Óxido de cromo	
		Base fresca	Base seca
Dieta referencial	R1	0.57	0.63
	R2	0.57	0.63
	R3	0.57	0.63
	Promedio	<b>0.57</b>	<b>0.53</b>
Dieta prueba	R1	0.52	0.56
	R2	0.52	0.56
	R3	0.52	0.56
	Promedio	<b>0.52</b>	<b>0.56</b>
Heces de la dieta referencial	R1	2.01	2.17
	R2	2.00	2.17
	R3	2.00	2.17
	Promedio	<b>2.003</b>	<b>2.17</b>
Heces de la dieta prueba	R1	1.79	1.94
	R2	1.89	2.03
	R3	1.84	1.97
	Promedio	<b>1.84</b>	<b>1.98</b>

## ANEXO 8. Cantidad de heces colectadas de los acuarios con la dieta referencial

		Acumulado semanal (g)		Promedio día (g)		Materia seca (%)
		Húmedas	Secas	Húmedas	Secas	
<b>Semana 1</b>	R1	13.72	1.66	1.96	0.24	11.83
	R2	20.70	2.34	2.96	0.33	11.09
	R3	18.74	1.94	2.68	0.28	11.03
<b>Semana 2</b>	R1	12.87	1.48	1.84	0.21	11.32
	R2	9.10	0.98	1.3	0.14	10.84
	R3	14.58	1.66	2.08	0.24	11.39
<b>Semana 3</b>	R1	11.73	1.45	1.68	0.20	12.25
	R2	10.39	1.25	1.48	0.18	11.93
	R3	13.87	1.65	1.98	0.24	11.91
<b>Semana 4</b>	R1	12.77	1.53	1.82	0.22	11.97
	R2	13.40	1.52	1.91	0.22	11.31
	R3	14.03	1.61	2.00	0.29	11.52
<b>TOTAL</b>	R1	51.09	6.11	1.82	0.22	11.84
	R2	53.58	6.10	1.91	0.22	11.29
	R3	61.22	6.86	2.19	0.25	11.46

**ANEXO 9. Cantidad de heces colectadas de los acuarios con la dieta prueba**

		Acumulado semanal (g)		Promedio día (g)		materia seca (%)
		Húmedas	Secas	Húmedas	Secas	
<b>Semana 1</b>	R1	21.04	2.41	3.01	0.34	11.29
	R2	23.06	2.67	3.29	0.38	11.47
	R3	22.51	2.51	3.22	0.39	11.32
<b>Semana 2</b>	R1	14.35	1.46	2.05	0.21	9.97
	R2	15.03	1.69	2.15	0.24	11.24
	R3	11.84	1.26	1.69	0.18	10.70
<b>Semana 3</b>	R1	13.96	1.56	1.99	0.22	11.19
	R2	16.33	1.86	2.33	0.27	11.34
	R3	14.81	1.71	2.12	0.244	11.91
<b>Semana 4</b>	R1	16.35	1.81	2.34	0.26	11.09
	R2	16.38	1.85	2.34	0.26	11.29
	R3	16.39	1.83	2.34	0.26	11.32
<b>TOTAL</b>	R1	65.80	7.24	2.35	0.29	10.89
	R2	70.80	8.07	2.53	0.29	11.34
	R3	65.55	7.31	2.34	0.26	11.31

**ANEXO 10. Determinación del coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca y energía bruta en la dieta referencial y dieta prueba (base seca)**

<b>COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDAD APARENTE (CDA) DE DIETAS</b>	<b>DIETA REFERENCIAL</b>	<b>DIETA PRUEBA</b>			
	<b>Promedio de repeticiones</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio de repeticiones</b>
Materia Seca de la dieta	71.16	70.95	72.27	71.43	71.55
Energía Bruta de la dieta	79.71	80.30	80.49	80.00	80.26

\*Los CDA se determinaron según ecuaciones de Cho et al. (1982)

### ANEXO 11. Coeficientes de digestibilidad aparente del aceite acidulado

CDA del aceite acidulado	BASE SECA		BASE FRESCA	
	Materia Seca (%)	Energía bruta (%)	Materia Seca (%)	Energía bruta (%)
Repetición				
R1	68.53	87.08	67.99	86.39
R2	85.10	89.48	84.42	88.77
R3	74.54	83.37	73.95	82.71
Promedio (%)	76.05	86.64	75.45	85.96
Desviación estándar	8.387	3.074	8.321	3.052
Coef. De varuiab. (%)	0.110	0.036	0.110	0.036

\*Los CDA del aceite acidulado se determinaron según ecuaciones utilizadas en Pezzato et al. (2004).

**ANEXO 12. Materia seca y energía digestible del aceite acidulado**

<b>Repetición (%)</b>	<b>BASE SECA</b>		<b>BASE FRESCA</b>	
	<b>Materia Seca digestible (%)</b>	<b>Energía digestible (Mcal/Kg)</b>	<b>Materia Seca digestible (%)</b>	<b>Energía digestible (Mcal/Kg)</b>
R1	68.53	8.15	67.45	8.02
R2	85.10	8.38	83.75	8.24
R3	74.54	7.80	73.36	7.68
Promedio	76.05	8.11	74.85	7.98
Desviación estándar	8.388	0.292	8.252	0.282
Coef. De varuiab. (%)	0.110	0.036	0.110	0.035

Energía digestible se determinada mediante el producto de la energía bruta y coeficiente de digestibilidad aparente.

**ANEXO 13. Peso (g), incremento de peso (g), consumo de alimento (g) y conversión alimentaria (g) de la prueba de digestibilidad**

<b>Dietas</b>	<b>Rep.</b>	<b>Biomasa inicial</b>	<b>Biomasa final</b>	<b>Ganancia de biomasa</b>	<b>Peso inicial</b>	<b>Peso final</b>	<b>Ganancia de peso</b>	<b>Consumo de alimento total</b>	<b>Conversión alimentaria</b>
<b>Referencial</b>	R1	348.60	536.00	187.40	116.20	178.67	62.47	70.58	1.13
	R2	348.82	549.00	200.18	116.27	183.00	66.73	64.96	0.97
	R3	353.28	587.00	233.72	117.76	195.67	77.91	96.90	1.24
	<b>Prom.</b>	<b>350.23 ± 2.64</b>	<b>557.33 ± 26.50</b>	<b>207.10 ± 23.92</b>	<b>116.74 ± 0.88</b>	<b>185.78 ± 8.83</b>	<b>69.03 ± 7.97</b>	<b>77.48 ± 17.05</b>	<b>1.12 ± 0.14</b>
<b>Prueba</b>	R1	340.00	608.49	268.49	113.33	202.83	89.50	82.04	0.92
	R2	350.71	580.85	230.14	116.90	193.62	76.71	99.60	1.30
	R3	353.83	530.49	176.66	117.94	176.83	58.89	68.05	1.16
	<b>Prom.</b>	<b>348.18 ± 7.25</b>	<b>573.28 ± 39.55</b>	<b>225.10 ± 46.12</b>	<b>116.06 ± 2.42</b>	<b>191.09 ± 13.18</b>	<b>75.03 ± 15.37</b>	<b>83.23 ± 15.81</b>	<b>1.12 ± 0.19</b>

**ANEXO 14. Precio de dietas (s./)/ kg.**

<b>Dieta comercial</b>	<b>Precio (S./)/kg</b>	<b>Cantidad (%)</b>	<b>Precio (S./)/kg dieta</b>
Harina de pescado	6.6	44.77	2.955
Harina de trigo	2.5	25	0.625
Torta de soya	1.83	25	0.458
Aceite semirrefinado	5.2	4	0.208
Sal	0.3	0.51	0.002
Ligante	12.1	0.4	0.048
Premix acuicultura	38.3	0.3	0.115
Antioxidante	14.3	0.02	0.003
Precio (S./)/kg dieta			4.413
<b>Dietas</b>	<b>(S./)/kg</b>	<b>Costo D1</b>	<b>Costo D2</b>
Dieta comercial	4.413	4.391	4.038
Oxido de cromo	200	1.000	1.000
Aceite acidulado	2	0.000	0.160
Precio (s./)/kg		5.391	5.198

D1= Dieta referencial

D2= Dieta prueba

Precios a setiembre 2015