

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE NUTRICIÓN
FACULTAD DE ZOOTECNIA**



**“DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD Y ENERGIA
DIGESTIBLE DEL ACEITE DE PALMA EN JUVENILES DE PAICHE
(*Arapaima gigas*)”**

**Presentado por:
GABRIELA SINSAYA GUTIERREZ**

**Tesis para Optar el Título de:
INGENIERO ZOOTECNISTA**









**LIMA-PERU
2022**

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)

Document Information

Analyzed document	TESIS 2020 CORREGIDO_GABRIELA SINSAYA.docx (D154086841)
Submitted	2022-12-20 15:16:00
Submitted by	Víctor Jesús Vergara Rubín
Submitter email	vjvergara@lamolina.edu.pe
Similarity	18%
Analysis address	vjvergara.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5399/benito-guardamino-carlo... Fetched: 2022-09-27 01:50:05	 1
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / TESIS GAMITANA.docx Document TESIS GAMITANA.docx (D141771577) Submitted by: mvillanueva@lamolina.edu.pe Receiver: mvillanueva.unalm@analysis.arkund.com	 10
W	URL: https://www.redalyc.org/pdf/3719/371949374006.pdf Fetched: 2020-07-13 13:59:09	 1
W	URL: https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5399 Fetched: 2022-09-27 01:50:04	 1
W	URL: https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5399/benito-guardamino-carlo... Fetched: 2022-09-27 01:49:00	 6
SA	DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES Y ENERGÍA DIGESTIBLE DEL MAÍZ (Zea mays) EN JUVENILES DE PAICHE (Arapaima gigas).docx Document DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES Y ENERGÍA DIGESTIBLE DEL MAÍZ (Zea mays) EN JUVENILES DE PAICHE (Arapaima gigas).docx (D142307029)	 9
W	URL: http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n3/a06v82n3.pdf Fetched: 2021-11-15 05:21:02	 1
SA	Actividad de Reflexion Energia de la Biomasa I_Tatiana Rodriguez Toro.docx Document Actividad de Reflexion Energia de la Biomasa I_Tatiana Rodriguez Toro.docx (D152216481)	 1
SA	Efecto de la adición de pectinasa y celulasa sobre la digestibilidad de Elaeis guin eensis (palma africana) para la obtención de aceite rojo en la extractora Quevepalm a S.A..docx Document Efecto de la adición de pectinasa y celulasa sobre la digestibilidad de Elaeis guin eensis (palma africana) para la obtención de aceite rojo en la extractora Quevepalm a S.A..docx(D32439498)	 5

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE NUTRICIÓN

FACULTAD DE ZOOTECNIA

**“DETERMINACIÓN DE DIGESTIBILIDAD Y ENERGIA DIGESTIBLE DEL ACEITE
DE PALMA EN JUVENILES DE PAICHE (*Arapaima gigas*)”**

Tesis para optar al Título de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

Presentado por:

SINSAYA GUTIERREZ GABRIELA

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Dr. Víctor Guevara Carrasco

PRESIDENTE

Ing. Víctor Vergara Rubín

PATROCINADOR

Dr. Carlos Vilchez Perales

MIEMBRO

Ing. Jessie Vargas Cárdenas

MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios por haberme enseñado el camino correcto para tener una vida de paz y felicidad.

A mis padres que me apoyaron en el momento más difícil de mi vida, gracias a su amor y comprensión pude seguir adelante y cumplir una de mis metas personales.

A mis hermanos por estar presente en los momentos más importantes para mí.

A mi mejor amiga Liliana Montoya Lombardi, por escucharme y motivarme en los grandes cambios que quiero hacer en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Víctor Vergara Rubín por su asesoría y apoyo durante todo el tiempo que duró la ejecución, redacción y sustentación de esta tesis; y por sus consejos que me ayudaron a decidir que rama de mi carrera será en la que me especializare.

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

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

Al Mc. Andrea Marchan y al Ing. David Ochoa por el apoyo y motivación constante para el desarrollo del presente trabajo.

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

Gracias a mis padres, hermanos y familia por su apoyo incondicional durante todo este proceso.

Por último y no menos importante a todos mis amigos que me animaron y apoyaron durante todo el tiempo que me tomo esta investigación.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Aceite de palma (<i>Elaeis guineensis</i>).....	3
2.1.1. Fruto de palma africana.....	3
2.1.2. Proceso de extracción del aceite crudo de palma	3
2.1.3. Composición del aceite de palma	7
2.1.4. Valor nutricional	7
2.2. EL PAICHE (<i>Arapaima gigas</i>).....	8
2.2.1. Aspectos generales	8
2.2.2. Condiciones medioambientales	15
2.2.3. Necesidades nutricionales.....	11
2.3. Digestibilidad.....	13
2.3.1. Coeficientes de digestibilidad	15
2.3.2. Métodos para determinar la digestibilidad	16
2.3.3. Métodos para la recolección de heces	17
2.3.4. Factores que influyen en la digestibilidad	19
2.4. Evaluaciones de digestibilidad y energía digestible en peces amazónicos	21
III. MATERIALES Y METODOS	23
3.1 Lugar y periodo de duración de la fase experimental.....	23
3.2 Instalaciones, equipos y materiales	23
3.3 Evaluación de la calidad de agua.....	24
3.3.1 Oxígeno Disuelto	24
3.3.2 Temperatura.....	24
3.3.3 Dureza	24
3.3.4 Potencial Hidrógeno (pH).....	24
3.3.5 Nitrógeno Amoniacal	24
3.3.6 Nitrato.....	25
3.3.7 Nitrito	25

3.4	Animales experimentales.....	25
3.5	Producto evaluado	25
3.6	Dietas experimentales.....	25
3.7	Preparación de las dietas.....	26
3.8	Manejo experimental	28
3.8.1	Suministro de alimento	28
3.8.2	Recolección de heces	28
3.8.3	Análisis de laboratorio	28
3.8.1	Calidad de agua.....	29
3.9	Determinación de la digestibilidad.....	31
3.9.1	Cálculo de coeficiente de digestibilidad aparente	31
3.9.2	Cálculo de la energía digestible y materia seca digestible del aceite crudo de palma.	32
3.10	Parámetros estadísticos.....	32
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1	Coeficientes de digestibilidad aparente del aceite de palma	33
4.2	Energía digestible del aceite de palma	34
V.	CONCLUSIONES.....	37
VI.	RECOMENDACIONES.....	38
VII.	REVISION BIBLIOGRAFICA.....	39
VIII.	ANEXOS.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición de ácidos grasos de aceite de palma.	8
Tabla 2: Parámetros de calidad del agua para Paiche (<i>Arapaima gigas</i>).....	11
Tabla 3: Fórmula y valor nutricional de la dieta de referencia.....	26
Tabla 4: Formula de premezcla de vitaminas y minerales para la acuicultura.....	27
Tabla 5: Parámetros de calidad de agua	30
Tabla 6: Análisis químico de las dietas y heces	35
Tabla 7. Contenido nutricional, coeficientes de digestibilidad y energía digestible del aceite crudo de palma.....	36

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo del proceso de obtención del aceite de palma crudo.....	4
---	---

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Instalaciones y equipos del LINAPC	46
ANEXO 2. Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC)	47
ANEXO 3. Parámetros de calidad de agua.	48
ANEXO 4. Resultados de la materia seca y energía bruta del aceite de palma	49
ANEXO 5. Análisis químico proximal de las dietas brindadas	50
ANEXO 6. Análisis químico proximal de las heces obtenidas	51
ANEXO 7. Valores de óxido de cromo determinado en las dietas y heces	52
ANEXO 8. Cantidad de heces colectadas de los acuarios con la dieta referencial.....	53
ANEXO 9. Cantidad de heces colectadas de los acuarios con la dieta prueba	54
ANEXO 10. Determinación del coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca y energía bruta en la dieta referencial y dieta prueba (base seca)	55
ANEXO 11. Coeficientes de digestibilidad aparente del aceite de palma.	56
ANEXO 12. Materia seca y energía digestible del aceite de palma.	57
ANEXO 13. Peso (g), incremento de peso (g), consumo de alimento (g) y conversión alimentaria (g) de la prueba de digestibilidad	58

RESUMEN

La investigación se realizó para determinar la digestibilidad y el coeficiente de energía digestible del aceite de palma (*Elaeis guineensis*) en juveniles de paiche (*Arapaima gigas*), utilizando el método indirecto con el marcador óxido crómico, con el fin de obtener la información necesaria para formular dietas más eficientes y reducir la excreción de nutrientes. Se utilizaron 18 juveniles de Paiche, adquiridos de la estación piscícola Fundo Palmeras de Silver Corporation SAC. Al llegar los peces al Laboratorio en Investigación en Nutrición y Alimentación en Peces y Crustáceos, se mantuvieron una semana en 2 acuarios especiales de adaptación de 120 litros de capacidad cada uno. Posteriormente fueron distribuidos aleatoriamente en seis acuarios de digestibilidad tipo Guelph, en número de tres peces por acuario. El alimento se suministró a los peces a saciedad los 19 días del periodo de evaluación, durante la cual se realizó las colecciones diarias de heces. Los resultados que se obtuvieron muestra que la digestibilidad para la materia seca del aceite de palma es de 70.46 por ciento y la energía digestible obtenida fue de 7.76 Mcal/kg en juveniles de paiche .Se concluye que se puede utilizar el aceite crudo de palma en la alimentación del paiche, sin alterar su digestibilidad.

Palabra clave: energía, paiche, *Arapaima gigas*, aceite de palma, *Elaeis guineensis*, digestibilidad, energía digestible.

ABSTRACT

The research was carried out to determine the digestibility and digestible energy coefficient of palm oil (*Elaeis guineensis*) in juvenile paiche (*Arapaima gigas*), using the indirect method with the chromic oxide marker, in order to obtain the necessary information to formulate more efficient diets and reduce nutrient excretion. 18 juveniles from Paiche were used, acquired from the Fundo Palmeras fish station of Silver Corporation SAC. When the fish arrived at the Laboratory for Research in Nutrition and Food in Fish and Crustaceans, they were kept for a week in 2 special adaptation aquariums of 120 liters capacity each. Subsequently, they were randomly distributed in six Guelph-type digestibility aquariums, in number of three fish per aquarium. The food was fed to the fish to satiety the 19 days of the evaluation period, during which the daily stool collections were made. The results obtained show that the digestibility for dry matter of palm oil is 70.46 percent and the digestible energy obtained was 7.78 Mcal / kg in juvenile paiche. It is concluded that crude palm oil can be used in feeding the paiche, without altering its digestibility.

Keyword: energy, paiche, *Arapaima gigas*, palm oil, *Elaeis guineensis*, digestibility, digestible energy.

I. INTRODUCCION

La acuicultura con el pasar de los años ha llegado a ser un rubro de producción económica muy importante a nivel mundial debido a la gran demanda del mercado por el consumo de especies hidrobiológicas. Las proyecciones de la FAO consideran que la producción acuícola mundial crecerá aceleradamente hasta alcanzar los 83 millones de toneladas en el año 2030, lo que eventualmente convertiría a la acuicultura en la principal fuente abastecedora de peces para la alimentación humana. En estos últimos años en nuestro país se ha venido desarrollando un incremento significativo en la acuicultura, lo cual señala que esta actividad se está convirtiendo en una alternativa de desarrollo para la población.

Entre las especies que se cultivan en el Perú, el paiche (*Arapaima gigas*), es considerado uno de los peces de agua dulce más grande del planeta, siendo un recurso pesquero acuícola aprovechado comercialmente, que contribuye al desarrollo socioeconómico. Razón por el cual, se busca optimizar la producción de paiche mediante el alimento balanceado, para cubrir sus necesidades nutricionales y expresar un crecimiento óptimo.

La energía es un componente muy importante en la formulación de alimentos para peces, sin embargo, en algunos casos el ingrediente es de alto costo. Por consiguiente, debemos considerar nuevos ingredientes locales económicos como posible fuente de energía, para mantener o reducir los costos de producción. Los aceites son la fuente de mayor concentración energética, aportan 2.5 veces más calorías que otros ingredientes como el maíz. El aceite de palma es el segundo tipo de aceite con mayor volumen de producción, después del aceite de soja. La composición del aceite crudo de palma en promedio es de 40 a 48% ácidos grasos saturados (principalmente palmítico), 37 a 46% ácidos grasos monoinsaturados (principalmente oleico) y 10% de ácidos grasos poliinsaturados. Además, es considerado una buena opción para reemplazar el aceite de pescado en las dietas acuícolas, debido a que no compromete el crecimiento, la utilización de las dietas, así como la composición nutricional de los peces. El aceite crudo de palma es un aceite de uso no

convencional en la alimentación acuícola, aún no ha sido evaluado en paiche. Por ello el objetivo general de la presente investigación es determinar la digestibilidad aparente y energía digestible del aceite de palma en juveniles de paiche, utilizando el método indirecto con el marcador óxido crómico

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Aceite de palma (*Elaeis guineensis*)

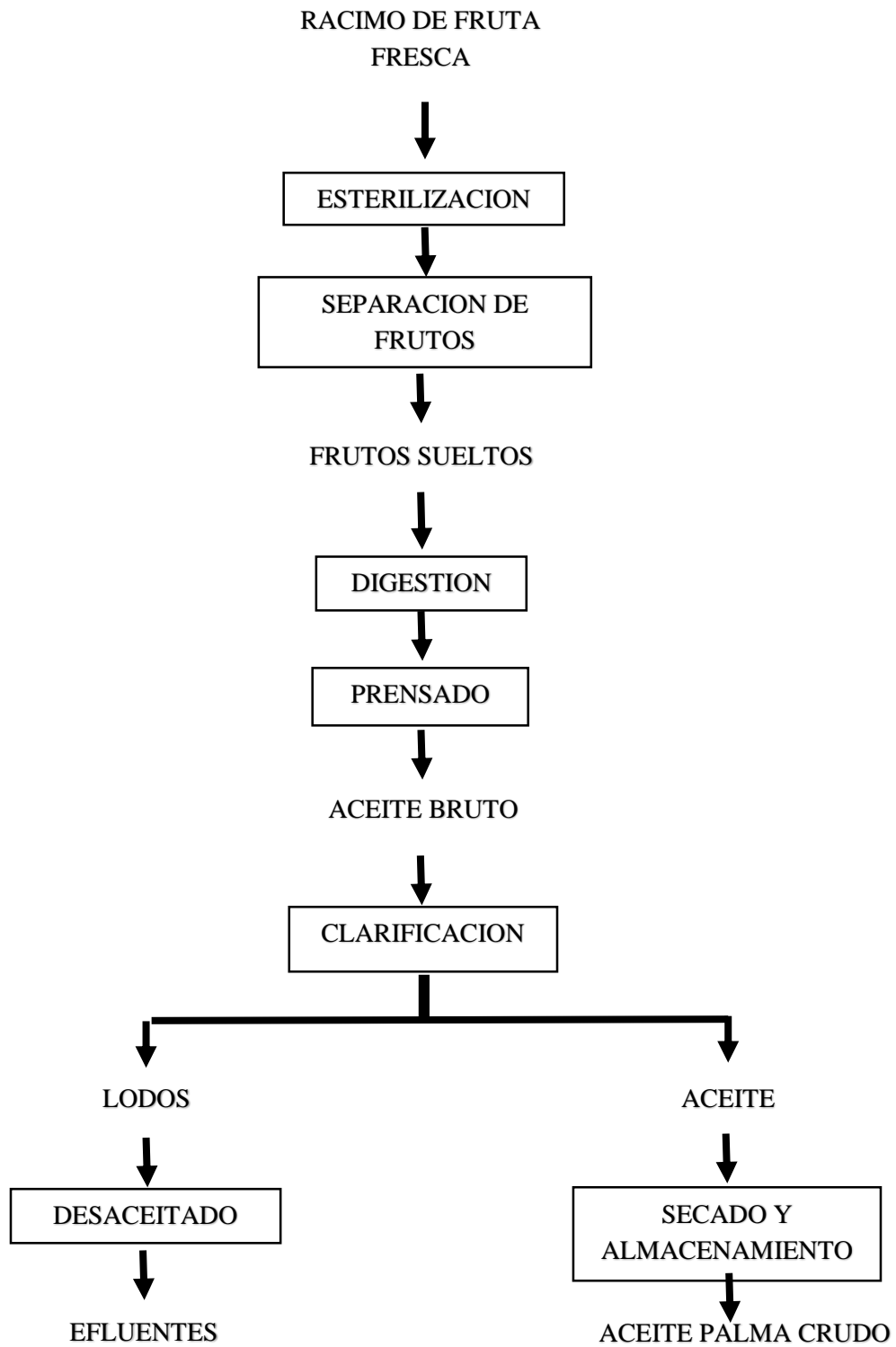
2.1.1. Fruto de palma africana

El fruto de palma africana tiene forma ovoide, de 3 a 6 cm de largos y cuentan con un peso aprox. de 5 a 12 gramos. Tienen la piel lisa y brillante (Exocarpio), una pulpa o tejido fibroso que contiene las células con aceite (Mesocarpio), una nuez o semilla compuesta por un cuesco lignificado (Endocarpio), y una almendra aceitosa o palmiste (Endospermo). Los frutos insertados en las espiguillas que rodean el raquis en forma helicoidal, conforman los racimos (con peso variable entre 5 a 40 Kg.) (Gonzales ,2017). Antes de adquirir el vistoso color anaranjado rojizo del sol tropical, que les brinda la madurez, los frutos son de un tono violeta oscuro, casi negro. En su interior guardan una única semilla, la almendra o palmiste, que protegen con el cuesco, un endocarpio leñoso, y a su vez por una pulpa carnososa. Ambas, almendra y pulpa, proveen aceite con generosidad. La primera, el de palmiste, y la segunda, el de palma específicamente (Cenipalma,2013).

2.1.2. Proceso de extracción del aceite crudo de palma

El proceso de extracción de aceite de palma se podría retrotraer hasta la actividad de corta de la fruta, el amontonamiento y transporte posterior a la planta de extracción (MAG ,2006). El flujo del proceso del aceite de palma se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Flujograma del proceso de obtención del aceite de palma crudo.



Fuente: MAG (2006).

Se realiza en primera instancia el registro del peso de la fruta que ingresa a la planta extractora, mediante una báscula tipo camionera con capacidad hasta 60 toneladas (Delgado,2014). Seguidamente se deposita los racimos de fruta y el fruto suelto en las tolvas para proceder luego a evaluar la calidad de la materia prima, por medio de un muestreo aleatorio del 10 % de la carga se determina el porcentaje de fruta verde, porcentaje de fruta pasada, porcentaje de Pinzote (MAG ,2006).

La esterilización es la primera etapa y posiblemente la más importante del proceso de extracción del aceite de palma. Los objetivos primordiales son: Inactivar las enzimas que causan el desdoblamiento del aceite y en consecuencia el incremento del porcentaje de ácidos grasos libres,acelerar el proceso de ablandamiento de la unión de los frutos con su soporte natural (raquíz o tuza) ,disminuir la resistencia de los tejidos de la pulpa para lograr el fácil rompimiento de las celdas de aceite durante los procesos de digestión y prensado. Y por último deshidratar parcialmente las almendras contenida en la nuez, para facilitar su recuperación posterior. El proceso de esterilización se lleva a cabo, generalmente sometiendo los racimos de fruto fresco de palma a la acción de vapor de agua en recipientes cilíndricos horizontales (autoclaves), en donde los factores principales son el tiempo de cocción y la temperatura, dependiendo del tamaño de los racimos y del grado de madurez del racimo (MAG ,2006).

Luego que un grupo de 8 góndolas es llenado se procede a introducirlos en la autoclave, luego se procede a abrir la válvula de alimentación de vapor que suministra una presión de 45 psi saturado y no seco. La fruta se mantiene por un periodo de 90 minutos dentro del autoclave con una temperatura aproximada de 147°C para luego utilizar 15 minutos en cargue y descargue del esterilizador. Se pierde 1 % en humedad y grasa .Luego de haber esterilizado los racimos se procede a separar el fruto del racimo esto se hace en un tambor rotatorio, el fruto se separa para luego enviarlo al digestor por medio de un elevador y el racimo vacío es llevado al campo para utilizarlo como abono orgánico (MAG ,2006).

La fruta esterilizada es llevada hasta un digestor donde ocurre una maceración de los mismos (preparación antes del prensado).Una vez los frutos son macerados, pasan a una prensa de doble tornillo donde por extrusión ocurre el exprimido del aceite contenido en el mesocarpio de las frutas; originándose entonces dos corrientes: una fase líquida compuesta por aceite,

lodos livianos, agua y lodos pesados y una fase sólida compuesta por fibra (fibra de mesocarpio + fibra de raquis) y las nueces (Delgado,2014).

El aceite crudo de Palma, proveniente del prensado del mesocarpio del fruto de la palma de aceite contiene cantidades variables de impurezas de tipo vegetal (solubles e insolubles), arena y agua, que deben ser removidos con el fin de dar al producto terminado claridad, estabilidad y buena apariencia, lo anterior se logra mediante el clarificado del licor por decantación y centrifugado. Debido a que el aceite crudo de Palma Africana es altamente viscoso, se hace necesario adicionar suficiente agua de dilución para lograr una buena separación del aceite y lodos (MAG ,2006).

Ya en la sección de clarificación, la mezcla aceite – agua – lodos es pasada por un proceso de desarenado con el fin de remover las arenas y tierras. Luego del desarenado, la mezcla aceite – agua – lodos pasa al tamizado cuya función es remover una alta cantidad de sólidos con un mínimo de arrastre de aceite y lograr la máxima reducción en la viscosidad con una mínima reducción en el tamaño de las gotas de aceite. Después de haber tamizado la mezcla se procede a elevar la temperatura de la mezcla llevándola a 95– 98 °C, luego de calentado el aceite pasa al tanque clarificador donde se le aplica agitación constante con el fin de acelerar la separación de la mezcla, el aceite ya separado de las otras fases es decantado y enviado a un tanque de aceite el cual cuenta con serpentines para mantener la temperatura a 80 grados , este aceite decantado se le elimina la humedad en una unidad de vacío (MAG ,2006). Para garantizar un aceite libre de impurezas en los despachos de aceite, se recomienda que la conexión de la succión de la bomba de despacho este ubicada a un nivel tal que esté por encima del nivel de sedimentación (Delgado,2014).

Se recomienda desocupar regularmente los tanques de almacenamiento de aceite, para realizarles limpieza de los sólidos precipitados en el fondo de los mismos y que pueden afectar la calidad del aceite almacenado si no hacemos dicha limpieza.

2.1.3. Composición del aceite de palma

Los ácidos grasos insaturados que constituyen los triglicéridos (TG) del aceite de palma son el oleico (36-44%) y el linoleico (9-12%) que tienen configuración cis. También posee los ácidos grasos saturados palmítico (39,3-47,5%) y esteárico (3,5-6%). En lo fundamental, la composición de los triglicéridos del aceite es: 1-palmitoil-2,3-dioleoil-sn-glicerol (alrededor de 23%) y 1,3-dipalmitoil-2-oleoilsn-glicerol (cerca del 18%). Dichos triglicéridos se caracterizan porque el ácido oleico se encuentra en mayor proporción en la posición sn-2 del TG, lo que proporciona una mejor biodisponibilidad de ácidos grasos monoinsaturados (Rincon y Martinez ,2009).

2.1.4. Valor nutricional

En cuanto a los micronutrientes, este aceite en su forma cruda contiene de 3 a 4 veces más carotenos que el aceite de palma “tradicional” (obtenido de *E. guineensis*) y hasta 15 veces más que la zanahoria. Además, es una de las principales fuentes naturales de tocotrienoles, asociados con la modulación de estados inflamatorios prooxidativos; de esteroides y de antioxidantes fenólicos, micronutrientes con gran potencial para las industrias de alimentos y farmacéutica, gracias a sus propiedades nutraceuticas (Cenipalma,2013).

Entre las propiedades energéticas del aceite se encuentran el calor estándar de formación y el calor de combustión. La primera es una medida de la energía de unión de las moléculas de la sustancia y la segunda estima el calor necesario para oxidar totalmente hasta dióxido de carbono sus componentes. Con respecto a este último, se encontró que mientras que para el aceite de canola el calor de combustión es de 41,45 kJ/g, para el de soya de 40,98 kJ/g, para el de oliva de 39,31 kJ/g, y para el aceite de palma lo es de aproximadamente 42,99 kJ/g, similar al de los otros aceites (Argeros citado por Rincon,2009). Por otro lado, el calor de formación para el aceite de palma tiene un valor entre $1,84 \cdot 10^9$ - $2,05 \cdot 10^9$ J/kmol, que es alto, debido a su alto peso molecular (Rincón y Martinez ,2009).En el Tabla 1 se muestra Composición de ácidos grasos de 100g de aceite crudo de palma, observando que está compuesto principalmente por ácidos palmítico y oléico, además de otros ácidos grasos en menor proporción.

Tabla 1: Composición de ácidos grasos de aceite de palma.

ACIDOS GRASOS	ACEITE CRUDO DE PALMA
Ácido Mirístico	1.2 – 5.9
Ácido Palmítico	31.5 – 43.8
Ácido Esteárico	2.2 – 5.9
Ácido Oléico	34.8 – 49.5
Ácido Linolénico	6.5 – 11.2

Fuente: Unipalma S.A. (2009)

2.2. EL PAICHE (*Arapaima gigas*)

2.2.1. Aspectos generales

El Paiche, *Arapaima gigas*, es el segundo pez escamado más grande que habita en aguas dulces después del pez lagarto norteamericano y el sexto entre todos los peces de agua dulce del mundo. Puede alcanzar hasta 3 metros de longitud, pesar 250 kg (Imbiriba, 1994). El Orden Osteoglossiformes al que pertenece *A. gigas*, está integrado por un grupo de peces teleósteos que apareció en el Jurásico Superior, hace 165 millones de años. Este orden tiene dos caracteres específicos: una lengua carrasposa capaz de aplastar la presa contra el paraesfenoides, también dentado, con el fin de decapitarla y un par de barras óseas en la base del segundo arco branquial. La Familia Arapaimidae se caracteriza por tener la aleta anal restringida al último tercio del cuerpo, la cabeza es pequeña y achatada dorso ventralmente, la boca es terminal, con lengua ósea y áspera y cuerpo con escamas gruesas. La familia está representada por una sola especie *Arapaima gigas*, conocida comúnmente como Pirarucú, la cual es endémica del Neotrópico suramericano (Franco, 2005).

El Paiche se alimenta, principalmente, de peces vivos y en condiciones de cultivo acepta alimentos balanceados. Su carne posee un rendimiento de 57% de filete, carece de huesos intermusculares, tiene buena textura, es de color blanco y de sabor agradable, por lo que tiene un gran potencial para obtener productos con valor agregado (IIAP ,2006).

Como la gran mayoría de peces de agua dulce, procura alimentarse en el atardecer o amanecer; durante el día cuando el calor es intenso, se mete debajo de la vegetación acuática en busca de cualquier sombra para huir de los fuertes rayos solares, manteniéndose quieto en el fondo del agua, emergiendo algunas veces para tomar aire. En cautiverio acepta peces vivos o muertos, enteros o en trozos, vísceras de pescado, embriones de pollo, que mueren durante el periodo de incubación artificial, y también ensilado biológico de peces (Rebaza et al. 1999).

2.2.2. Condiciones medioambientales

El paiche habita en ríos de corriente suaves, lagunas poco profundas con abundante vegetación flotante (IIAP, 2017), los cuales sufren la influencia del ciclo hidrológico de las estaciones de sequía y llena. En ciertas ocasiones, durante la estación seca, los lagos pueden quedar aislados del cuerpo de agua principal, comprometiendo la calidad físico-química del agua y adensando a los organismos. Con ello hay aumento de la concentración de residuos nitrogenados oriundos de las excretas y de la descomposición de los organismos acuáticos, debido a la evaporación e infiltración, que disminuyen el volumen, y la eutrofización del agua. La acumulación de esta materia orgánica lleva el mayor consumo de oxígeno, agravando las condiciones ambientales. Esta situación puede haber llevado varios animales, incluso el pirarucu, a adaptarse a las adversidades en los ambientes acuáticos (Cavero et al., 2004).

Para cultivos de “Paiche”, la temperatura adecuada del agua oscila entre 24° y 31°C. Esta especie excepcionalmente puede soportar hasta 34°C por poco tiempo y de persistir esta condición, puede ocurrir mortalidad. Igualmente, temperaturas menores a 18°C también pueden ocasionar su muerte (FONDEPES,2016).

El pH del agua de los estanques es fuertemente influenciado por la concentración del dióxido de carbono, el cual actúa como sustancia ácida. El fitoplancton y las plantas acuáticas fijan el dióxido de carbono durante el proceso de la fotosíntesis (día) disminuyendo su concentración en el agua y lo liberan durante el proceso de respiración (noche), por esta razón se producen variaciones de pH a través del curso diario, observándose mayores valores durante el día y menores durante la noche. Por lo anterior es recomendable hacer mediciones en las primeras horas de la mañana y al final de la tarde a fin de conocer el comportamiento de este parámetro en el estanque. El pH recomendado para el manejo del Pirarucú debe estar entre 6,5 y 8,0 unidades (Franco y Pelaez,2007).

Entre los gases disueltos en el agua, el oxígeno es el más importante, debido a que es necesario para la respiración de los peces y demás organismos aerobios. El oxígeno disuelto del agua proviene principalmente del intercambio gaseoso con la atmósfera y por el aporte de la fotosíntesis. El contenido de oxígeno disuelto en el agua de los estanques es el factor más crítico para el control de la calidad de agua en piscicultura. (Franco y Pelaez,2007). El arapaima, *Arapaima gigas*, es considerado un pez rústico por su aire - la respiración, un hecho que le permite tolerar el agua con bajos niveles de oxígeno disuelto, sin embargo, su tolerancia de los ambientes acuáticos con altas concentraciones de amoníaco no se conoce (Cavero et al., 2004). El Paiche es una especie heterosexuales, sin dimorfismo sexual y con fecundación externa, y se aclimata con facilidad en los ambientes artificiales, tanto en grandes embalses o en pequeños estanques en donde se reproduce naturalmente (Rebaza et al. 1999).

No son muy exigentes porque tiene respiración complementaria, branquias pocas desarrolladas para captar el oxígeno del agua y “pulmones” rudimentarios para captar el oxígeno del aire. El Paiche mantenido por mucho tiempo (2 horas) solo en el agua o solo fuera del agua se muere por asfixia, necesitan de ambos sistemas al mismo tiempo (Campos,2001).

Algunos autores evaluaron la tolerancia al amonio en cultivos de “paiche”, indicando que esta especie es bastante tolerante a ese compuesto en el agua. De cualquier forma, los niveles elevados de amonio en el agua son indeseables, se recomienda mantener valores menores a

0.005 mg/l de NH₄⁺ (FONDEPES,2016). En el Tabla 2, se presenta las condiciones hidrobiológicas que son límite de tolerancia para el cultivo de Paiche.

Tabla 2: Parámetros de calidad del agua para Paiche (*Arapaima gigas*).

Parámetros	Unidad	Rango
Temperatura del Agua	°C	26 – 31
Precipitaciones pluviales	l/m ²	> 400
Transparencia	cm	30 – 60
Oxígeno disuelto	mg/l	> 4.0
pH	UI	6.0 - 8.0
Amonio	mg/l	< 0.005

Fuente: FONDEPES (2016)

2.2.3. Necesidades nutricionales

Los animales terrestres y los peces presentan similares rutas metabólicas para convertir aminoácidos, carbohidratos y lípidos en energía. Es preferible que los carbohidratos y lípidos sean metabolizados a energía de manera que la proteína (aminoácidos) puedan ser usados para síntesis de tejidos. Para asegurar esto, debe haber un adecuado balance de proteína y energía en la dieta para optimizar el crecimiento y producción de tejido magro. Las relaciones de energía: proteína que varían de 8 a 10 kcal ED/g de proteína son óptimas para varias especies de peces (Gatlin, 2010). Vergara (2014), menciona que el valor de 53.74 % de proteína es un requerimiento óptimo para alevines de Paiche. Ituassu et al.(2005), también evaluaron el efecto de diferentes niveles de la proteína en el crecimiento de paiche juvenil, con cuatro tratamientos (32,7%, 39,3%, 43,4% y 48,6% de proteína bruta), encontrando que las dietas con 48,6% de proteína resultaron en mejor ganancia de peso, crecimiento específico y composición corporal diferenciada.

Se determinó el requerimiento de energía digestible (ED), utilizando el método de evaluación dosis respuesta en alevines de Paiche, los resultados son los siguientes: El modelo broken-line indica como requerimiento el nivel de 4.80 Mcal. ED/Kg, mientras que el análisis de regresión encuentra el valor de 4.96 Mcal. ED/Kg. Utilizando el parámetro de eficiencia, el modelo broken-line establece el valor de 4.81, mientras que por análisis de regresión se obtiene el valor de 4.84 Mcal de ED/Kg de alimento como requerimiento para el paiche.(Vergara,2014)

Los ácidos grasos esenciales más importantes para el pez, son los insaturados linolénico y linoleico (estos se encuentran en frutos nativos como: pijuayo o chonta duro, también en pasta de soya, entre otros). Los peces de agua dulce, en general, requieren más concentración de linolénico que de linoleico. Sin embargo, peces tropicales como la "gamitana", el "paco" y el "sábalo cola roja", deben crecer mejor cuando son alimentados con dietas que contienen una mezcla de los ácidos grasos linolénico y linoleico.(IIAP,1999)

Los ácidos grasos linolénico y linoleico son esenciales para peces tropicales y deberían ser incorporados a niveles por lo menos de 1% del alimento para el máximo crecimiento. Esto puede lograrse con la adición de 3-5% de aceite de pescado o 10% de aceite de soya. Se ha recomendado utilizar valores de lípidos entre el 4-10% de la dieta, debido a que las cantidades mínimas y tipos de grasas necesarias para el crecimiento más eficiente de los peces no son bien conocidos. (IIAP,1999)

Las dietas para reproductores deberán contemplar el suministro de nutrientes en cantidades suficientes para garantizar la cobertura de las necesidades de mantenimiento y reproducción. Los niveles adecuados de proteína para esta fase deben ser menores al 40% y también disminuir los niveles de energía digestible. El suministro de minerales esenciales, Cu, Fe, Zn y Se, críticos para la reproducción y como cofactores de enzimas (glutaciona peroxidasa, catalasa, etc.) y proteínas de respuesta aguda (e.g. Zn-metalotionina y ceruloplasmina, etc.) deben ser considerados en la formulación de estas raciones (IIAP,2007).

Los peces requieren minerales como factores esenciales, para el metabolismo y el crecimiento. Los peces tienen la capacidad de absorber parte de los minerales requeridos directamente del agua a través de las branquias o incluso a través de toda la superficie corporal. Este proceso es importante para la osmoregulación en los peces de agua dulce, pero también para su nutrición. Sin embargo, los minerales absorbidos del agua no satisfacen el requerimiento total, por lo que es necesario agregar minerales en la dieta. Se ha determinado por experiencia que el calcio y el fósforo son minerales esenciales para los peces. La relación calcio/fósforo en las dietas debe ser de 3 a 5 g de calcio por 3 a 5 g de fósforo por kg. de la dieta. El sodio y el potasio también se han considerado importantes especialmente para los peces de agua dulce, se recomienda de 1 a 3 g/kilo de dieta (IIAP,1999).

Las vitaminas son elementos necesarios para la salud, vida y crecimiento del pez. Los niveles óptimos de vitaminas necesarias, no son bien conocidos para algunas especies de clima cálido, pero se ha estudiado mucho sobre deficiencias de éstas y las consecuencias que generalmente se manifiestan en enfermedades irreversibles. Las vitaminas del grupo B son necesarias en pequeñas cantidades, pero tienen importantes funciones en el metabolismo de los peces. Las otras vitaminas hidrosolubles, a excepción del APAB, pueden requerirse en mayores cantidades. Las vitaminas liposolubles A, E y K son esenciales para los peces. El requerimiento de vitaminas varía con la edad; así los peces más jóvenes requieren mayor cantidad de inositol que los de mayor edad (IIAP,1999).

2.3. Digestibilidad

La digestibilidad es principalmente una medida de desaparición de nutrientes. Se presumen nutrientes digeridos disponible para el organismo para el crecimiento y el metabolismo, aunque este no es siempre el caso. La digestibilidad es el término utilizado para nutrientes que están sujetos al proceso digestivo, como las proteínas que se hidrolizan a aminoácidos antes de la absorción (NRC,2011).

El término de digestibilidad del alimento es usado para describir únicamente la porción del alimento absorbido por el organismo y es comúnmente medido en sistemas terrestres como

la diferencia entre el total de alimento ingerido y la cantidad de heces totales producidas sobre un tiempo determinado. Debido a que las heces también contienen una cierta cantidad de nutrientes perdidos por el intestino como un resultado de la descamación del epitelio intestinal, estos valores son normalmente restados de la producción fecal para obtener una medida más precisa o “verdadera” de la digestibilidad. Estas pérdidas son comúnmente referidas como pérdidas metabólicas fecales. Debido a que difícil determinar estas pérdidas con algún nivel de precisión usando métodos empíricos, la mayoría de los nutricionistas de organismos acuáticos determinan la “digestibilidad aparente” (Fox y Lawrence, 2008). La digestibilidad sirve de medida de calidad dietética y disponibilidad de nutrientes utilizados para evaluar alimentos, y como base para estimar necesidades dietéticas y requerimientos (Harmon, 2007).

En la práctica lo que generalmente se denomina digestibilidad es en realidad una digestibilidad aparente, puesto que no tiene en cuenta las secreciones endógenas y las transformaciones que tienen lugar durante la digestión y que pueden ser excretadas por la vía fecal. Es muy difícil aun experimentalmente, poder delimitar cuál es la digestibilidad verdadera y particular, por lo que se acepta indistintamente el término de digestibilidad aparente o el de digestibilidad (Ly, 1999).

La digestibilidad de un alimento suele expresarse como la digestibilidad del mismo en base seca, y también como la digestibilidad de sus principios nutritivos. Estos últimos a pesar de los criterios surgidos acerca de su expresión en términos químicos o bioquímicos, siguen aceptándose como los de mayor utilidad práctica, y se corresponden con el bien conocido esquema analítico de Weende, es decir, ceniza, materia orgánica (materia seca menos ceniza), proteína cruda (N x 6.25), extracto etéreo o grasa cruda, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno, el que incluye el almidón y otros azúcares solubles (Ly, 1999).

2.3.1. Coeficientes de digestibilidad

El conocimiento de los coeficientes de digestibilidad viabiliza la inclusión de una gran variedad de productos y subproductos de la agroindustria en raciones para peces (NRC,2011). 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).

a. Coeficiente de digestibilidad aparente (CDA)

El coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de los nutrientes en los alimentos se calcula utilizando la concentración del marcador indirecto (óxido crómico en este ejemplo) en los alimentos y heces usando la siguiente ecuación (Cho et al. 1982):

$$CDA (d) = 1 - \left[\left(\frac{Cr2O3 \text{ en el alimento}}{Cr2O3 \text{ en heces}} \right) \right]$$

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 (Cho et al. 1982).

Las heces están compuestas por componentes alimenticios no digeridos y residuos no absorbidos de origen corporal. Estos residuos son los restos de células mucosas, enzimas digestivas, mucoproteínas y otras secreciones liberadas en el tracto digestivo por el animal, junto con los residuos de la microflora que habitan el tracto digestivo. Las pérdidas fecales que no se originan directamente de los alimentos ingeridos sino del propio animal se denominan pérdidas intestinales endógenas. El término "coeficiente de digestibilidad aparente" se utiliza para reconocer el hecho de que los valores obtenidos mediante el método directo o indirecto no se corrigen para las pérdidas intestinales endógenas (Cho et al. 1982).

$$CDA (d) = 1 - \left[\left(\frac{Cr2O3 \text{ en alimento}}{Cr2O3 \text{ en heces}} \right) \times \left(\frac{\text{contenido de nutriente en heces}}{\text{contenido de nutriente en el alimento}} \right) \right]$$

2.3.2. Métodos para determinar la digestibilidad

a. Método directo

En la forma directa se registra exactamente el consumo de alimento y la excreción fecal de un animal sometido a un tratamiento dietético, en un período de tiempo dado. Como desventaja de este método, puede existir contaminación entre excretas y orina; además el confinamiento de los animales reduce el tono muscular y probablemente al disminuir el tránsito de digesta, se sobreestima la digestibilidad con respecto a los animales alojados en corrales (Nieves et al., 2008).

Para la desventaja ya mencionada se puede utilizar una cámara metabólica en la que el principio utilizado es el mismo que para los animales terrestres. No obstante, también es adecuado cualquier otro método para recoger las heces siempre que permita una cuantificación total de las materias fecales de los peces (Guillaume et. al. 2004). La recolección de las excretas, 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 (Miranda,2018).

b. Método indirecto

En el método indirecto para medir la digestibilidad no se requiere cuantificar ni el consumo ni la excreción fecal, puesto que en éste método se utiliza un marcador que puede añadirse al alimento o que está incluido dentro de él en forma natural. En este caso el cálculo de la digestibilidad, que también se basa en el principio de la conservación de la materia, se modifica un tanto con referencia a la forma de cálculo de la digestibilidad por el método directo (Ly, 1999).

El marcador inerte o inocuo, debe tener 3 características que son muy necesarias, estas son: No debe ser digerible, debe ser evacuado al mismo tiempo que el contenido estomacal, debe ser imperceptible para el animal y no debe ser nocivo para la salud del organismo. Los más usados son: Itrio, P32 y óxido de cromo (Botero, 2012). El aumento de la concentración del marcador, en comparación con la de los nutrientes, permite cuantificar la desaparición de estos nutrientes y esta desaparición se equipará a la absorción (Guillaume et al., 2004).

Con frecuencia se usa un marcador no digerible, como el óxido crómico (Cr_2O_3), que se incluye en la dieta en una concentración de 0.5 a 1.0 por ciento. Se supone que la cantidad de marcador en el alimento y las heces permanece constante durante todo el período experimental y que todo el marcador ingerido aparecerá en las heces. La digestibilidad del nutriente en cuestión se puede determinar evaluando la diferencia entre el alimento y las concentraciones fecales del marcador y el nutriente o energía (Washington, 1993).

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 (Clavijo, 2011). 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 (Gaylord et al., 2009). Los métodos más usados son los siguientes:

a. Masaje abdominal o stripping

Mediante una malla se sacó a los peces del tanque y se le administro anestesia a los peces, seguido de esto se les seco con una toalla suavemente y luego se aplicar presión en la parte inferior (región abdominal) para expresar la materia fecal en un plástico y se pasa a pesar las excretas obtenidas. Se tuvo cuidado de excluir las excreciones urinarias de la colección (Gaylord et al., 2009).

b. Disección intestinal

Los peces son alimentados por cinco días con una dieta conteniendo óxido de cromo (Cr_2O_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 tijeras quirúrgicas, 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 hasta tener un peso constante. Las heces secas se almacenan y congelan para su posterior análisis (Abimorad & Carneiro, 2004).

c. Sifoneo

Se alimentó a los peces durante el día, cuidadosamente a saciedad, con el fin de asegurar que todo el alimento ofrecido sea ingerido por los peces. Dos horas después de la alimentación se sifonea, por medio de una manguera las excretas que se encuentran en la base del acuario. Inmediatamente después de la expulsión se hizo el filtrado de las heces por medio de un tamiz, lo obtenido se secará al aire y se almacenará en el congelador durante el periodo experimental (Adeparusi y Komolafe, 2006).

d. Método de Guelph

Comprende dos tipos de colección:

- Guelph convencional: Consiste en el uso de acuarios cilíndricos. El suministro de agua de fondo cónico es de 80 litros, continuo y superior, mientras que el escurrimiento fue en el fondo, y las heces que se asentaron en el acuario fluyeron a través del sistema de tuberías laterales externas, donde permanecieron depositadas en el extremo inferior de una columna, hasta el momento de ser recogidas. Se utilizaron registros de bolas para facilitar la recolección en tubos de vidrio. Tan pronto como empiezan a aparecer las heces en los tubos de vidrio, después de intervalos de 30 minutos, se recolectan repetidamente para evitar la lixiviación de nutrientes (Abimorad y Carneiro, 2004).

- Guelph modificado: los acuarios de digestibilidad presentan medidas de 50x40cm una inclinación de 10 a 15° en su base, con un vértice bajo en la parte del fondo para que allí se decanten las heces, permitiendo así la colecta de las heces con la ayuda de una válvula (Adamidou et al., 2009).

2.3.4. Factores que influyen en la digestibilidad

a. Composición de los alimentos

La digestibilidad de un alimento está estrechamente relacionada con su composición química, y un alimento como la cebada, que varía poco en la composición de una muestra a otra, mostrará poca variación en la digestibilidad. Otros alimentos, particularmente las hierbas frescas o conservadas, son mucho menos constantes en composición y, por lo tanto, varían más en la digestibilidad (McDonald et al, 2011).

En el maíz amarillo grano se encontró 10,02% de proteína y buen contenido de nifex: 78,79%. Mientras que la harina de coronta de maíz presentó bajo contenido de proteína (2,64%) y alto contenido de fibra (30%). La digestibilidad de la harina de maíz fue buena, debido a su alto contenido de carbohidratos solubles, fácilmente asimilables y a su bajo contenido de fibra. Por el contrario, en la harina de coronta de maíz fue baja (21,96%) debido a su alto contenido de fibra (Rosales y Tang, 1996).

b. Composición de la ración

La digestibilidad de un alimento está influenciada no solo por su propia composición sino también por la composición de otros alimentos que se consumen con él. Estos efectos asociativos pueden ser positivos o negativos, aunque los efectos asociativos negativos son quizás los más comunes. Un efecto asociativo positivo se produce cuando la digestibilidad de un componente de la ración aumenta alimentándolo en combinación con otro. Por ejemplo, la digestibilidad de un forraje de mala calidad, como la paja, puede mejorarse alimentándolo en combinación con un suplemento de proteína (McDonald et al, 2011).

c. Preparación de los alimentos

Los alimentos a menudo se procesan antes de la alimentación para aumentar y optimizar su digestibilidad. Los tratamientos más comunes aplicados son normalmente picar, picar, triturar y moler. El proceso más suave, el roce, tiene poco efecto directo sobre su digestibilidad, pero puede reducirlo indirectamente al evitar que los animales seleccionen los

componentes más digestibles. Los alimentos a veces se someten a tratamientos térmicos para mejorar su digestibilidad (McDonald et al, 2011).

El procesamiento de alimentos puede afectar la digestibilidad de los nutrientes en animales de granja, incluidos los peces. Aunque el alcance del efecto de la extrusión en la digestibilidad de los nutrientes puede variar de acuerdo con el hábito de alimentación de los peces, se espera una mayor digestibilidad de los nutrientes en Dietas y / o ingredientes extruidos. Sin embargo, la digestibilidad de aminoácidos y / o proteínas puede reducirse debido a la extrusión severa (Guimaraes et al, 2013).

d. Factores dependientes de los animales

La digestibilidad es más una propiedad del alimento que del animal que lo consume. Sin embargo, esto no quiere decir que un alimento dado a diferentes animales se digiera en la misma medida. El factor animal más importante que afecta la digestibilidad es la especie animal. Los rumiantes y los no rumiantes también digieren los alimentos con bajo contenido de fibra, pero los rumiantes tienen un mayor contenido de fibra. Los coeficientes de digestibilidad de las proteínas para los cerdos son a menudo más altos debido a que su excreción de nitrógeno fecal metabólico es menor. de rumiantes (McDonald et al, 2011).

- **Especie y Edad del pez**

El coeficiente de digestibilidad puede variar entre especies debido a las diferencias en el aparato digestivo y sus enzimas. Según Campos (2011) la digestibilidad podría verse afectada por la biología de la especie, ya sea por sexualidad, madurez, apareamiento y competencia. La actividad enzimática puede variar con la edad del pez, las actividades proteolíticas y amilolíticas de la trucha son más bajas en las primeras fases del desarrollo que en las fases posteriores. Esto puede afectar los coeficientes de digestibilidad (Choubert, 1999).

e. Nivel de alimentación

Un aumento en la cantidad de alimento consumido por un animal generalmente provoca un aumento en la velocidad de paso de la digesta. Luego, el alimento se expone a la acción de las enzimas digestivas durante un período de tiempo más corto y se reduce la digestibilidad. En los animales, el nivel de alimentación a menudo se expresa en múltiplos de la cantidad de alimento requerido para el mantenimiento, es decir, la cantidad requerida para mantener el equilibrio (McDonald et al, 2011).

f. Condiciones medioambientales

La calidad del agua puede ser buena o mala si reúne o no las condiciones adecuadas para el cultivo de los peces. Se dice que el agua es de buena calidad cuando presenta condiciones de temperatura, transparencia, oxígeno disuelto, pH y otros parámetros en niveles adecuados para el normal desarrollo de los peces (Pereyra, 2013).

2.4. Evaluaciones de digestibilidad y energía digestible en peces amazónicos

Gonzales et al. (2006) determinó los coeficientes de digestibilidad del tracto total de dietas formuladas para contener 0, 10 y 20% de morera (*Morus alba*) harina de hojas y 0, 3, 6 y 9% de aceite crudo de palma (*Elaeis guineensis* Jacq.). La digestibilidad de la proteína y la materia orgánica de la morera, determinada por diferencia, fue del 43,65% y el 64,65% respectivamente, mientras que la energía digestible representó el 2.2 %. Mcal /kg de DM. La energía digestible estimada para el aceite de palma crudo fue bastante baja (3.8 Mcal /kg MS). Se sugiere que la harina de hojas de morera podría introducirse hasta en un 20% en las dietas para cerdos en crecimiento sin una influencia perjudicial sobre los índices de digestibilidad del tracto total. El uso de aceite de palma hasta en un 9% puede contribuir a incrementar la densidad energética de la dieta. Debido a la digestibilidad relativamente baja del aceite de palma crudo, se deben investigar métodos para mejorar su valor nutritivo.

Salinas (2017) determinó la digestibilidad aparente y energía digestible de la torta de sachinchi para alevines de paiche. Los coeficientes de digestibilidad para la materia seca (MS), proteína cruda (PC), lípido crudo (LC) y energía bruta (EB) fueron 83.01%, 86.42%, 81.49% y 84.90%, respectivamente; la energía digestible fue de 4.24 Mcal/kg en base seca.

Ochoa (2020) determinó la digestibilidad aparente de la materia seca, proteína y extracto etéreo y la determinación de la energía digestible del maíz (*Zea mays*) en juveniles de paiche (*Arapaima gigas*). Los resultados de coeficientes de digestibilidad aparente del maíz son para materia seca 71.00 por ciento, para proteína 89.12 por ciento, para extracto etéreo 93.78 por ciento y para la energía bruta 76.97 por ciento. La energía digestible obtenida para el paiche fue de 3.43 Mcal/kg en base seca.

Barbaran (2019) determinó la digestibilidad aparente de la materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, energía bruta y la energía digestible de la torta de soya (*Glycine max*) para paiche (*Arapaima gigas*). El coeficiente de digestibilidad aparente obtenido en base seca para la torta de soya en juveniles de paiche (*Arapaima gigas*) fue 61.40 ± 4.87 por ciento para materia seca, 80.97 ± 2.44 por ciento para proteína cruda, 93.76 ± 1.53 por ciento para extracto etéreo y 71.31 ± 3.34 por ciento para la energía bruta. La energía digestible (ED) de la torta de soya en paiche fue 3.37 Mcal/kg en base seca y 3.02 Mcal/kg en tal como ofrecido (89.60 por ciento de materia seca).

Romero et al. (2002) determinó el efecto de la incorporación de diferentes niveles de harina de follaje de batata var. Mariara (HFB) y de aceite de palma africana (APA) sobre la digestibilidad total aparente en dietas para cerdos en crecimiento. Los resultados muestran que aun cuando la digestibilidad de MS, PC, FDN y energía tiende a disminuir en las dietas con HFB y APA, estas presentan valores altos superiores al 68%; la digestibilidad del EE resultó superior en las dietas experimentales al compararlas con el control ($P < .05$). En conclusión, los valores de digestibilidad de los nutrientes evaluados y de energía en las dietas fueron superiores al 65%.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Lugar y periodo de duración de la fase experimental.

El presente trabajo de investigación se ejecutó durante 19 días en las instalaciones del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación en Peces y Crustáceos (LINAPC) perteneciente al Departamento Académico de Nutrición, de la Universidad Nacional Agraria La Molina. La elaboración del alimento balanceado se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos (PIPSA). 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). Los análisis químicos proximales y la determinación de energía bruta de las dietas y el aceite se realizaron en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA).

3.2 Instalaciones, equipos y materiales

Las instalaciones del LINAPC, (Anexo 1) cuentan 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 2 acuarios de adaptación (120 L de capacidad), 18 acuarios para pruebas de crecimiento (55 a 75 L de capacidad, de 50 cm de alto, 47 cm de ancho y 47 cm de profundidad) y 9 acuarios tipo Guelph (54 L de capacidad) para pruebas de digestibilidad. Para la fase experimental se utilizó 6 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 la 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 el alimento y las heces se utilizó una balanza electrónica marca UWE modelo JW250 con 0.005 g de precisión y capacidad para 250 g; estufa con rango de 25-350 °C, para secar las heces; refrigerador, para almacenarlas y conservarlas.

3.3 Evaluación de la calidad de agua

Los parámetros de calidad del agua se midieron en tres acuarios indistintamente de manera aleatoria. 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 se midió en dos momentos del día (8:00am y 4:00pm). La limpieza general del laboratorio (acuarios y filtros) y recambio del 20 por ciento de agua del sistema se realizaron 3 veces por semana (lunes, miércoles y viernes). Se puede observar la calidad de agua en el Anexo 3.

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

3.3.1 Oxígeno Disuelto

Se utilizó un Monitor de oxígeno de marca PinPoint II, que puede mostrar una lectura digital para el oxígeno disuelto. Su rango de medición es de 0.0 – 20.0 mg/L.

3.3.2 Temperatura

Para medir la temperatura de los acuarios se utilizaron termómetros de marca SERA y un termómetro de marca Sper Scientific, que permite de una manera simple y sencilla saber las temperaturas máximas y mínimas del ambiente del laboratorio.

3.3.3 Dureza

Se utilizó el kit colorimétrico de 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_3).

3.3.4 Potencial Hidrógeno (pH)

La medida del pH se realizó mediante el pHtestr 10. Su rango de medición es de 1.0 – 15.0 pH, con 0.1 de precisión.

3.3.5 Nitrógeno Amoniacal

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

3.3.6 Nitrato

Se utilizó el kit colorimétrico de tres reactivos de la marca Sera. El rango de medición es de 0.0 – 100 mg/L.

3.3.7 Nitrito

Se utilizó el kit colorimétrico de tres reactivos de la marca Sera. El rango de medición es de 0.3 – 16.5 mg/L.

3.4 Animales experimentales

Se utilizaron un total de 18 Paiches, adquiridos de la estación piscícola Fundo Palmeras de Silver Corporation SAC; ubicado en el Centro Poblado Villa Capiri, distrito de Río Negro, Provincia de Satipo, departamento de Junín. 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 suministro alimento, después se les brindó el alimento comercial “la Molina” para Paiche en inicio, 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 18 Paiche se distribuyeron aleatoriamente en seis acuarios de digestibilidad; correspondiendo tres acuarios para cada tratamiento; con dos peces cada uno.

3.5 Producto evaluado

El ingrediente evaluado fue el aceite de palma procedente de la empresa PALMA S.A.C., que es un producto obtenido a partir del proceso de extracción de aceite de la pulpa del fruto. Contiene 39 a 47 % de ácidos saturados (ácido palmítico), humedad de 0.31 % y energía bruta de 9.15 Mcal/kg (Anexo N°4).

3.6 Dietas experimentales

Se prepararon dos dietas experimentales a partir de una dieta de referencia para paiche, las cuales se detallan a continuación:

- a. Dieta 1: Dieta referencial; con 99.5 por ciento de dieta de referencia y 0.5 por ciento del indicador óxido de cromo (Cr_2O_3).

- b. Dieta 2: Dieta de prueba; con 8 por ciento de aceite de palma, 91.5 por ciento de dieta de referencia y 0.5 por ciento de óxido de cromo (Cr₂O₃).

El Tabla 3 muestra la formula y el valor nutricional estimado de la dieta de referencia y el Tabla 4 el aporte nutricional de la premezcla de vitaminas y minerales.

3.7 Preparación de las dietas

La dieta de referencia se obtuvo utilizando la formulación a mínimo costo por programación lineal. La elaboración de dietas se realizó en la planta de alimentos del PIPSA, se realizó la mezcla de 20 kg de la dieta referencial para Paiche en crecimiento y se dividió en dos partes, cada una de 10 kg. Para obtener la dieta prueba se reemplazó el 8.5 por ciento de la dieta de referencia por 0.5 por ciento de óxido crómico y 8 por ciento de aceite de palma. 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 peletizadora con molde 3 mm. Obtenidos los pellets, se secaron en una estufa eléctrica a 60° C durante 30 minutos. Una vez secos los pellets, se tamizaron con una malla de 2.5 mm para eliminar el polvillo y los pellets quebrados, obteniéndose pellets de 3 mm de diámetro y 5 mm de longitud. Los pellets se colocaron en frascos debidamente rotulados y se almacenaron a temperatura de ambiente hasta su posterior uso.

Tabla 3: Fórmula y valor nutricional de la dieta de referencia.

Ingredientes (%)	Dieta de referencia
Harina de pescado	60.00
Torta de soya	20.00
Aceite de soya	8.50
Harinilla de trigo	9.82
Ligante	0.80
Cloruro de colina	0.10
Premezcla de vit + min	0.75
Antioxidante	0.03
Total	100.00

Tabla 4: Formula de premezcla de vitaminas y minerales para la acuicultura

Nutriente	Cantidad	Unidad
Vitamina A	14 000 000	UI
Vitamina D3	2 800 000	UI
Vitamina E	140 000	UI
Tiamina (B1)	18.000	g
Riboflavina (B2)	20.000	g
Niacina	150.000	g
Ácido pantoténico	50.000	g
Piridoxina (B6)	15.000	g
Biotina	0.800	g
Ácido fólico	4.000	g
Ácido ascórbico	600.000	g
Vitamina B12	0.030	g
Cloruro de Colina	600.000	g
Manganeso	40.000	g
Hierro	20.000	g
Zinc	20.000	g
Cobre	1.500	g
Yodo	1.500	g
Selenio	0.300	g
Cobalto	0.150	g
Antioxidante	120.000	g
Excipientes c.s.p.	3000.000	g

*Composición por 1 kg de premezcla

Fuente: DSM Nutritional Products Peru S.A. (2014)

3.8 Manejo experimental

3.8.1 Suministro de alimento

Los primeros 4 días fueron de adaptación, en la cual los peces fueron alimentados con las dietas a evaluar hasta punto de saciedad. En adelante los peces recibieron tres comidas diarias, ofrecidas a las 8.00 am 12 pm y 4.00 pm, cada acuario fue alimentado pellet a pellet, con el fin de asegurar que todo el alimento ofrecido sea ingerido por los peces, en caso contrario se procedería a sifonear rápidamente el pellet.

3.8.2 Recolección de heces

Se alimentó a los peces durante 4 días, sin realizar la recolección de las heces. A partir del quinto día se inició la recolección de heces. Se realizaron dos recolecciones diarias, una a las 8:00 am y otra a las 4:00 pm. Las heces sedimentadas fueron cuidadosamente extraídas del sistema de colección de heces y pasadas a través de una malla de 100µm para luego ser colocadas en placa petri, posteriormente fueron secadas en una estufa a 65°C por seis horas, para reducir la humedad e inmediatamente fueron congeladas y almacenadas para su uso. Después de la última alimentación del día cada acuario de digestibilidad fue limpiado y sifoneado a fin de eliminar del sistema los residuos de alimentos, para que en la primera colecta del día siguiente se obtenga solo heces del paiche. Este procedimiento se repitió durante 19 días, consiguiéndose aproximadamente 15 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, la energía bruta de las dietas y de las heces de cada unidad experimental, en el laboratorio del LENA. Para obtener la humedad se realizó el análisis químico proximal. La energía bruta se realizó mediante el ensayo del valor calorífico empleando el método 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 método de espectrofotometría por absorción atómica por el método AOAC, (1990).

3.8.1 Calidad de agua

Los parámetros de calidad de agua como temperatura, oxígeno disuelto, pH, nitrito, nitrato y nitrógeno amoniacal se presentan en el Tabla 5 y Anexo 3, en la cual muestran que se mantuvieron los parámetros óptimos de calidad de agua para el desarrollo de los paiches. La temperatura del agua en los acuarios durante la fase experimental fue en promedio de 27-28 °C, estando dentro del rango recomendado por IIAP (1999), que menciona que la temperatura favorable para el cultivo de truchas arco iris está entre 20 a 28 °C así mismo Alcántara y Guerra.(1992), indican que para paiches juveniles la temperatura adecuada es 29.6°C .

La medida de oxígeno disuelto registrada durante el experimento fue de 8.9 mg/L en promedio, siendo este superior al recomendado por la FAO (1999) como el rango deseable para la preservación de la vida acuática, el cual es de 5.0 mg/L. En la medida del potencial de hidrogeno (pH) el valor promedio mantenido en la presente evaluación fue 7.2 mg/L, valor que se encuentra dentro del rango de IIAP (1999), que indica un valor óptimo de 6.5.-9 Por otra parte, Akifumi et al. (2008) indica valores de pH cercanos a 5.8 para crianza de paiche. En cuanto a los valore de dureza, el IIAP (1999) indica valores desde 30 hasta 200 mg/L, encontrándose la medida de 162 mg/L dentro del rango recomendado.

La FAO (1999) muestra que los valores adecuados de nitrito para la crianza de paiche con respecto al nivel de pH debe ser menor a 0.55 mg/L y el nitrógeno amoniacal debe estar en el rango de 0.6 – 2.0 mg/L, en la presente evaluación se obtuvieron 0.3 mg/L de nitrito y 0.2 mg/L de nitrógeno amoniacal. Con respecto al valor de nitrito está dentro del rango deseable, mientras que el valor del nitrógeno amoniacal se encuentra por debajo del valor mínimo dado por la FAO.

Tabla 5: Parámetros de calidad de agua

Parámetros		Promedios
Temperatura del agua (C°)	8:00 a. m.	28.10
	4:00 p. m.	27.90
Oxígeno disuelto (mg/L)		8.90
Dureza (ppm)		162.00
Ph		7.20
Nitrito (mg/L)		0.30
Nitrato (mg/L)		100.00
Amoniaco (mg/L)		0.20

3.9 Determinación de la digestibilidad

3.9.1 Cálculo de coeficiente de digestibilidad aparente

Los porcentajes de digestibilidad aparente fueron realizados sobre la base de la cantidad de heces colectadas durante 19 días. Con los resultados de laboratorio obtenidos de las dietas y heces colectadas se determinarán los Coeficientes de Digestibilidad Aparente (CDA) de las dietas para materia seca y energía bruta, posteriormente se utilizarán estos CDA de las dietas para determinar CDA del aceite de palma.

Las ecuaciones utilizadas serán las siguientes:

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

$$CDA (d) = 1 - \left[\left(\frac{\%Cr2O3d}{\%Cr2O3h} \right) \times \left(\frac{\%Nh}{\%Nd} \right) \right]$$

Dónde:

CDA (d) = Coeficiente de digestibilidad aparente de las 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).

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

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 crudo de palma.

Con los resultados obtenidos del coeficiente de digestibilidad aparente del aceite de palma 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.

CDA ing: 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 Coeficientes de digestibilidad aparente del aceite de palma

En el Tabla 6 se presenta 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 de palma para Paiche (*Arapaima gigas*). La digestibilidad aparente de la materia seca se muestra en el Tabla 7 y Anexo 11. Para la materia seca se obtuvo un CDA de 70.67 por ciento de digestibilidad, lo cual es inferior a 94.76 por ciento de digestibilidad aparente (DA) para el aceite de soya en paiche (Vergara, 2014). Blanco (1995) menciona que los peces absorben mejor los ácidos grasos insaturados que los saturados y la digestibilidad es mayor cuanto menos sea el punto de fusión. El aceite de palma tiene mayor contenido de ácidos grasos saturados 51,5% (Santos, 2012) y el aceite de soya contiene ácidos grasos insaturados en torno a 84 % (Rand citado por Inga, 2017), por ende, el CDA del aceite de palma es menor a la digestibilidad aparente del aceite de soya porque tiene mayor cantidad de ácidos grasos saturados que insaturados. Takeuchi Watanabe y Ogino citado por Al-Owafeir y Belal (1996) sugirieron que los aceites con un alto nivel de ácidos grasos saturados se digieren menos en los peces a temperaturas de agua más bajas, y como este estudio se realizó con la temperatura del agua de 27-28°C esto pudo haber influenciado en que la digestibilidad aparente del aceite de palma aumentara, pero aun así su no es superior a la digestibilidad aparente del aceite crudo de soya.

Los peces utilizan bien los lípidos de bajo punto de fusión (Coeficiente de digestibilidad aparente, CDA>95%) independientemente de su origen animal, o vegetal. No obstante, la digestibilidad de los ácidos grasos saturados disminuye cuando la longitud de la cadena aumenta y, a igualdad de longitud de la cadena, aumenta con el grado de insaturación (Guillaume, 2004).

En otras especies Remicio (2016) obtuvo un valor de 75.45 digestibilidad aparente de la materia seca del aceite acidulado de soya en truchas arcoíris, siendo inferior a lo reportado en el presente estudio.

4.2 Energía digestible del aceite de palma

La energía digestible (ED) del aceite de palma se presenta en el Tabla 7 y el Anexo 12. El valor obtenido en la presente investigación fue de 7.83 Mcal/kg en tal como ofrecido. Valor inferior a la ED del aceite crudo de soya, que es 9.19 Mcal/kg en paiches (Vergara ,2016). De igual forma es inferior al obtenido por Remicio (2016), quien obtuvo un valor de 7.98 Mcal./kg aceite acidulado de soya en truchas arcoíris. Un menor contenido de energía digestible del aceite de palma, está relacionado a su menor digestibilidad, debido a la alta concentración de ácidos grasos saturados. Así, con la excepción del aceite de palma, los aceites de otras materias primas tienen altas concentraciones de ácidos grasos insaturados (Santos ,2012), como el aceite de soya el cual tiene en torno al 84 % (Rand citado por Inga,2017), siendo considerado un aceite de alta digestibilidad (Bahamóndez,2016).

No se ha encontrado más reportes sobre ED de aceites en peces, pero si en otras especies monogástricas. valores de energía digestible del aceite crudo de palma, que según Le Duc Ngoan, citado por Remicio (2016) en cerdos es de 6.59 Mcal/kg, el cual es inferior a lo reportado por FEDNA (2014) que obtuvo un valor de 8.3 Mcal/kg y en aves según Zumbado (1999) se obtuvo un 6.44 Mcal/kg.

Tabla 6: Análisis químico de las dietas y heces

Grupo experimental	Ms. de dieta (%)	Ms. de heces (%)	EB. Dieta Mcal/kg*	EB. Heces Mcal/kg*	Oxido de cromo en dietas (%) **	Oxido de cromo en heces (%) **
REFERENCIA	92.4 ± 0.0	89.4 ± 0.2	4.76± 0.0	3.76± 0.0	0.18± 0.0	1.23± 0.32
PRUEBA	90.8 ± 0.0	89.7 ± 0.1	4.85± 0.0	3.73± 0.0	0.86± 0.0	1.79± 0.43

Los datos reportados muestran promedios más desviación estándar 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 óxido de cromo realizados en el laboratorio de análisis de suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF)

Tabla 7. Contenido nutricional, coeficientes de digestibilidad y energía digestible del aceite crudo de palma

Componente	Valor determinado
	100
Materia seca (%)	9.18
Energía bruta (Mcal/kg)	70.67 ± 8.31
CDA de la materia seca (%)	85.34 ± 6.68
CDA de la energía bruta (%)	70.68 ± 8.31
Materia seca digestible (%)	7.83 ± 0.61
Energía digestible (ED) (Mcal/kg)	

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 Tabla 6, según ecuaciones de Cho et al. (1982) y Pezzato et al. (2004).

ED = EB * CDA energía / 100

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 crudo de palma en juveniles de paiche son de 70.67 y de 85.34 por ciento, respectivamente.
2. El contenido de energía digestible (ED) para el aceite crudo de palma en juveniles de paiche es de 7.83 Mcal/kg . \pm 0.62 en tal como ofrecido.

VI. RECOMENDACIONES

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

1. Utilizar los valores de digestibilidad del aceite crudo de palma determinados en la presente evaluación.
2. Se recomienda utilizar los valores de digestibilidad y energía digestible obtenidos del aceite crudo de palma, en la formulación comercial de alimentos balanceados para juveniles de paiche.

VII. REVISION BIBLIOGRAFICA

Abimorad, E; 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.

Adamidou, S. et al.(2009). Apparent nutrient digestibility and gastrointestinal evacuation time in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) fed diets containing different levels of legumes. En: Aquaculture. Vol. 289.

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.

Akifumi, E; Santiago, E; Campos, J; Pereira, M; Roubach, R. (2008). Digestibilidade aparente de dietas práticas com diferentes relações energia:proteína em juvenis de pirarucu. Pesq. agropec. bras., Brasília.

Alcantara, B ; Guerra,H.(1992).Cultivo de paiche ,*Arapaima gigas*, utilizando bufurqui ,*Cichlassoma bimaculatum* como presa. Folia amazónica.V.4 N°1.Iquitos,Peru. P .129-139.

Al-owafeir, M. A., & Belal, I. E. H. (1996). Replacing palm oil for soybean oil in tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), feed. *Aquaculture Research*, 27(4), 221-224.

Bahamóndez, G. O. (2016). *Efecto del tipo de lípido (aceite de soya, aceite de maravilla alto oleico, y manteca de palma) sobre la microestructura y textura de masas* (Doctoral dissertation, Universidad Austral de Chile).

Barbaran Miranda, R. E. (2019). Digestibilidade de nutrientes y energía digestible de la torta de soya (*Glycine max*) en juveniles de paiche (*Arapaima gigas*).

Blanco, CM. (1995). La trucha, Cría Industrial. 2 ed. Madrid, ES, Ediciones Mundi Prensa. 238 p

Botero, C.(2012). Aprovechamiento nutritivo de núcleos ensilados de vísceras de pollo en híbridos de cachama *Piaractus brachypomus x Colossoma macropomun*. Tesis para la Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Producción Animal Tropical. Universidad nacional de Colombia sede Palmira facultad de ciencias agropecuarias.

Calzada, B. (1982). Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Acribia. ES.

Campos, L.(2001). Historia Biológica del Paiche o Pirarucu *Arapaima gigas* (Cuvier) y bases para su cultivo en la Amazonía. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana Programa de Biodiversidad. Iquitos, Perú. 26p

Cavero, B.A.S.; Pereira-filho, M.; Bordinhon, A.M.; Da fonseca, F.A.L.; Ituassú, D.R.; Roubach, R.; ONO, E.A. (2004). Notas Científicas Tolerância de juvenis de pirarucu ao aumento da concentração de amônia em ambiente confinado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 39 (5): 513- 516.

Cenipalma.(2013). Guía sobre el aceite de palma y sus aplicaciones. Publicación de la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite. Colombia

Cho,Slinger, SJ; Bayler, H. 1982. Bioenergetics of salmonid fished: Energy intake, expenditure and productivity. Comp. Biochen. Physiol. 73B, 25-41.

-Choubert, G. (1999). La digestibilité des nutriments chez les poissons: Aspects de méthodologie. *Cybiurn (Paris)*, 23(1), 113-125.

Clavijo, L.(2011). Desarrollo de metodología para la determinación de la digestibilidad de materias primas no convencionales en Cachama Blanca *Piaractus brachypomus*. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar el título de Magíster en ciencias agrarias con énfasis en producción animal tropical. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira facultad de ciencias agropecuarias.

Delgado ,F.(2014). Descripción detallada del proceso de extracción de aceite de palma mejorado. Revista FEDAPAL(Fundación de Fomento de Exportaciones de Aceite de Palma y sus derivados de origen nacional, EC).Colombia.

DMS (Nutritional Products Peru S.A.). (2014). Premezcla de vitaminas y minerales para suplementar (microficha). Lima – Perú. 10.5 x 18.5 cm.

FAO(Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).(1999). Manual de piscicultura del paiche (*Arapaima gigas Cuvier*). Tratado de Cooperación Amazónica. Secretaría Pro Tempore.

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-deorigen-vegetal

FONDEPES (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero).(2016).Protocolo de Reproducción de Paiche *Arapaima gigas*. Ministerio de producción .Lima, Perú.

Fox, J; Lawrence, A. (2008). Revisión de la Metodología Utilizada para Determinar la Digestibilidad Aparente de Nutrientes en Camarones Peneidos Marinos. Manual de Metodologías de Digestibilidad in vivo e in vitro para Ingredientes y Dietas para Camarón. Universidad Autónoma de Nuevo León, Mty. N.L., México.

Franco, H. (2005). Contribución al conocimiento de la reproducción del pirarucù *arapaima gigas* (cuvier, 1817) (pisces: arapamidae) encautiverio. Universidad de la Amazonia. Caquetá – Colombia.

Franco,H. ;Pelaez,M.(2007). Cría y producción de pirarucú en cautiverio. Universidad de la Amazonia.Quaqueta ,Colombia. 50 pp

Gatlin, D. (2010). Principles of fish nutrition. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication, 5003.

Gaylord, T. G. et al.(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*. En: Aquaculture Nutrition.

González, C., Tepper, R., & Ly, J. (2006). An approach to the study of the nutritive value of mulberry leaf and palm oil in growing pigs Una Aproximación al Estudio del Valor Nutritivo de Hojas de Morera y Aceite de Palma en Cerdos en Crecimiento. *Revista Científica*, 16(1), 67-71.

Gonzales ,B.(2017). “Análisis de la producción de aceite de palma africana en el ecuador”. Tesis para optar por título de ingeniero comercial. Universidad de Guayaquil facultad de ciencias Administrativas. Ecuador.

Guillaume, J; Kaushik, S; Bergot, P; Metailler.(2004). Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos. España. 475 p.

Guimaraes, I; Miranda, E; Araújo, J. (2013). Coefficients of total tract apparent digestibility of some feedstuffs for Tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Animal Feed Science and Technology*. Brasil

Harmon, D.(2007).Experimental approaches to study the nutritional value of foods ingredients for dogs and cats. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, Suplemento especial, p.251-262, 2007.

IIAP (Instituto De Investigaciones De La Amazonia Peruana). (2017). El cultivo del Paiche. Biología, procesos productivos, tecnologías y estadísticas. Primera edición. Iquitos-Perú. 110 p.

IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, PE). (2006).Paiche “El gigante del amazonas “. *Tratado de Cooperación Amazónica*. Secretaría Pro Tempore.

IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, PE). (2007).Memoria institucional. Aspectos de manejo, reproducción y alimentación del Paiche (*Arapaima gigas*) en la Amazonía Peruana. PE. (En línea). Consultado el 17 de Junio del 2019.Disponible en www.promamazonia.org.pe

IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, PE).(1999). Piscicultura amazónica con especies nativas. 1999. *Tratado de Cooperación Amazónica*. Secretaría Pro Tempore.

Imbiriba, E. (1994). Reprodução, larva e alevinagem do pirarucu (*Arapaima gigas*). EMBRAPACPATU. Recomendações básicas, 26: 1-4 p.

Inga, H., & Graciela, S. (2017). Reemplazo del aceite crudo de soya por aceite acidulado de soya en dietas para alevines de trucha (*Oncorhynchus mykiss*).

Ituassu DR, Pereira-filho M, Rou-bach R, Crescencio R, Cavero BAS, Gandra AL.(2005) .Crude protein levels for Juvenile pirarucu. Pesq Agrop Brasileira. 1-5p.

Ly, J. (1999). Fisiología Nutricional del Cerdo. Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Maracaibo. 145 p.

MAG (Ministerio de Agricultura ,gerencia de Palma).(2006). Descripción del Proceso de Producción del Aceite de Palma Africana. Consejo nacional de producción servicio de información de mercados. Costa Rica.

Mcdonald P., Edward R., Y Greenhalgh F. (2011). Nutrición Animal. Editorial Acribia, Zaragoza.

Medel,P; Fernández, J;Peinado,J; González,J. y López-bote. (2004). Inclusión de aceite de palma y grasas hidrogenadas en dietas de cerdos de engorde.Comunidad Profesional Porcina. Disponible en: https://www.3tres3.com/abstracts/inclusion-de-aceite-de-palma-y-grasas-hidrogenadas-en-dietas-de-cerdos_6758/

Miranda, J. D. (2018). Digestibilidad de nutrientes y determinación del requerimiento energético de juveniles de Paco (*Piaractus brachypomus*).

Nieves, D.; Barajas, A.; Delgado, G. ET AL.2008. Digestibilidad fecal de nutrientes en dietas con forrajes tropicales en conejos: Comparación entre métodos directo e indirecto. Bioagro, v.20, n.1, p.73-75.

NRC (National Research Council, U.S.). (2011). Nutrient requirements of fish and shrimp.

Ochoa Orihuela, D. T. (2020). Digestibilidad de nutrientes y energía digestible del maíz (*Zea mays*) en juveniles de Paiche (*Arapaima gigas*).

Pereyra,G.(2013). Piscicultura. [Versión Dx. Reader]. Recuperado de <http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/037-a-piscicultura.pdf>

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

Rebaza, M; Alcantara, F y Valdivieso, M.(1999). Manual de piscicultura del Paiche. Instituto de Investigaciones Peruanas. IIAP - FAO., 72p

Remicio,A.(2016). “Determinación de la digestibilidad y energía digestible del aceite acidulado de soya en juveniles de trucha arco iris (*oncorhynchus mykiss*).Tesis para optar por titulo de ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima.Peru.

Rincon,S y Martinez ,D.(2009). Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria.Investigacion FEDEPALMA.Colombia.

Romero, M., Vecchionacce, H., & Uzcategui, W. (2002). Determinación de la digestibilidad fecal de dietas con diferentes niveles de follaje de batata (*Ipomoea batatas* L.) y aceite de palma africana (*Elaeis guineensis* J.) en cerdos.

Rosales, J; Tang, T.(1996). Composición química y digestibilidad de Insumos alimenticios de la zona de Ucayali. IIAP. Folia Amazónica Vol. 8(2). (En línea). Consultado 15 de Junio 2019. Disponible en <http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/PUBL676.pdf>

Salinas, A. (2017). Determinación de la digestibilidad y energía digestible de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) cruda en Paiche (*Arapaima gigas*). Tesis para optar el título de ingeniero. UNALM. Lima-Perú. 72p

Santos, E. M. (2012). Principales características de las materias primas utilizadas en la producción de biodiesel: la influencia del contenido y la concentración de los ácidos grasos. *Ingenium*, 13(25), 53-61.

UNIPALMA.(2009). Aceite de palma. (en línea). Consultado el 12 de junio del 2019. Disponible en <https://www.unipalma.com/productos-y-servicios/aceite-de-palma>.

Vergara, R.; Camacho, R.; Bustamante, P.; Ferrer, S. (2016). Determinación del Requerimiento De Energía Digestible Para El Paiche (*Arapaima gigas*). Conferencia Internacional LACQUA/SARA (WAS) 16. Lima, Perú.

Vergara, V. (2014). Determinación Del Requerimiento De Energía Digestible Para El Paiche (*Arapaima Gigas*). Laboratorio de Investigación den Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC). Departamento de nutrición. Fac. de Zootecnia. Lima. Perú.

Vergara, V. (2014). Determinación Del Requerimiento De Proteína Cruda Para El Paiche (*Arapaima Gigas*). Laboratorio de Investigación den Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC). Departamento de nutrición. Fac. de Zootecnia. Lima. Perú.

Washington, D. (1993). Nutrient Requirements of Fish. National Academy of Sciences. Estados Unidos de América.

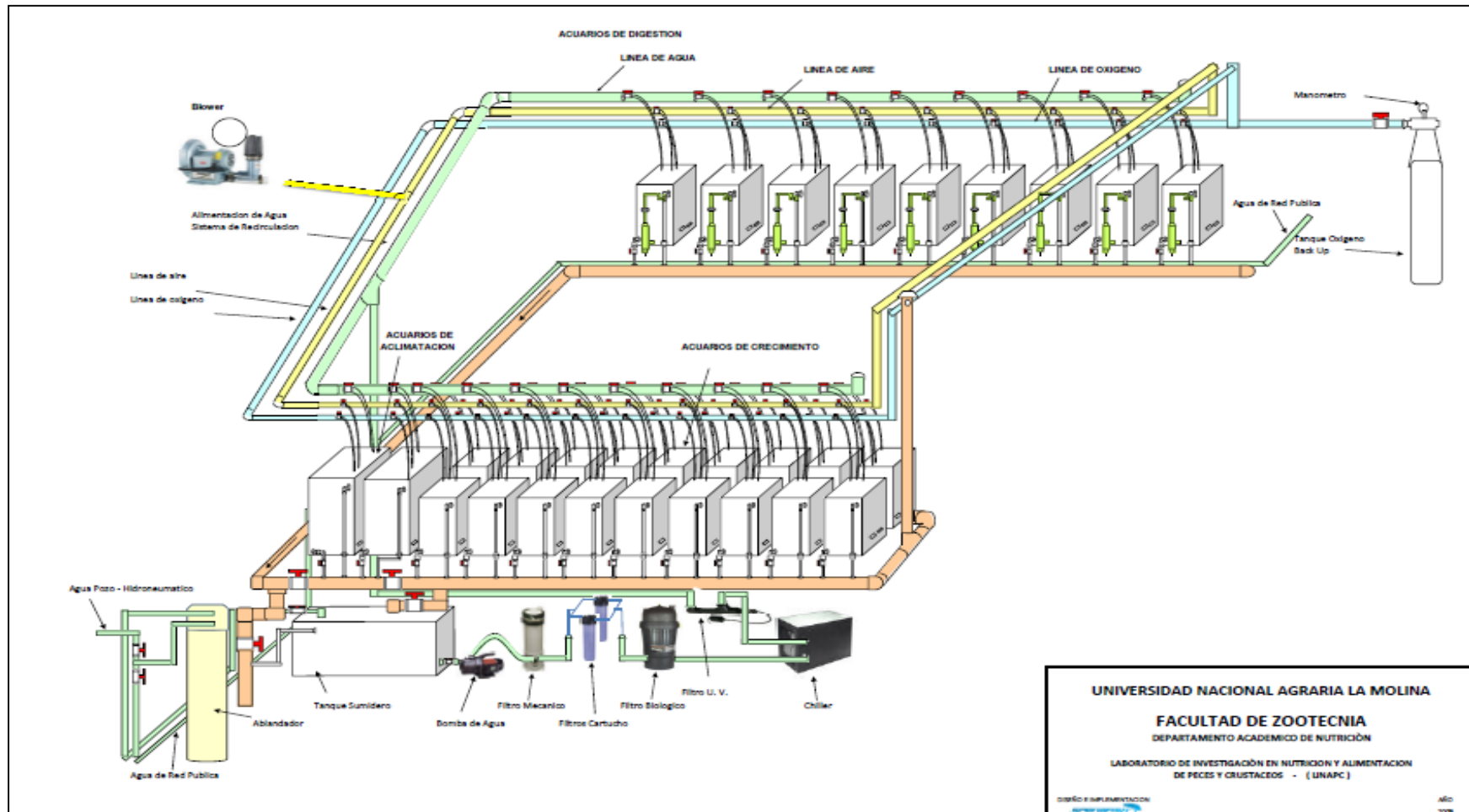
Zumbado, M. E., Scheele, C. W., & Kwakernaak, C. (1999). Chemical composition, digestibility, and metabolizable energy content of different fat and oil by-products. *Journal of Applied Poultry Research*, 8(3), 263-271.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. Instalaciones y equipos del LINAPC

EQUIPO	UNIDAD	FUNCIÓN
Ablandador de agua	1m ³	Al poseer el agua de La Molina 1500 ppm (concentración de iones de Ca ⁺⁺ y Mg ⁺⁺), el ablandador cumple la función de disminuir la dureza hasta 16 ppm.
Tanque sumidero	Capacidad 360 Lt	Recepciona directamente el agua del ablandador. Consta de un desagüe por rebose y una salida hacia la bomba de agua.
Bomba de agua	1 HP de potencia	Permite el movimiento del agua desde el tanque sumidero a través de todos los filtros hacia todos los acuarios.
Filtro mecánico (Reemy)	1 unidad	Tiene la capacidad para retener partículas de hasta un mínimo de 20µm.
Filtros Housing	2 unidades	Apoyan al filtro mecánico con la retención de partículas de 20µm
Enfriador/calentador de agua	2 HP de potencia	Enfriar o calienta el agua entre un rango de 13 – 32 °C.
Esterelizador U.V.	25 watts	Esteriliza el agua disminuyendo de esta forma la presencia de algas, bacterias y virus no deseada en los acuarios.
Filtros Cuno	4 unidades	Compuesto por dos pares de filtros (5µm y 1µm), permite que el agua llegue con mayor pureza a los acuarios.
Bomba de aire (blower)	1/3 HP de potencia	Toma aire del ambiente y lo traslada a través de las líneas de aire hacia los acuarios, donde se encuentran las piedras difusoras de aire.
Acuarios para pruebas de digestibilidad	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	
Temperatura de acuarios (C°)	8:00 a. m.	28.10	28.00	28.20	28.10
	12:00 p. m.	27.80	27.90	28.00	27.90
	4:00 p. m.	28.00	27.80	28.00	27.90
Temperatura ambiental (C°)	8:00 a. m.	24.00	24.00	24.00	24.00
	12:00 p. m.	24.00	24.00	24.00	24.00
	4:00 p. m.	24.00	24.00	24.00	24.00
Oxígeno disuelto (mg/L)		9.00	9.20	8.60	8.90
Dureza		176.00	150.00	160.00	162.00
Ph		7.20	7.10	7.40	7.20
Nitrito (mg/L)		0.30	0.30	0.30	0.30
Nitrato (mg/L)		100.00	100.00	100.00	100.00
Amoniaco (mg/L)		0.21	0.18	0.20	0.20

ANEXO 4. Resultados de la materia seca y energía bruta del aceite crudo de palma

Aceite de palma	Base fresca	Base seca
Materia seca (%)	99.69	100.00
Energía bruta (Mcal/kg)	9.15	9.18

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 (%)	92.40	92.40	92.40	100.00	100.00	100.00
Energía bruta (Mcal/kg)	4.76	4.76	4.76	5.15	5.15	5.15

Análisis químico proximal de la dieta prueba

Contenido nutricional	Base fresca			Base seca		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia seca (%)	90.80	90.80	90.80	100.00	100.00	100.00
Energía bruta (Mcal/kg)	4.85	4.85	4.85	5.34	5.34	5.34

ANEXO 6. Análisis químico proximal de las heces obtenidas

Análisis químico proximal de las heces obtenidas de la dieta referencial

Contenido nutricional	Base fresca			Base seca		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia seca (%)	89.29	89.19	89.73	100.00	100.00	100.00
Energía bruta (Mcal/kg)	3.76	3.76	3.76	4.21	4.22	4.19

Análisis químico proximal de las heces obtenidas de la dieta prueba

Contenido nutricional	Base fresca			Base seca		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Materia seca (%)	89.82	89.61	89.82	100.00	100.00	100.00
Energía bruta (Mcal/kg)	3.73	3.73	3.73	4.15	4.16	4.15

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

Muestra	Oxido crómico		
	Base fresca	Base seca	
Dieta referencial	R1	0.18	0.19
	R2	0.18	0.19
	R3	0.18	0.19
	Promedio	0.18	0.19
Dieta prueba	R1	0.86	0.94
	R2	0.86	0.94
	R3	0.86	0.94
	Promedio	0.86	0.94
Heces de la dieta referencial	R1	0.88	0.99
	R2	1.51	1.69
	R3	1.30	1.45
	Promedio	1.23	1.38
Heces de la dieta prueba	R1	1.54	1.71
	R2	1.54	1.72
	R3	2.29	2.55
	Promedio	1.79	1.99

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	
Semana 1	R1	45.00	5.40	6.43	0.77	12.00
	R2	77.68	8.70	11.10	1.24	11.20
	R3	48.32	6.62	6.90	0.95	13.70
Semana 2	R1	26.08	3.73	3.73	0.53	14.30
	R2	31.94	4.12	4.56	0.59	12.90
	R3	29.57	3.46	4.22	0.49	11.70
Semana 3	R1	41.04	4.72	5.86	0.67	11.50
	R2	38.74	5.23	5.53	0.75	13.50
	R3	31.56	4.45	4.51	0.64	14.10
Semana 4	R1	38.36	4.45	5.48	0.64	11.60
	R2	36.89	4.87	5.27	0.70	13.20
	R3	30.43	4.29	4.35	0.61	14.10
Total	R1	150.49	18.30	21.50	2.61	12.16
	R2	185.25	22.92	26.46	3.27	12.37
	R3	139.88	18.82	19.98	2.69	13.45

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	
Semana 1	R1	63.57	6.98	9.08	1.00	10.97
	R2	36.96	5.29	5.28	0.76	14.31
	R3	39.70	4.94	5.67	0.70	12.43
Semana 2	R1	61.72	7.82	8.82	1.12	12.67
	R2	41.17	7.09	5.88	1.01	17.22
	R3	34.66	4.36	4.95	0.62	12.58
Semana 3	R1	23.75	2.76	3.39	0.39	11.62
	R2	28.86	4.68	4.12	0.67	16.22
	R3	25.19	2.98	3.60	0.43	11.83
Total	R1	149.04	17.56	21.29	2.51	11.78
	R2	106.99	17.06	15.28	2.44	15.95
	R3	99.55	12.28	14.22	1.75	12.33

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

COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDAD APARENTE (CDA) DE LA DIETAS	DIETA REFERENCIAL		DIETA PRUEBA		
	Promedio de repeticiones	R1	R2	R3	Promedio de repeticiones
	Materia Seca de la dieta	83.61	83.25	81.92	82.55
Energía Bruta de la dieta	86.54	86.97	85.91	86.45	86.44

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

ANEXO 11. Coeficientes de digestibilidad aparente del aceite de palma.

CDA del aceite de palma	BASE SECA	
Repetición	Materia seca (%)	Energía bruta (%)
R1	79.13	91.93
R2	62.51	78.57
R3	70.38	85.52
Promedio (%)	70.67	85.34
Desviación estándar	8.31	6.68
Coef. De variab. (%)	11.76	7.83

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

ANEXO 12. Materia seca y energía digestible del aceite crudo de palma.

Repeticiones	BASE SECA		BASE FRESCA	
	Materia seca digestible (%)	Energía digestible (Mcal/kg)	Materia seca digestible (%)	Energía digestible (Mcal/kg)
R1	79.14	8.44	78.65	8.38
R2	62.52	7.21	62.13	7.17
R3	70.38	7.85	69.94	7.80
Promedio (%)	70.67	7.83	70.24	7.78
Desviación estándar	8.31	0.62	8.26	0.61
Coef. De variab. (%)	11.76	7.85	11.77	7.78

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

Dietas	Rep.	Biomasa inicial	Biomasa final	Ganancia de biomasa	Peso inicial	Peso final	Ganancia de peso	Consumo de alimento total	Conversion alimentaria
Referencial	R1	713.47	1847.30	1133.83	237.82	615.77	377.94	902.74	2.39
	R2	701.08	1867.78	1166.70	233.69	622.59	388.90	1014.16	2.61
	R3	718.26	1942.54	1224.28	239.42	647.51	408.09	981.08	2.40
	Prom.	710.94 ± 8.87	1885.87 ± 50.13	1174.94 ± 45.78	236.98 ± 2.96	628.62 ± 16.71	391.65 ± 15.26	965.99 ± 57.22	2.47 ± 0.12
Prueba	R1	1269.64	1758.21	488.57	634.82	879.10	244.28	356.90	1.46
	R2	1371.70	1872.91	501.21	685.85	936.45	250.60	373.10	1.49
	R3	1514.03	1881.58	367.55	757.02	940.79	183.77	371.60	2.02
	Prom.	1385.12 ± 122.75	1837.57 ± 68.86	452.44 ± 73.79	692.56 ± 61.37	918.78 ± 34.43	226.22 ± 36.89	367.20 ± 8.95	1.66 ± 0.32