

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



ESCUELA DE POSGRADO

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR
EN CIENCIAS PARA EL DESARROLLO
SUSTENTABLE
CON MENCIÓN EN PRODUCCIÓN Y BIENESTAR ANIMAL**

**EFFECTO DE LA ALIMENTACIÓN CON ACEITE DE SACHA
INCHI (*Plukenetia volubilis*) EN LA PRODUCCIÓN, CALIDAD DE
HUEVO, PERFIL BIOQUÍMICO DE SANGRE E
HISTOPATOLOGÍA DE HÍGADO EN GALLINAS PONEDORAS**

Autor:

M.Sc. Segundo José Zamora Huamán

Asesores:

Ph.D. Ives Julian Yoplac Tafur

Ph.D. Elias Salvador Tasayco

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2022

DATOS DEL ASESOR DE LA TESIS

Ing. Ph.D. IVES JULIAN YOPLAC TAFUR

DNI 33432054

REGISTRO ORCID

<https://orcid.org/0000-0001-9524-1584>

Ing. Ph.D. ELIAS SALVADOR TASAYCO

DNI 21846682

REGISTRO ORCID

<https://orcid.org/0000-0002-4298-7144>

Campo de la Investigación y el Desarrollo, según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE):

4.02.02- CRIA

DEDICATORIA

A mi querida esposa Bety Canta y mis hijos Andrea Carolina y Yury Sebastián por ser los pilares que sostienen todos mis esfuerzos para ser mejor persona y profesional, siempre mi amor hacia ellos.

A mis padres Segundo e Yrma y mis hermanos Marco, Nancy, Yuri y Silvia Zamora, por siempre brindarme ese apoyo y consejo en los momentos más difíciles de la vida, para ellos todo mi cariño y respeto.

A mis asesores, los doctores Ives Yoplac y Elias Salvador, por sus puntuales consejos para mejorar y finalizar con éxito la presente investigación.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), por su apoyo en las actividades de investigación primordiales que se reflejan en mi formación profesional.

Al Proyecto Concytec – Banco Mundial “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica” 8682-PE, a través de su unidad ejecutora ProCiencia (Contrato N° 003-2018) por contribuir al financiamiento de este doctorado y sus publicaciones.

Al Instituto de Investigación en Ganadería y Biotecnología (IGBI), la Estación Experimental Chachapoyas y sus directivos por permitir la realización de la parte experimental.

Al Laboratorio de Nutrición Animal y Bromatología de Alimentos de la UNTRM y sus responsables, Ph.D. Ives Julian Yoplac Tafur y la M. Sc Flor Mejía, por sus apoyos en el análisis de muestras relacionadas con la investigación.

A los bachilleres Herlyn Aguilar y Carlita Gómez por apoyarme de manera importante en el proceso de recojo de información de campo.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Dr. Policarpio Chauca Valqui

Rector

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Vicerrector Académico

Dra. Flor de Teresa García Huamán

Vicerrectora de Investigación

Dr. Raúl Rabanal Oyarce

Director (e) de la Escuela de Posgrado

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS

Como docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, yo, Ph. D. Ives Julián Yoplac Tafur, hago constatar que he venido asesorando en la parte de ejecución y elaboración del informe de tesis titulado “Efecto de la alimentación con aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) en la producción, calidad de huevo, perfil bioquímico de sangre e histopatología de hígado en gallinas ponedoras”, del tesista, M.Sc. Segundo José Zamora Huamán, quien ha egresado del Doctorado en Ciencias para el Desarrollo Sustentable con mención en Producción y bienestar animal de la Escuela de Post grado de esta casa superior de estudios.

Chachapoyas, abril del 2022



Ph. D. Ives Julian Yoplac Tafur

Asesor

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS

Como docente de la Universidad Nacional “San Luis Gonzaga”, de Ica, yo, Ph. D. Elías Salvador Tasayco, hago constatar que he venido asesorando en la parte de ejecución y elaboración del informe de tesis titulado “Efecto de la alimentación con aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) en la producción, calidad de huevo, perfil bioquímico de sangre e histopatología de hígado en gallinas ponedoras”, del tesista, M.Sc. Segundo José Zamora Huamán, quien ha egresado del Doctorado en Ciencias para el Desarrollo Sustentable con mención en Producción y bienestar animal de la Escuela de Post grado de esta casa superior de estudios.

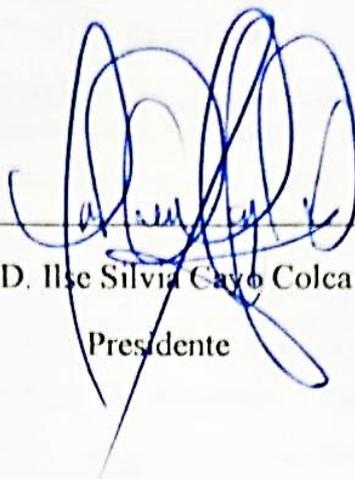
Chachapoyas, abril del 2022



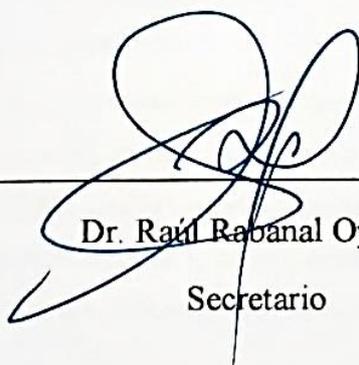
Ph. D. Elías Salvador Tasayco

Asesor

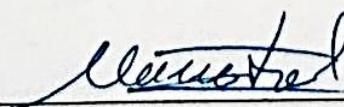
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



Ph.D. Ilse Silvia Cayo Colca
Presidente



Dr. Raúl Rabanal Oyarce
Secretario



Dra. Mariel del Rocío Chotón Calvo
Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL

PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 6-O

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO () / DOCTOR ()

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Efecto de la alimentación con aceite de Sacha inchi (Plukenetia volubilis) en la producción, calidad de huevo, perfil bioquímico de sangre e histopatología de hígado en gallinas ponedoras
presentada por el estudiante () egresado () *Segundo José Zamora Huamán*

de la Escuela de Posgrado, Maestría () / Doctorado (✓) en *Ciencias para el*

Desarrollo Sustentable

con correo electrónico institucional *Jose.zamora@untrm.edu.pe*

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene *18* % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (✓) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, *19* de *JULIO* del *2022*

[Firma]
SECRETARIO

[Firma]
PRESIDENTE

[Firma]
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL

PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 6-Q

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO () / DOCTOR (✓)

En la ciudad de Chachapoyas, el día 27 de Julio del año 2022, siendo las 11:30 horas, el aspirante M.Sc. Segundo José Zamora Huamán defiende en sesión pública presencial (x) / a distancia () la Tesis titulada: Efecto de la alimentación con aceite de Séscha inchi (Plukenetia volubilis) en la producción, calidad del huevo, perfil bioquímico de Sangre e histopatología de hígado en gallinas que tiene como asesor a Ph.D. Juan J. Yápez Tapar y Ph.D. Elio Salvador Tasayca para obtener el Grado Académico de Maestro () / Doctor (✓) en Ciencias para el Desarrollo Sustentable a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, conformado por:

Presidente: Dra. Flie Silvia Cayo Calva

Secretario: D. Raúl Rahamat Dyese

Vocal: Dra. Monil del Rocío Chotón Calva

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y método, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis de Maestría () / Doctorado (✓), en términos de:

Aprobado (✓)

Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 13:00 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Grado Académico de Maestro () / Doctor (✓).


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTA

OBSERVACIONES:

.....
.....

ÍNDICE GENERAL

DATOS DEL ASESOR DE LA TESIS	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS	vi
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS	vii
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS.....	viii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	x
ÍNDICE GENERAL	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xviii
I. INTRODUCCIÓN.....	19
II. MATERIAL Y MÉTODOS	25
2.1. DIFERENTES NIVELES DE ACEITE DE SACHA INCHI (<i>Plukenetia volubilis</i>) EN LOS INDICADORES PRODUCTIVOS Y CALIDAD DE HUEVOS DE GALLINAS PONEDORAS	25
2.1.1. Lugar de estudio.....	25
2.1.2. Animales, instalaciones y manejo	25
2.1.3. Dietas experimentales	25
2.1.4. Determinación de perfil de AG en aceite de sachá inchi y en las dietas experimentales	26
2.1.5. Indicadores productivos	27
a. Consumo de alimento (CA)	27

b. Porcentaje de postura (%P)	27
c. Masa de huevo (MH).....	27
d. Eficiencia alimenticia (EA).....	28
e. Ganancia de peso en gallinas (GP)	28
2.1.6. Calidad de huevo	28
a. Peso promedio de huevo (WH).....	28
b. Peso de yema, albumen y cáscara (PY, PA, PC)	28
c. Índice de yema (IY)	29
d. Potencial de Hidrógeno (pH).....	29
e. Unidades Haugh (UH).....	29
f. Grosor de cáscara (GC)	29
g. Gravedad específica (GE).....	30
h. Color de yema (CY)	30
2.1.7. Análisis de datos	30
2.2. DIFERENTES NIVELES DE ASI Y SU EFECTO EN PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS, PERFIL BIOQUÍMICO EN SANGRE, HISTOPATOLOGÍA EN HÍGADO Y ASPECTO SENSORIAL EN HUEVOS DE GALLINA	31
2.2.1. Lugar de estudio	31
2.2.2. Tratamientos.....	31
2.2.3. Determinación de perfil de ácidos grasos en yema de huevo	31
a. Extracción de lípidos de la yema de huevo	31
b. Perfil de ácidos grasos en yema de huevo (AG).....	32
c. Determinación de ácidos graso (AG) mediante Cromatografía de Gases (CG):	32
2.2.4. Determinación de metabolitos en sangre: Colesterol total (CT) y Triglicéridos totales (TG)	34
2.2.5. Determinación de Aspartato amino transferasa (AST) y Alanina amino transferasa (ALT).....	35

2.2.6. Nivel de daño hepático (Masa relativa de hígado) y morfología hepática .	35
2.2.7. Análisis sensorial	36
2.2.8. Análisis de datos	37
III. RESULTADOS	38
3.1. DIFERENTES NIVELES DE ASI EN INDICADORES PRODUCTIVOS Y CALIDAD DE HUEVOS DE GALLINAS PONEDORAS.....	38
3.1.2. Indicadores productivos	40
3.1.2. Indicadores relacionados con la calidad de huevo	41
3.2. DIFERENTES NIVELES DE ASI Y SU EFECTO EN EL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS, BIOQUÍMICA EN SUERO DE SANGRE, HISTOPATOLOGÍA EN HÍGADO Y EVALUACIÓN SENSORIAL EN HUEVOS DE GALLINA.....	45
3.2.1. Composición de ácidos grasos en yemas de huevo	45
3.2.2. Contenido de AG en yemas de huevo	47
3.2.3. Perfil bioquímico en suero de sangre	50
3.2.4. Evaluación sensorial en huevos de gallina	50
3.2.5. Nivel de daño hepático (Masa relativa de hígado) y morfología hepática .	52
a. <i>Masa relativa de hígado</i>	52
b. <i>Observación patológica</i>	52
IV. DISCUSIONES	54
4.1. DIFERENTES NIVELES DE ASI EN INDICADORES PRODUCTIVOS Y CALIDAD DE HUEVOS DE GALLINAS PONEDORAS.....	54
4.1.1. Consumo de alimento y eficiencia alimenticia	54
4.1.2. Porcentaje de postura.....	55
4.1.3. Ganancia de peso en aves (GP).....	55
4.1.4. Peso de huevo y masa de huevo	55
4.1.5. Pesos de yema e índice de yema.....	56
4.1.6. Unidades Haugh y peso de albumen	57

4.1.7.	Calidad de cáscara (grosor de cáscara, gravedad específica y peso de cáscara)	57
4.1.8.	Cambios en el potencial de hidrógeno en albumen y en yema (pH)	58
4.1.9.	Color de yema	58
4.2.	DIFERENTES NIVELES DE ASI Y SU EFECTO EN EL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS, PERFIL BIOQUÍMICO EN SANGRE, HISTOPATOLOGÍA EN HÍGADO Y EVALUACIÓN SENSORIAL EN HUEVOS DE GALLINA	60
4.2.1.	Composición de ácidos grasos en yemas de huevo	60
4.2.2.	Contenido de AG en yemas de huevo	62
4.2.3.	Perfil bioquímico en suero de sangre	63
4.2.4.	Evaluación sensorial en huevos de gallina	65
4.2.5.	Masa relativa de hígado	65
V.	CONCLUSIONES	67
VI.	RECOMENDACIONES	69
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
	ANEXOS	85
	LISTA DE ABREVIACIONES	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dietas experimentales y composición química calculada	26
Tabla 2. Perfil de AG de las dietas experimentales suplementadas con diferentes niveles de ASI.....	38
Tabla 3. Perfil de AG del aceite de sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i>) y aceite de soya (<i>Glycine max</i>)	39
Tabla 4. Perfil de AG de las dietas experimentales suplementadas con diferentes niveles de ASI.....	40
Tabla 5. Indicadores productivos en gallinas ponedoras alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI) en la dieta	41
Tabla 6. Peso y pH del huevo y sus partes, índice de yema en huevo de gallinas ponedoras alimentadas con diferentes niveles de ASI en la dieta*	43
Tabla 7. Características relacionadas con la calidad de huevo en gallinas ponedoras alimentadas con diferentes niveles de ASI en la dieta	44
Tabla 8. Composición de ácidos grasos (% del total de ésteres metilo de AG) en yemas de huevo en gallinas alimentadas con diferentes niveles de ASI en la dieta*	46
Tabla 9. Contenido de AGPI omega 3 en yema (mg/yema) en gallinas alimentadas con diferentes niveles de ASI en la dieta*	47
Tabla 10. Eficiencia de transferencia de AGPI ω -3 totales en alimento en AGPI DHA en huevos de gallinas alimentadas con diferentes niveles de ASI en la dieta* ...	49
Tabla 11. Efecto del ASI en los metabolitos del suero de sangre de gallinas ponedoras*	50
Tabla 12. Evaluación de atributos sensoriales en huevos cocidos en gallinas alimentadas con diferentes niveles de ASI en la dieta	51
Tabla 13. Pesos de hígado, peso del ave y masa relativa de hígado con el uso de ASI en las dietas experimentales de gallinas ponedoras	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vías metabólicas de AGPI ALA Omega 3 y AL omega 6 y su efecto modulador pro inflamatorio y antiinflamatorio (Adaptado de Ehr, 2017).....	21
Figura 2. Proceso de extracción de ASI por prensado en frío (Kodahl, 2020).....	23
Figura 3. Proceso de cromatografía de gases.....	33
Figura 4. Componentes de un cromatograma.	34
Figura 5. Contenido del AGPI DHA en huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de ASI.	48
Figura 6. Modelo de encuesta para determinar las preferencias sensoriales relacionadas con el consumo de ASI en el huevo	114

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la adición de diferentes niveles (0, 1, 2, 3 y 4% de la dieta) de aceite de sacha inchi (ASI, *Plukenetia volubilis*) en la dieta de gallinas ponedoras línea Hy-line marrón y su efecto en indicadores productivos, calidad de huevo, perfil de ácidos grasos, bioquímica en sangre, histopatología en hígado y aspecto sensorial en huevos. El uso de ASI en la dieta de gallinas ponedoras no influyó ($P > 0.05$) en los indicadores productivos evaluados. El peso de huevo, de albumen y cáscara, índice de yema y pH de yema, y el espacio de color a^* y b^* fueron afectados, mientras que los valores de peso de yema, pH de albumen, grosor de cáscara y gravedad específica, unidades Haugh y color L^* no fueron afectados ($P > 0.05$). El contenido total de Ácidos Grasos Saturados (AGS) y la relación de Ácidos Grasos Poliinsaturados (AGPI) ω -6/ ω -3 disminuyeron, los niveles de AGPI tipo omega - 6 (ω -6) aumentaron y en mayor proporción omega - 3 [n -3; $P < 0.001$; ácido linolénico (ALA), ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA)]. Por regresión, con un nivel 1.92% de ASI se pudo obtener 250 mg de AGPI ω -3 en la yema de huevo. El uso ASI en la dieta de las gallinas ponedoras no alteró los niveles de colesterol y triglicéridos totales, masa relativa de hígado (aumento de peso), tampoco los niveles de Aspartato Amino Transferasa (AST) y Alanina Amino Transferasa (ALT) en el suero. La evaluación sensorial reveló que la adición de ASI no causó disgustos tanto en aroma, color, con cierto rechazo al aumentar los niveles de ASI.

Palabras clave: ácidos grasos poliinsaturados; omega 3; EPA, DHA; perfil de ácidos grasos.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the addition of different levels (0, 1, 2, 3 and 4% of the diet) of sacha inchi oil (ASI, *Plukenetia volubilis*) in the diet of laying hens and its effect on parameters productivity, egg quality, fatty acid profile, blood biochemistry, liver histopathology and sensory appearance in eggs. The use of ASI in the diet of laying hens did not influence ($P > 0.05$) the productive parameters evaluated. Egg, albumen and shell weight, yolk index and yolk pH, and a^* and b^* color space were affected, while yolk weight, albumen pH, shell thickness and specific gravity values were affected. Haugh units and L^* color were not affected ($P > 0.05$). The total content of Saturated fatty acid (SFA) and the ratio of Polyunsaturated fatty acids (PUFA) ω -6/ ω -3 decreased, the levels of PUFA type omega - 6 increased and in greater proportion omega - 3 [$P < 0.001$; linolenic acid (ALA), eicosaenoic acid (EPA) and docosaheptaenoic acid (DHA)]. By regression, with a level of 1.92% of ASI, it was possible to obtain 250 mg of PUFA ω -3 in the egg yolk. The use of ASI in the diet of laying hens did not alter the levels of cholesterol and total triglycerides, liver index (weight gain), nor the levels of Aspartate Aminotransferase (AST) and Alanine Aminotransferase (ALT) in the serum. The sensory evaluation revealed that the addition of ASI did not cause unpleasantness in terms of aroma or color, with some rejection when increasing the levels of ASI.

Keywords: polyunsaturated fatty acids; Omega 3; EPA, DHA; fatty acid profile.

I. INTRODUCCIÓN

Los cambios en la dieta humana en los últimos 100 años, específicamente en el consumo de grasas y su efecto en la salud humana, es un tema de gran interés en la investigación nutricional (Liechtenstein, 2009). Los malos hábitos alimenticios son una consecuencia de malas prácticas de alimentación y con ello, el consumo deficiente de productos que aporten a la nutrición se traducen en dietas con bajos contenidos de nutrientes, consumo elevado de alimentos y productos procesados que crean efectos perjudiciales sobre la salud humana (Illanes, 2015).

Los ácidos grasos (AG) son reservorios de energía para un sin número de tejidos en el cuerpo y ejercen muchas funciones durante el ciclo de vida. Son importantes componentes en la formación de lípidos, tales como triglicéridos, fosfolípidos, ésteres de colesterol, esteroides de plantas, entre otros (T. Y. Wang et al., 2013) que contribuyen en el metabolismo de la energía, en la estabilidad de la membrana celular y la modulación de varios procesos celulares (Glatz & Luiken, 2015). Se les puede clasificar de muchas formas, siendo algunas de ellas, por la longitud de cadena de hidrocarburos, se le puede clasificar en 3 tipos: AG de cadena corta, con colas alifáticas con menos de 6 carbonos; cadenas de AG medianas, con cadenas entre 6-12 carbonos y cadenas largas con más de 12 carbonos (Burdge & Calder, 2014). De forma natural, los AG pueden ser clasificados en tres categorías basado en el número de dobles enlaces presente dentro de las cadenas y pueden ser: AG saturados (AGS, sin dobles enlaces), AG monoinsaturados (AGMI, un solo doble enlace), y los AG poliinsaturados (AGPI, ≥ 2 dobles enlaces) (Saini & Keum, 2018).

Los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) están compuestos por un grupo carboxilo, el extremo alfa, unido a una cadena de carbono con un extremo metilo, identificado como el extremo omega. Los AGPI omega-3 (ω -3), son parte de la familia de AGPI de cadena larga, caracterizados por la presencia de más de dos dobles enlaces en una cola de 18 a 22 carbonos de longitud. Los AGPI ω -3 contienen un doble enlace insaturado entre el carbono 3 y 4 del terminal omega (Scorletti y Byrne, 2013). El ácido alfa-linolénico (ALA, 18:3 ω -3) es un AGPI ω -3 esencial, de 18 carbonos de longitud que contiene 3 dobles enlaces, que no puede ser sintetizado endógenamente por mamíferos y aves, que debe ser consumido para mantener la homeostasis biológica (Scorletti y Byrne, 2013). Los AGPI ω -3 son necesarios para el desarrollo normal del cerebro, la señalización de

células nerviosas e inmunológicas, la regulación cardiovascular y la deposición y reabsorción de minerales óseos (Goyal *et al.*, 2014; Hou *et al.*, 2016; H.-J. Kim *et al.*, 2017). El ALA se puede convertir en un AGPI ω -3 de cadena más larga como: Ácido Eicosapentaenoico (EPA, 20:5 ω -3), cadena de 20 carbonos que contiene 5 enlaces dobles y el ácido docosahexaenoico (DHA, 22:6 ω -3), cadena de 22 carbonos que contiene 6 enlaces dobles, a través de los hepatocitos hepáticos, aunque la tasa de conversión es limitada en mamíferos y aves debido a la sobresaturación de las enzimas desaturasa y elongasa que actúan sobre ALA (Zivkovic *et al.*, 2011).

Las dietas occidentales son deficientes en ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) Omega 3 (ω -3), especialmente el ALA, EPA y DHA, y son altas en AGPI omega 6 (ω -6), especialmente en ácido linoleico (AL, 18:2n-6) proveniente del consumo de aceites vegetales (Blasbalg *et al.*, 2011). Muchas investigaciones se han publicado sobre los beneficios que se relacionan con el consumo de los AGPI ω -3 en la salud, además la creciente preocupación por alimentos más saludables ha creado una demanda de carnes y huevos enriquecidos con AGPI ω -3 con valor agregado. El Departamento de Salud y Servicios Sociales de los Estados Unidos recomienda un consumo mínimo de 250 mg de EPA y DHA por día, además el mercado de huevos enriquecidos con AGPI ω -3 ocupa un 26,4 % de huevos especiales (USDA, 2017b). Los huevos enriquecidos con AGPI ω -3, poseen propiedades antiinflamatorias (Kruger *et al.*, 2010; Longo y Ward, 2016) especialmente en la prevención de enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer, enfermedad de Alzheimer, depresión, desarrollo neurológico y de la retina, así como en la función inmunológica (Shahidi y Ambigaipalan, 2018), ventajas que impulsan a incrementar su consumo. Por ello, complementar las dietas de las aves con ingredientes funcionales, como los AGPI ω -3, generaría huevos y carnes con valor agregado (Fraeye *et al.*, 2012; T. Ribeiro *et al.*, 2013).

El contenido de ácidos grasos (AG) en la yema de huevo puede ser modificado por la dieta y especialmente por las fuentes lipídicas usadas en la alimentación de gallinas ponedoras (Mazalli *et al.*, 2004; Pardo *et al.*, 2005; B. R. C. Ribeiro *et al.*, 2007). La fortificación con AGPI ω -3 de los productos avícolas (huevos) para consumo regular ha recibido considerable interés para elevar los niveles de AG ω -3 en la yema de huevo (S. A. Lee *et al.*, 2019). Sin embargo, la aceptabilidad del consumidor y el precio son los principales desafíos que enfrenta la industria pecuaria (A. Watters y M. Edmonds, 2012;

Ganesan *et al.*, 2014). La suplementación con fuentes de ALA, EPA, DHA o su precursor en la dieta de gallinas ponedoras, es una estrategia para enriquecer los huevos con AGPI ω -3. El principal precursor para el EPA y DHA es el ALA, que posee las vías para su biosíntesis en EPA y DHA (Alagawany *et al.*, 2019) (Figura 1).

Los aceites que contienen mayor contenido de AGPI ω -3, provienen de las especies marinas como los aceites de pescado de aguas frías, de elevado contenido en DHA, aunque con poca estabilidad oxidativa, causando sabores rancios y olores desagradables en los productos animales que la han añadido. Existen productos de origen vegetal y animal como fuente de ALA que son suplementados con frecuencia en la dieta de gallinas, tal es el caso de la linaza (*Linum usitatissimum*)(Moghadasian, 2008).

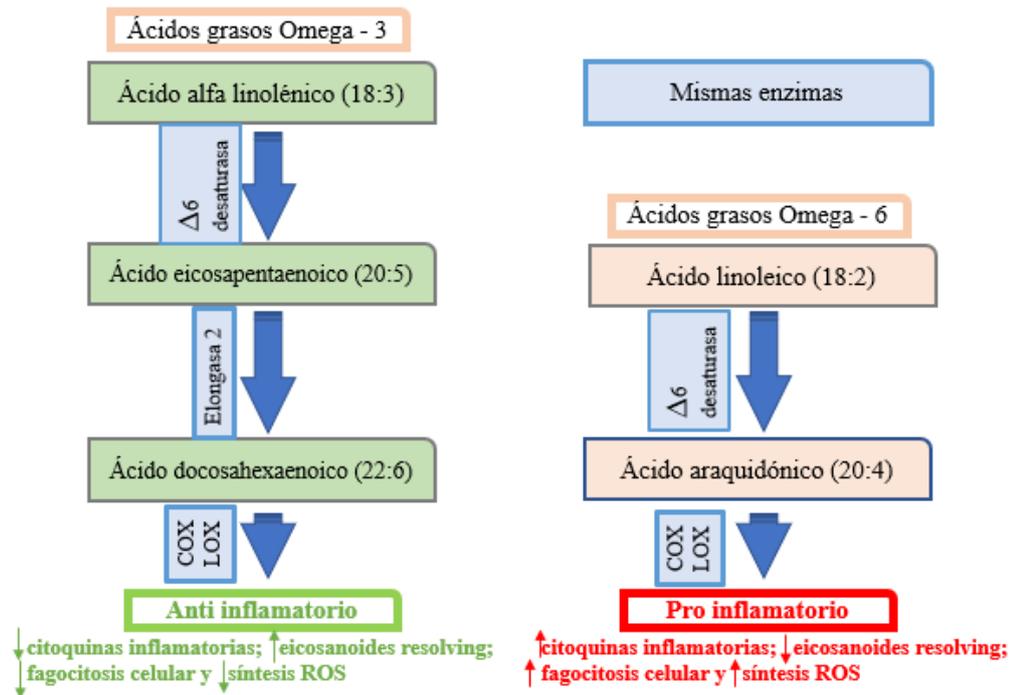


Figura 1. Vías metabólicas de AGPI ALA Omega 3 y AL omega 6 y su efecto modulador pro inflamatorio y antiinflamatorio (Adaptado de Ehr, 2017).

La linaza (*Linum usitatissimum*) viene siendo usada en los Estados Unidos como alimento funcional para suplementar a las aves con ALA. Posee un contenido de 45% de grasas, de los cuales 60% se compone de ALA y 15% de AL (USDA, 2017a). Puede ser suplementado en las dietas con la finalidad de incrementar el contenido de AG ω -3 en huevos y carne de aves (Lopes *et al.*, 2013). Sin ningún suplemento de AGPI ω -3 en la

dieta de las gallinas, se pudo obtener 68 mg de AG ω -3 (ALA y DHA) en huevos de 50 g en promedio (Samman *et al.*, 2009). Jia *et al.* (2008) comparó los niveles de AG ω -3 en huevos de gallina alimentados con 15% de harina de semilla de canola, logrando obtener 173 mg AG ω -3 (93 mg fueron ALA) por cada huevo de 50 g, mientras que, al usar ese mismo porcentaje, pero de linaza, se pudo lograr 355 mg AG ω -3 (254 mg ALA) por cada 50 g de huevo.

La suplementación de linaza extruida en niveles mayores a 9%, se refleja en huevos con \sim 150 mg DHA y 530-670 mg AG ω -3 (Huang *et al.*, 2020). Del mismo modo Neijat *et al.*, (2016) determina \sim 97.2 mg ALA y 174 mg de AG ω -3 en yemas de huevo suplementadas con 1.19% de aceite de linaza en la dieta. La linaza contiene componentes anti nutricionales como glucósidos cianogénicos, ácido fítico, inhibidor de tripsina (Goyal *et al.*, 2014) de probadas consecuencias en reducción de palatabilidad de los alimentos y que sugieren establecer límites biológicos (niveles de uso) en la dieta con la finalidad de prevenir efectos negativos en el desempeño o la conversión alimenticia (Feng *et al.*, 2003). De igual manera, el uso de linaza en la dieta de aves tiene efectos en el aspecto sensorial y de preferencia en huevos. Cuando se usaron más de 10% de linaza en la dieta de gallinas, se han detectado sabores a pescado en huevos (Fraeye *et al.*, 2012). El aceite de linaza es otra alternativa en la alimentación de aves para suplementar con ALA (AG ω -3). Posee ventajas como la ausencia de factores anti nutricionales y contiene los AG de ω -3 de manera concentrada. Comparado con los aceites de soya o de maíz, el aceite de linaza contiene 7 veces más de ALA y 3 veces menos de AL (Goyal *et al.*, 2014).

El sacha inchi (*Plukenetia volubilis Linnaeus*), también conocido como maní del inca, es un arbusto trepador perenne de 2 m de altura (Fig. 2A) y crece en la selva tropical de la región andina, desde los 100 hasta 2000 metros sobre nivel del mar. Produce unos frutos verdes en forma de estrella que se tornan marrón a medida que madura el fruto (Fig. 2B-C), dando semillas comestibles de color marrón oscuro de 1.5-2.0 cm de diámetro (Fig. 2D) con peso de 48-100 g (Krivankova *et al.*, 2012). Contiene alto contenido de lípidos (33-54%) (Chirinos *et al.*, 2013; Follegatti-Romero *et al.*, 2009), proteína (24.2-27.0%)(Gutiérrez *et al.*, 2011), carbohidratos (\sim 30.9%) y cenizas (\sim 4%) en peso seco; así como también es rico en potasio, magnesio, calcio (Gutiérrez *et al.*, 2011), similar y comparable con el valor nutritivo de la proteína de soya. El aceite de sacha inchi (ASI)

tiene elevado contenido en AGPI ω -3 ALA (46,8-50,8%), seguido por AL (33.4-36.2%) y ácido oleico (AO, ω -9) (Chirinos *et al.*, 2013; Follegatti-Romero *et al.*, 2009), comparados únicamente con la semilla de linaza (Fanali *et al.*, 2011; Niu *et al.*, 2014; Zanqui *et al.*, 2016).

El proceso de extracción de aceite de sacha inchi involucra procesos como la remoción de la capa dura, el cual puede ser realizado de manera manual o mecánica (Fig. 2E-G). El ASI que normalmente se comercializa para consumo humano, es extraído por presión en frío, seguido de filtrado (Follegatti-Romero *et al.*, 2009).



Figura 2. Proceso de extracción de ASI por prensado en frío (Kodahl, 2020)

Lima *et al.* (2019) realizó una investigación con 320 truchas (*Oncorhynchus mykiss*) y usó ASI en niveles de 21%, 12,6% y 8,4% como reemplazo de aceite de pescado (AP), no encontrando diferencias en los índices productivos (ganancia de peso, longitud, consumo y conversión alimenticia), afectando los niveles de proteína en el músculo de la trucha cuando la sustitución de ASI por AP fue en un 100%. Los resultados concluyeron que niveles de reemplazo de un 40% de ASI por AP no afectan el porcentaje de perfil de

AGPI (EPA y DHA) respecto a la dieta con AP completa, concluyendo que si es factible su sustitución en dietas para truchas.

Con todo lo mencionado anteriormente, el objetivo de la investigación fue de evaluar la influencia de la alimentación con aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) a diferentes niveles de ASI (0%, 1%, 2%, 3% y 4%) en los indicadores productivos y calidad de huevos de gallinas ponedoras; luego se trazó el objetivo de medir el perfil de ácidos grasos para determinar los cambios a nivel de ácidos grasos poliinsaturados de tipo omega 3 y omega 6 con la adición del ASI en la dieta, cambio en los valores bioquímicos en sangre, cambios histopatológicos a nivel de hígado y características sensoriales en los huevos de gallinas ponedoras.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. DIFERENTES NIVELES DE ACEITE DE SACHA INCHI (*Plukenetia volubilis*) EN LOS INDICADORES PRODUCTIVOS Y CALIDAD DE HUEVOS DE GALLINAS PONEDORAS

2.1.1. Lugar de estudio

Los indicadores productivos se realizaron en la Estación Experimental de Animales Menores del Instituto de Investigación en Ganadería y Biotecnología (IGBI) de la Facultad de Ingeniería Zootecnista, Agronegocios y Biotecnología (FIZAB) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), mientras que la calidad de huevos de gallinas ponedoras fue determinada en el Laboratorio de Nutrición Animal y Bromatología de Alimentos (LABNUT) de la UNTRM.

2.1.2. Animales, instalaciones y manejo

Se emplearon 150 aves como tamaño de muestra, las que fueron distribuidas en 5 tratamientos. Cada tratamiento tuvo 10 repeticiones y cada repetición estuvo conformada por 3 aves, las mismas que fueron alojadas en una jaula de 0,60 metros (m) largo x 0,51 m ancho x 0,37 m de altura, con 867 cm² por ave en jaula. Los pesos de las aves fueron en promedio de 1,79 ± 0,14 kg (90% uniformidad) y con 30 semanas de edad. El alimento fue en forma de harina y el agua se entregó a voluntad durante todo el periodo experimental. El período y el régimen de luz fue de 13 h de luz continua por día. Las dietas fueron colocadas en baldes y rotulados por tratamiento.

2.1.3. Dietas experimentales

Todas las dietas fueron en base a harina de maíz y soya, con la adición de aceite de sacha inchi (ASI) proveniente de la empresa Nature Farmacia (Tarapoto, Perú), en niveles de 0%, 1%, 2%, 3% y 4%, ofrecidas durante 60 días, con 14 días de etapa pre experimental para su adaptación. Las dietas se formularon en base a las necesidades nutricionales de aves según National Research Council (NRC, 1994) con niveles 15,20 – 16,00% de proteína bruta y 2700 – 2850 kilo calorías (kcal) de Energía metabolizable (EM) por kilo

de alimento. Las dietas fueron calculadas en base a composición proximal según (AOAC, 1990) (Tabla 1).

Tabla 1. Dietas experimentales y composición química calculada

Ingredientes (%)	0%ASI	1%ASI	2%ASI	3%ASI	4%ASI
Maíz amarillo	54,10	54,10	54,10	54,10	54,10
Harina de soya	21,75	21,75	21,75	21,75	21,75
Subproducto trigo	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Carbonato de calcio	9,53	9,53	9,53	9,53	9,53
Fosfato di cálcico	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93
DL-metionina	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Aceite soya	4,00	3,00	2,00	1,00	0,00
Aceite sacha inchi	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00
Vit+ min premix ¹	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Cloruro colina	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Sal común	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Valores calculados					
EM ² , M cal/kg	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
Proteína cruda, %	15,75	15,75	15,75	15,75	15,75
Grasa cruda, %	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Fibra cruda, %	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25
Lisina digestible, %	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
M + C ³ digestible, %	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Treonina digestible, %	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Triptófano digestible, %	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Fósforo disponible, %	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Calcio, %	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20

¹ Vit + min premix: vitamina A, 12000 UI/kg; Vitamina D3, 3600 UI/kg; Vitamina E, 18 UI/kg; Vitamina K3, 3.0 mg/kg; tiamina, 2.4 mg/kg; riboflavina, 7.2 mg/kg; piridoxina, 7.8 mg/kg; ac. Pantoténico, 7.2 mg/kg; ac. Fólico, 0.6 mg/kg; niacina, 24 mg/kg; biotina, 0.18 mg/kg; manganeso, 72 mg/kg; zinc, 7.2 mg/kg; hierro, 4.8 mg/kg; cobre, 7.2 mg/kg; yodo, 1.2 mg/kg; selenio, 0.36 mg/kg; cobalto, 0.18 mg/kg.² EM; energía Metabolizable. ³M+C; metionina más cisteína.

2.1.4. Determinación de perfil de AG en aceite de sacha inchi y en las dietas experimentales

El perfil de AG del aceite de sacha inchi (ASI), aceite de soya y las dietas experimentales se determinaron por triplicado y como la media aritmética \pm desviación estándar.

Para la extracción de AG en el ASI y en el alimento balanceado, se realizaron siguiendo la metodología propuesta de Síntesis Directa de FAME (del inglés Fatty Acid Methyl Ester) adaptada de O'Fallon *et al* (2007), con modificaciones. Las muestras de alimento fueron primero molidas, luego fueron introducidas en un tubo de 15 mL con tapón de teflón añadiendo 0,7 ml de KOH 10 N en agua y 5,3 ml de metanol (>99.9 pureza, MeOH)

y 1 mL de la solución de patrón interno (0,5 mg/mL de C13:0 en MeOH) y fue mezclado con vortex. Se incubó en baño de agua o termoblock a 55 °C durante 1,5 h, agitando vigorosamente durante 5 s cada 20 min.

Se dejó enfriar hasta temperatura ambiente con agua corriente del grifo y añadir 0,58 ml de H₂SO₄ 24 N. Se mezcló el tubo por inversión y se incubó en baño de agua o termoblock a 55 °C durante 1,5 h, agitando vigorosamente durante 5 s cada 20 min. Se dejó enfriar con agua corriente a temperatura ambiente, luego se añadió 1,5 mL de hexano (calidad HPLC) y agitó en vortex durante 5 min. Se centrifugó a 3000 rpm durante 5 min, se recogió la fase orgánica, introduciéndola en un vial para su posterior determinación del perfil de AG en cromatografía de gases (CG).

2.1.5. Indicadores productivos

Los indicadores productivos evaluados fueron el consumo de alimento (CA), producción de huevos (PH), masa de huevos (MH), eficiencia alimenticia (EA) y ganancia de peso en gallinas (GP) que fueron registrados desde la semana 30 hasta la semana 38.

a. Consumo de alimento (CA)

Se determinó los lunes de cada semana mediante la diferencia entre lo entregado y el sobrante. El resultado fue dividido entre el número de aves en cada jaula (3 aves) y expresado en gramos por ave por día (Itza y Ciro, 2016).

b. Porcentaje de postura (%P)

Se evaluó de manera diaria en porcentaje por ave por día, la variable fue obtenida al dividir el número total de huevos puestos recogidos por ave en la semana, entre el número de aves total y multiplicado por 100 (ec. 1).

$$\text{Porcentaje de postura} = \frac{\text{Cant.huevos semanal}}{\text{Gallinas alojadas} \times 7} \times 100 \quad (\text{ec. 1})$$

c. Masa de huevo (MH)

Es el producto entre porcentaje de postura por tratamiento y el peso promedio del huevo semanal dividido por 100, según ecuación (2). Se realizó de manera semanal (jueves) y los resultados fueron expresados en gramos.

$$\text{Masa de huevo (g)} = \frac{\% \text{postura} \times \text{peso promedio huevo (g)}}{100} \quad (\text{ec.2})$$

d. Eficiencia alimenticia (EA)

La eficiencia alimenticia por masa de huevos fue calculada de manera semanal dividiendo el total de alimento consumido (kg) por jaula y el peso de huevos producidos (kg) en esa semana de acuerdo a la ec. 3 (Itza y Ciro, 2016).

$$\text{Eficiencia alimenticia (EA)} = \frac{\text{Peso total alimento consumido (kg)}}{\text{Peso total de huevos (kg)}} \quad (\text{ec.3})$$

e. Ganancia de peso en gallinas (GP)

Con los pesos iniciales de las gallinas por tratamiento (semana 30), se realizó el pesado cada dos semanas (32, 34, 36 y 38va semana) y ganancia de peso final (kg).

2.1.6. Calidad de huevo

Se determinó los indicadores de calidad de huevo calculando el peso promedio de huevo (WH, g), peso de yema (PY, g), peso de albumen (PA, g) y peso de cáscara (PC, g), índice de yema (IY), potencial de hidrógeno en yema y clara (pH), unidades Haugh (UH), grosor de cáscara (GC), gravedad específica (GE), resistencia a la ruptura (RR), color de yema (CIELAB) y color abanico (AB).

a. Peso promedio de huevo (WH)

Los huevos se recolectaron los días jueves y viernes de cada semana y en cantidad de tres huevos por repetición. Cada huevo fue pesado (g) en una balanza digital 0.01 - 2000 g (Modelo JA3000C, fabricante Xing Yun, China) y reportados como el promedio por semana.

b. Peso de yema, albumen y cáscara (PY, PA, PC)

Los huevos en cantidad de 5 unidades por tratamiento fueron pesados en una balanza digital 0,01 - 2000 g (Modelo JA3000C, fabricante Xing Yun, China), luego, en un depósito se retiró la albúmina, la yema intacta se hizo rodar en papel toalla y fue pesada,

de igual manera las cáscaras fueron lavadas y secadas en estufa (105° C x 24 h). Por diferencia de pesos se obtuvo el peso de albumen (Itza y Ciro, 2016).

c. Índice de yema (IY)

El IY fue determinado, en base al método propuesto por M. Duman *et al.*, (2016), que consiste en determinar la altura y el diámetro de la yema (transversal y longitudinal) y que fueron medidos dentro del albumen, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación (4)

$$IY = \frac{\text{Altura de yema}}{\text{diámetro de yema}} \quad (\text{ec. 4})$$

d. Potencial de Hidrógeno (pH)

Los días jueves y viernes de cada semana, 5 huevos por tratamiento fueron mezclados en un vaso de precipitación de 100 mL, luego mezclado para ser evaluados en los cambios del pH de yemas y albúminas. Para ello se usó un analizador de pH/ion portátil (modelo HI-99161, Hanna, RI, USA).

e. Unidades Haugh (UH)

Se realizaron cada quince días, medido como la altura del albumen en huevos quebrados en una superficie plana y fue medido con un micrómetro de tipo trípode con resolución de 0.01 mm (Marca Baxlo, Procedencia Barcelona España). Las Unidades Haugh (UH) fueron calculadas a partir de peso de huevo (W) y la altura de albumen (H), con la siguiente ecuación (5), propuesta por Eisen *et al* (1962).

$$UH = 100 \log(H - 1,7W^{0,37} + 9,76) \quad (\text{ec. 5})$$

f. Grosor de cáscara (GC)

Las cáscaras fueron lavadas y secadas en la estufa (105° C x 6 horas). Se midieron en tres puntos de la región ecuatorial con el uso de micrómetro de precisión (0,01 g) según Itza y Ciro (2016).

g. Gravedad específica (GE)

Se sumergieron 5 huevos por tratamiento en soluciones salinas de diferentes densidades (Método de Arquímedes), que van desde 1,060 a 1,100 con una variación de 0,005 para cada solución, en base a la metodología propuesta por Reis et al. (2021). Las densidades se ajustaron con un densímetro o hidrómetro (G y W Instruments A-1166, China). Los huevos se fueron sumergiendo desde la concentración salina más baja hasta la más alta. La gravedad específica de cada huevo se determinó al observar los huevos flotar y la solución con la densidad identificada.

h. Color de yema (CY)

Cinco huevos por tratamiento fueron separados de la yema y mezclados en un beaker por 2 minutos. Luego las yemas mezcladas fueron puestas en una bolsa transparente para medir el color en tres zonas diferentes usando el colorímetro CR-400 (Konica Minolta Co., Ltd., Osaka, Japón). El colorímetro fue calibrado previamente con la bolsa transparente usada antes de realizar las mediciones del espacio de color de L^* , a^* , b^* . Los valores de L^* representan los niveles de claridad o luminosidad, con valores en el rango de 0 a 100 ($L^*=0$ indica oscuridad y $L^*=100$ indica luminosidad). Los valores de a^* representan la variación en el color rojo, con una escala que va de -60 (para el color verde) hasta +60 (color rojo). Los valores de b^* representan el nivel de amarillo en una escala que va desde -60 (color azul) hasta +60 (color amarillo). Los valores medidos corresponden al espacio de color CIELab definido por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE). Se utilizó el estándar iluminante D65 para configurar el colorímetro y las medidas se tomaron teniendo en cuenta un ángulo de 2° . Nos interesó las tonalidades dorado naranjas en este estudio, es decir el espacio de color a^* será más enfatizado (Ortiz et al., 2021).

2.1.7. Análisis de datos

Se empleó un diseño en bloques completamente al azar (DCA) con cinco tratamientos incluido el testigo y 10 repeticiones cada uno. Los tratamientos corresponden a la inclusión de diferentes niveles de ASI en la dieta alimenticia de gallinas (0%, 1%, 2%, 3% y 4%). La unidad experimental corresponde a un huevo. Los resultados que se obtuvieron de los indicadores productivos y calidad del huevo, fueron evaluados con un

análisis de varianza (ANOVA) al 5% de nivel de significancia. Se usaron contrastes ortogonales para probar las variables dependientes entre control y las dietas con el uso de ASI, además las variables dependientes se probaron para los contrastes ortogonales de tipo lineal, cuadrático del uso de niveles de ASI. Las funciones lineal y cuadrática fueron usadas para explicar las respuestas en este modelo biológico. Un modelo lineal indicó una respuesta progresiva (sea positiva o negativa) a la inclusión del ASI en la dieta; por otro lado, un ajuste (modelo) cuadrático representó un tope máximo para la respuesta en relación al nivel de inclusión de ASI usado en el experimento. Cuando se encontró diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Duncan ($\alpha \leq 0,05$). Los resultados se analizaron estadísticamente mediante el programa SPSS (versión 25).

2.2. DIFERENTES NIVELES DE ASI Y SU EFECTO EN PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS, PERFIL BIOQUÍMICO EN SANGRE, HISTOPATOLOGÍA EN HÍGADO Y ASPECTO SENSORIAL EN HUEVOS DE GALLINA

2.2.1. Lugar de estudio

La parte experimental se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal y Bromatología de los Alimentos de la UNTRM, Chachapoyas, Perú.

2.2.2. Tratamientos

Se utilizaron los mismos 5 tratamientos indicados en el experimento 1 (Tabla 1).

2.2.3. Determinación de perfil de ácidos grasos en yema de huevo

a. Extracción de lípidos de la yema de huevo

Una semana antes de la finalización del experimento para permitir la máxima transferencia de AG hacia la yema de huevo, se muestreo 5 huevos por tratamiento de manera aleatoria para medir el contenido de AG en yema de huevo.

Tres repeticiones por tratamiento obtenidas de la mezcla de tres yemas por repetición en una sola mezcla fueron homogenizados y luego se les extrajo el total de lípidos presente en cada tratamiento según la metodología de (Bligh & Dyer, 1959), que consiste en pesar

1 g de yema de huevo, adicionar 2,5 mL de cloroformo y 5 mL de metanol, luego agitar en un vortex por dos minutos, adicionar 2,5 mL de cloroformo, agitar con el vortex por un minuto, finalmente 2 mL de cloruro de sodio y agitarse en vortex por un minuto. Realizar el filtrado al vacío, hasta colectar la fase líquida. Transferir la fase líquida en un tubo de 50 mL hasta que se formen dos fases. Con el uso de una pipeta pasteur retirar la totalidad de la fase superior (metanol). Pesar por triplicado recipientes de aluminio con 1,25 mL de cloroformo. Colocar en una cocina a baja temperatura (60°C) y calentar hasta que se forme una pequeña capa de lípido quede en el recipiente para finalmente llevar a una estufa a 105°C por 15 minutos hasta remover todo el cloroformo sobrante hasta colocar en un desecador y medir el contenido de grasas.

b. Perfil de ácidos grasos en yema de huevo (AG)

Para la extracción de ácidos grasos (AG) en ASI en yemas de huevo, se realizaron siguiendo la metodología propuesta de Síntesis Directa de FAME (del inglés Fatty Acid Methyl Ester) adaptada de O'Fallon *et al* (2007), con modificaciones.

Las muestras fueron liofilizadas lo correspondiente a 20 y 30 mg de grasa y fueron introducidos en un tubo de 15 mL con tapón de teflón añadiendo 0,7 mL de hidróxido de potasio (KOH) 10 N en agua y 5,3 ml de metanol (MeOH) y 1 mL de la solución de patrón interno (0,5 mg/ml de C13:0 en MeOH) y mezcló con vortex. Se incubó en baño de agua o termo block a 55 °C durante 1,5 h., agitando vigorosamente durante 5 s cada 20 min. Luego se enfrió hasta temperatura ambiente con agua corriente y se añadió 0,58 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 24 N. Se mezcló en un tubo por inversión y se incubó en baño de agua o termoblock a 55 °C durante 1,5 h, agitando vigorosamente durante 5 s cada 20 min. Se dejo enfriar con agua corriente a temperatura ambiente, añadir 1,5 ml de hexano (calidad HPLC) y agitó en vortex durante 5 min. Luego se centrifugó a 3000 rpm durante 5 min, recoger la fase orgánica, introducirla en un vial para su posterior determinación del perfil de AG en cromatografía de gases (GC). Se realizaron 30 repeticiones en yemas por cada tratamiento.

c. Determinación de ácidos graso (AG) mediante Cromatografía de Gases (CG):

La composición de AG en las yemas de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de ASI se determinó siguiendo la metodología por (Rossi *et al.*, 2007), con modificaciones. Se empleó un cromatógrafo de gases (7890B GC System, Agilent

technologies, USA), equipada con un detector de espectrómetro de masas (Modelo 5977B, Agilent technologies, USA). Se inyectó 1 microlitro (μL) de la muestra. Las condiciones cromatográficas fueron las siguientes: split ratio 20:1; temperatura de inyección 250 °C; temperatura del horno se mantendrá a 150 °C por 1 minuto, para luego iniciar un gradiente de temperatura (2,5 °C/min) hasta alcanzar 230 °C, manteniendo esta temperatura final por 1 minuto. El gas de arrastre usado fue helio a un flujo de 0,63 mL/min.

La determinación cuantitativa de los ácidos grasos a partir del análisis de FAMES, fueron realizados comparando los tiempos de retención de los picos generados en los cromatogramas por las muestras; con los tiempos de retención de los picos obtenidos por la inyección de una mezcla estándar de 37 ésteres metílicos de ácidos grasos, usando la siguiente ecuación 6 y figuras 3 y 4.

$$\text{Concentración (mgAG\%)} = \frac{\text{FR} \times \text{PesoPI} \times \text{ÁreaAG}}{\text{AreaPI} \times \text{Pesomuestra}} \quad (\text{ec. 6})$$

Donde:

PI: Patrón interno

Peso PI: Peso PI C13 (mg/ml) (Ac. tridecanoico)

FR: Factor respuesta (mg/ml AG = Pureza x peso AG/100000 (SUPELCO CRM47885)

Área AG: Área del ácido graso

Area PI: Area de patrón interno

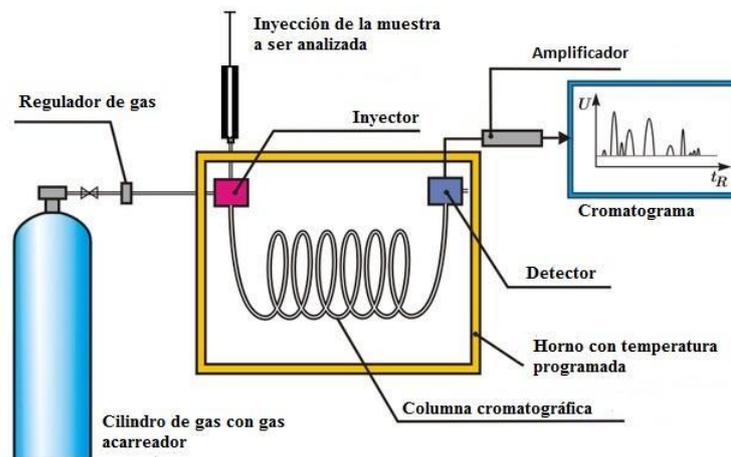


Figura 3. Proceso de cromatografía de gases.

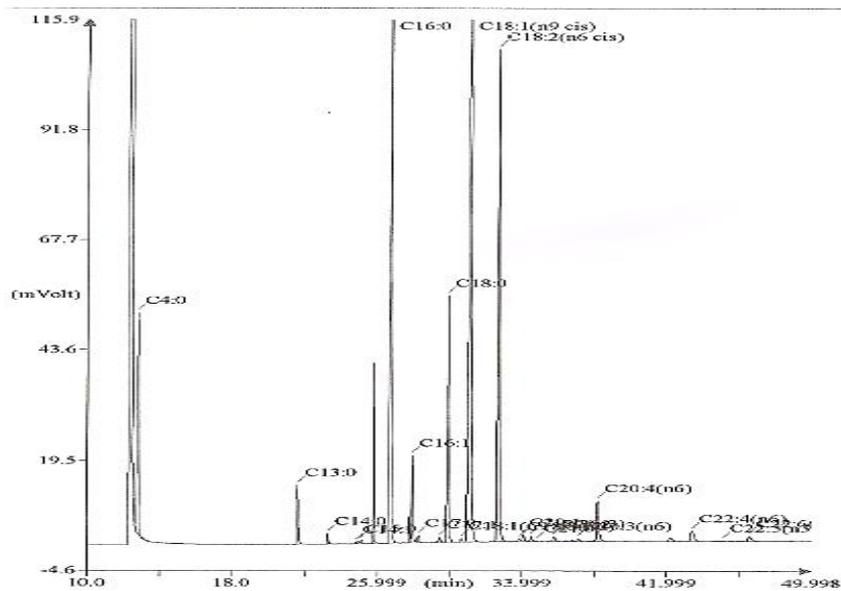


Figura 4. Componentes de un cromatograma.

El contenido total de ácidos grasos de tipo omega-3 (ω -3) depositados en la yema de huevo (AL, ALA, EPA y DHA) y expresados en miligramos (mg) fue calculado en base al contenido de ácidos grasos omega 3 (%), obtenido en el párrafo anterior y que se explica en base a huevos con peso promedio de 50 g con un 10% de contenido en grasa (American Egg Board, 2017). Se utilizó la ecuación 7 para calcular la deposición (mg) de AG ω -3.

$$\text{AG } \omega\text{-3 (mg) en yema} = \text{Contenido promedio de AG (\%)} / 100 \times 5000 \text{ mg grasa} \quad (\text{ec. 7})$$

2.2.4. Determinación de metabolitos en sangre: Colesterol total (CT) y Triglicéridos totales (TG)

Las gallinas ponedoras ayunaron 12 horas (h) previo a la toma de muestras. Se realizó la colecta de 20 mL de sangre de la vena alar por cada tratamiento (aprox. 20 aves) en tubos heparinizados (color rojo). La sangre se centrifugó a 4500 rpm durante 5 minutos (Thermo Scientific, Alemania), el suero resultante se congeló a -20°C hasta su posterior procesamiento. Previo al análisis, los sueros fueron descongelados a temperatura ambiente, para luego ser llevados a 37°C (baño maría). Los valores de CT se determinaron por el método enzimático-colorimétrico de acuerdo a Kaya *et al.*, 2001. El análisis se realizó en base a las recomendaciones del fabricante (Laboratorios WienerLab Argentina), usando el espectrofotómetro UV visible (Genesys 10S, Thermo Scientific, USA) en el rango de 505 nm.

2.2.5. Determinación de Aspartato amino transferasa (AST) y Alanina amino transferasa (ALT)

La alanina aminotransferasa (ALT o AST) es una enzima unilocular (citoplasmática) cuya mayor actividad se localiza en el tejido hepático. La destrucción o cambio de permeabilidad de las membranas celulares provoca la liberación de ALT a la circulación sanguínea. Los mayores aumentos de actividad ALT en suero, se producen como consecuencia de alteraciones hepáticas.

Las gallinas ponedoras ayunaron 12 h previo a la toma de muestra. Se colectó 20 mL de sangre de la vena alar por cada tratamiento en tubos heparinizados (color rojo). La sangre fue centrifugada a 4500 rpm durante 5 minutos (Thermo Scientific, Alemania) y el suero resultante fue congelado a -20 °C hasta su posterior procesamiento. Previo al análisis los sueros fueron descongelados a temperatura ambiente, para luego ser llevados a 37 °C (baño maría). Los valores de AST y ALT se determinaron por el método enzimático-colorimétrico de acuerdo a (Botsoglou *et al.*, 1994; K. W. Lee *et al.*, 2011). El análisis se realizó en base a las recomendaciones del fabricante (Laboratorios WienerLab Argentina), usando el espectrofotómetro UV visible (Genesys 10S, Thermo Scientific, USA) en el rango de 505 nm.

2.2.6. Nivel de daño hepático (Masa relativa de hígado) y morfología hepática

Tres aves al azar y por tratamiento fueron separadas en jaulas individuales una semana antes de finalizar el experimento. En ayunas fueron pesadas para luego ser sacrificadas y se les extrajo el hígado para ser examinado patológicamente y luego pesados en una balanza digital para luego medir el masa relativa de hígado en base a la siguiente ecuación, propuesta por (Wu *et al.*, 2021):

$$\text{Índice hepático} = \frac{\text{Peso relativo del hígado (g)}}{\text{Peso del ave (kg)}}$$

Para evaluar el daño hepático mediante la histología o morfología celular hepática, se realizaron 2 cortes de tejido hepático fresco (aproximadamente 1 cm largo × 1 cm ancho × 0,3 cm de grosor) del lóbulo derecho de cada gallina y fijado al 10% formalina tamponada neutra, embebida en parafina y seccionada a 4 µm de espesor. Después de la desparafinación y la rehidratación, las secciones de tejido fueron teñidos con hematoxilina y eosina (Trott *et al.*, 2014) antes del examen microscópico. Para cada sección de hígado, las áreas ubicadas al azar fueron evaluados utilizando un microscopio

óptico Olympus BX53 (Olympus, Tokyo, Japón) con iluminador LED, con un aumento de 40x. Se utilizó una cámara digital Olympus DP 74 (Olympus, Tokyo, Japón) con el software CellSens V3.2 64bit conectada al microscopio para tomar fotografías. Se realizaron 30 determinaciones por cada tratamiento. Los criterios de clasificación histológicos fueron en base al criterio de Sistema de puntuación de la red de investigación clínica sobre esteato hepatitis no alcohólica propuesta por (Pappachan *et al.*, 2017), explicado de manera breve: esteatosis (0, <5 %; 1, 5–33 %; 2, 33–66 %; 3, >66 % hepatocitos involucrados), inflamación lobulillar (0, sin focos; 1, <2 focos; 2, 2 a 4 focos; 3, >4 focos por campo de 200×), y balonamiento de hepatocitos (0, ninguno; 1, pocas células embalonadas; 2, muchas células/balonamiento prominente).

2.2.7. Análisis sensorial

La evaluación de calidad sensorial se realizó a partir de muestras de huevo al final del periodo experimental. Para estas evaluaciones se siguió la metodología propuesta por Char *et al.*, (2017) y Di Pierro *et al.*, (2011) con modificaciones. Se utilizó un método de análisis descriptivo-cuantitativo, aplicado a un panel de 30 jueces sin entrenamiento (antes de la prueba se les explicó de manera breve las cualidades organolépticas que iban a degustar en un huevo como flavor, aroma y sabor), conformado por estudiantes de los últimos ciclos y profesionales de las ciencias pecuarias y personal administrativo; en edades mayores a los 18 años; usando una pauta no estructurada de 0 a 15 cm (Anexo G), y se evaluará color, aroma, flavor y aceptabilidad general.

Los huevos permanecieron en refrigeración y un día antes de la prueba fueron puestos a temperatura ambiente por 4 horas, antes de ponerlos a hervir por 15 minutos para luego mantenerlos a 35°C (equipo de baño maría) antes de ser cortados en mitades y servidos. Cada parte por tratamiento, fue entregado a cada panelista, fueron servidas en un recipiente de plástico desechable, sugiriendo al catador la ingesta de agua mineral sin gas y galleta sin sal, en el intervalo de cada degustación.

Para el aroma y flavor, se consideró una puntuación inferior a 7.5 como media aceptable; y para el color y aceptabilidad general, se considerará una puntuación sobre 7.5 como media aceptable, que va desde categorías como me gusta mucho hasta me desagrada mucho.

2.2.8. Análisis de datos

Se utilizó un muestreo aleatorio al azar (DCA) con cinco tratamientos incluido el testigo y 10 repeticiones cada uno; los tratamientos correspondieron a la inclusión de diferentes niveles de ASI en la dieta alimenticia de gallinas (Tabla 1). La unidad experimental fue un huevo. Los resultados que se obtuvieron de la variación en indicadores productivos, calidad de huevo, contenido lipídico, perfil de ácidos grasos, perfil bioquímico, daño hepático y evaluación sensorial, fueron analizados estadísticamente con un análisis de varianza (ANOVA) al 5% de significancia. Cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha \leq 0,05$). Los resultados se analizarán estadísticamente mediante el programa IBM SPSS (versión 25).

III. RESULTADOS

3.1. DIFERENTES NIVELES DE ASI EN INDICADORES PRODUCTIVOS Y CALIDAD DE HUEVOS DE GALLINAS PONEDORAS

3.1.1. Valores químicos del alimento

Se realizó el análisis químico proximal, así como energía bruta (cal/g) a los insumos usados en las dietas experimentales. Estos valores se muestran en la Tabla 2 y muestra concordancia con las necesidades nutricionales de las aves en etapa de postura.

Tabla 2. Perfil de AG de las dietas experimentales suplementadas con diferentes niveles de ASI

Valores analizados	0%ASI	1%ASI	2%ASI	3%ASI	4%ASI
Proteína cruda, %	15,90±0,21	15,50±0,33	15,70±0,25	15,50±0,18	15,70±0,26
Grasa cruda, %	5,20±0,11	5,20±0,15	5,10±0,17	5,30±0,09	5,30±0,19
Fibra cruda, %	2,50±0,08	2,90±0,21	3,00±0,19	2,85±0,11	2,77±0,16
Cenizas, %	1,74±0,33	1,77±0,44	1,82±0,41	1,76±0,29	1,76±0,25
Energía bruta, (cal/g)	4040±29,05	4028±19,33	4045±33,25	4033±29,22	3998±31,19

En la Tabla 3 se muestra el perfil de ácidos grasos (AG) del ASI y del aceite de soya (AS) utilizados en las dietas experimentales. El perfil de AG comprende a los saturados (AGS), ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y ácidos grasos poliinsaturados (AGPI). Se puede evidenciar que existe un mayor contenido de AGS y AGMI en el AS comparado con el ASI, específico en ácido palmítico (C16:0) y ácido oleico (C18:1 ω -9) respectivamente. El contenido de AGPI se encontró en mayor cantidad a nivel del ASI comparado con AS, específico en el ácido α linolénico (C18:3 ω -3).

Tabla 3. Perfil de AG del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) y aceite de soya (*Glycine max*)

Ácido graso (%)	Aceite soya	Aceite sacha inchi
Ácido mirístico (C14:0)	0,06±0,01	n. d
Ácido palmítico (C16:0)	15,21±0,21	3,47±0,26
Ácido palmitoleico (C16:1)	0,09±0,04	n. d
Ácido esteárico (C18:0)	2,98±0,09	2,79±0,21
Ácido oleico (C18:1 ω-9)	30,42±0,15	10,49±0,16
Ácido linoleico (C18:2 ω-6)	45,71±0,11	36,45±0,44
Ácido γ linolénico (C18:3 ω-6)	n. d	n. d
Ácido α linolénico (C18:3 ω-3)	5,53±0,23	46,70±0,36
Ácido eicosadienoico (C20:2)	n. d	n. d
Ácido eicosatrienoico (C20:3 ω-6)	n. d	n. d
Ácido eicosatrienoico (C20:3 ω-3)	n. d	n. d
Ácido araquidónico (C20:4 ω-6)	n. d	n. d
Ácido eicosapentaenoico (C20:5 ω-3)	n. d	n. d
Ácido docosapentaenoico (C22:5 ω-3)	n. d	n. d
Ácido docosahexaenoico (C22:6 ω-3)	n. d	n. d
AGS ¹	18,25±0,33	6,26±0,18
AGMI ²	30,51±0,29	10,49±0,16
AGPI ³	51,24±0,41	83,15±0,12
AGPI ω-3 total ⁴	5,53±0,23	46,70±0,36
AGPI ω-6 total ⁵	45,71±0,11	36,45±0,44
Ratio ω-6/ ω-3	8,27±0,15	0,78±0,09

¹AGS: Ácidos grasos saturados; ²AGMI: Ácidos grasos monoinsaturados;

³AGPI: Ácidos grasos poliinsaturados; ⁴ ω-3: Omega3, ω-6: Omega6; n. d: no determinado

En la Tabla 4 se muestra el perfil AG en las dietas experimentales suplementadas con diferentes niveles de ASI en su composición. A medida que se aumenta los niveles de ASI en la dieta (0-4%) se observa un aumento en el contenido de AGPI especialmente en el contenido total de AG ω-3 y una disminución de la ratio ω-6/ ω-3 con el incremento de ASI en la dieta.

Tabla 4. Perfil de AG de las dietas experimentales suplementadas con diferentes niveles de ASI

Ácido graso (%)	0%ASI	1%ASI	2%ASI	3%ASI	4%ASI
C16:0	11,0 ± 0,12	16,0 ± 0,05	8,93 ± 0,01	8,11 ± 0,08	7,61 ± 0,04
C16:1	0,12 ± 0,05	n. d	n. d	n. d	n. d
C17:0	0,10 ± 0,02	n. d	n. d	n. d	n. d
C17:1	n. d				
C18:0	3,25 ± 0,01	2,96 ± 0,02	2,70 ± 0,01	2,74 ± 0,03	2,87 ± 0,01
C18:1 ω-9	29,24±0,13	28,34±0,21	25,79±0,15	23,34±0,11	21,43±0,09
C18:1 ω-7	1,02±0,03	0,91±0,02	0,79±0,05	0,76±0,04	0,72±0,09
C18:2 ω-6	48,10±0,14	46,88±0,15	43,63±0,14	42,84±0,14	41,60±0,15
C18:3 ω-3	5,51±0,10	9,51±0,12	16,97±0,09	21,09±0,08	24,71±0,11
C20:0	0,43±0,02	0,40±0,02	0,33±0,02	0,29±0,04	0,26±0,01
C20:1 ω-9	0,27±0,01	0,28±0,03	0,28±0,03	0,28±0,03	0,27±0,02
C22:0	0,27±0,05	0,23±0,03	0,18±0,04	0,15±0,02	0,12±0,04
C23:0	0,10±0,02	0,12 ±0,06	0,22±0,02	0,25±0,02	0,26±0,01
C22:5 ω-3	0,18±0,01	0,20±0,02	0,18±0,03	0,15±0,02	0,13±0,01
AGS ¹	15,15±0,07	13,78±0,05	12,36±0,07	11,54±0,07	11,12±0,05
AGMI ²	30,65±0,20	29,53±0,21	26,86±0,18	24,38±0,15	22,42±0,21
AGPI ³	53,79 ±0,21	56,59±0,22	60,78±0,12	64,08±0,17	66,44±0,18
AGPI ω-3 total ⁴	5,69 ± 0,15	9,71±0,12	17,15 ±0,10	21,24 ±0,08	24,84 ±0,10
AGPI ω-6 total ⁵	48,10 ±0,14	46,88 ±0,15	43,63 ±0,14	42,84 ±0,14	41,60 ±0,15
Ratio ω-6/ ω-3 ⁶	8,45 ± 0,60	4,83 ±0,39	2,54 ±0,14	2,02 ±0,11	1,67 ±0,21

¹AGS: Ácidos grasos saturados; calculado como la suma de C16:0+C17:0+ C18:0+C20:0+C22:0+C23:0

²AGMI: Ácidos grasos monoinsaturados; calculado como la suma de C16:1+C17:1+ C18:1 ω-9 C18:1 ω-7+ C20:1 ω-9

³AGPI: Ácidos grasos poliinsaturados; calculado como la suma de C18:2 ω-6+ C18:3 ω-3+ C22:5 ω-3

⁴AGPI ω-3 total: calculado como la suma de C18:3 ω-3+ C22:5 ω-3

⁵AGPI ω-6 total: calculado como la suma de C18:2 ω-6

⁶Ratio ω-6/ ω-3: Total ω-6/ total ω-3; n. d: no determinado

3.1.2. Indicadores productivos

Durante el periodo de suplementación con ASI en las dietas de gallinas ponedoras, no se observaron diferencias significativas ($P>0,05$) en los tratamientos evaluados, para los indicadores de porcentaje de postura de huevo (P%), consumo de alimento diario (CA), masa de huevo (MH), eficiencia alimenticia (EA) y ganancia de peso (GP) logrado en las 8 semanas que duró el experimento (Tabla 5). Los indicadores productivos no se vieron afectados con la adición de ASI en la dieta de gallinas ponedoras.

Tabla 5. Indicadores productivos en gallinas ponedoras alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI) en la dieta

ASI (%)	P (%)	CA (g)	MH (g/d)	EA	GP (g)
0%	91,91 ± 7,80	107,44 ± 1,47	54,07 ± 5,03	1,99 ± 0,19	86,10 ± 23,02
1%	90,97 ± 6,53	107,89 ± 1,62	53,45 ± 5,66	1,96 ± 0,20	89,30 ± 19,18
2%	91,77 ± 7,44	107,83 ± 2,53	56,82 ± 5,70	1,94 ± 0,20	87,00 ± 26,84
3%	91,91 ± 8,38	108,09 ± 1,68	55,56 ± 6,28	1,99 ± 0,25	85,40 ± 38,63
4%	91,77 ± 6,38	108,17 ± 2,35	55,64 ± 5,61	1,90 ± 0,19	78,20 ± 39,87
Valor P	0,79	0,48	0,26	0,22	0,44
Nivel de significancia	NS	NS	NS	NS	NS

P%: porcentaje postura de huevo (%); CA: consumo de alimento diario (g); MH: masa de huevo (g/d); EA: eficiencia alimenticia; GP: ganancia de peso en aves (g). NS: No significativo.

3.1.2. Indicadores relacionados con la calidad de huevo

En la Tabla 6 se observa que la inclusión del ASI en la dieta de gallinas ponedoras afectó de manera significativa ($P < 0,05$) en aumento de peso de albumen (40,69 g: 0% ASI vs 42,33 g: 4% ASI), aumento del peso relativo de cáscara (5,71 g: 0% ASI vs 6,02 g: 4% ASI), aumento en el índice de yema (0,41: 0% ASI vs 0,42: 4% ASI) y aumento en el pH de yema (6,2: 0% ASI vs 6,3: 4% ASI) con la adición de ASI en la dieta de gallinas ponedoras. La adición de ASI en la dieta de gallinas ponedoras no provocó cambios significativos ($P > 0,05$) en el parámetro relacionado con el peso de huevo (PH) y de yema (PY) con valores de 58,81 g para el tratamiento control y 60,63 g para el tratamiento con 4% AS. Del mismo modo, la adición de ASI redujo el peso de yema de 15,26 g para el tratamiento control hasta 14,81 g en el tratamiento con 4% ASI (sin ser significativo); mientras que en el indicador de pH de albumen se encontraron valores similares en un rango de 9,1 a 9,2 en todos los tratamientos.

De igual manera, en la Tabla 7 no se evidenciaron diferencias significativas ($P > 0,05$) en los indicadores de Unidades Haugh (UH), conocido como indicador de calidad de huevo medido por la altura de la albúmina evidencia valores entre 84,11 y 85,12; las medidas de calidad de cáscara como el grosor de cáscara (GC) con valores entre 0,43 (0%ASI) y 0,45 (4%ASI) y la gravedad específica (GE) no se modificó con la adición de ASI en la

dieta, con valores promedio que fluctuaron entre 1,08 y 1,09. En la evaluación de color de yema, no hubo variaciones significativas ($P>0,05$) en los espacios de color L^* con valores de 61,78 para 0%ASI y 61,63 para 4%ASI mientras que en el espacio de color b^* se evidenció variaciones desde 58,58 (0%ASI) hasta 58,45 para 4%ASI. Por otro lado, con el uso de abánico de color, los promedios estuvieron cerca de valores entre 7,06 (0%ASI) y 7,06 (4%ASI) con la adición de ASI en la dieta de gallinas ponedoras. Por otro lado, se encontró diferencias significativas ($p<0,001$) en el espacio de color a^* , con valores de 3,20 para el 4%ASI y de 3,70 para 0%ASI en la dieta de gallinas ponedoras.

Tabla 6. Peso y pH del huevo y sus partes, índice de yema en huevo de gallinas ponedoras alimentadas con diferentes niveles de ASI en la dieta*

ASI (%)	PH (g)	PY (g)	PA (g)	PRC (g)	IY	pH yema	pH albumen
0%	58,81± 2,94	15,26 ± 1,03	40,69 ± 2,94 ^a	5,71 ± 0,38 ^b	0,41 ± 0,02 ^b	6,2 ± 0,1	9,1 ± 0,5
1%	58,75± 4,00	15,31 ± 0,96	41,05 ± 3,18 ^a	6,08± 0,24 ^a	0,41 ± 0,03 ^b	6,3 ± 0,2	9,1 ± 0,6
2%	61,90 ± 3,26	16,02 ± 1,14	41,09 ± 2,68 ^a	5,98 ± 0,30 ^a	0,43 ± 0,02 ^a	6,3 ± 0,2	9,0 ± 0,5
3%	60,47± 3,42	15,76 ± 1,41	42,33 ± 2,70 ^{ab}	6,05 ± 0,34 ^a	0,42 ± 0,03 ^{ab}	6,3 ± 0,2	9,2 ± 0,6
4%	60,63 ± 4,40	14,81 ± 0,69	42,93 ± 3,83 ^b	6,02 ± 0,39 ^a	0,42 ± 0,03 ^{ab}	6,3 ± 0,2	9,2 ± 0,5
Valor P	0,28	0,07	0,002	<0,000	0,002	0,03	0,54
Nivel de significancia	NS	NS	S	S	S	S	NS

H: peso de huevo; PY: peso de yema; PA: peso albumen; PRC: peso relativo de cáscara; IY: índice de yema.

*/ Los valores indican el promedio ± Desviación estándar (n = 75)

Letras diferentes en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba Tukey (p<0,05), para cada nivel de ASI en la dieta.

NS: No significativo. S: Significativo para p<0,05.

Tabla 7. Características relacionadas con la calidad de huevo en gallinas ponedoras alimentadas con diferentes niveles de ASI en la dieta

ASI (%)	UH	GC	GE	Color L*	a*	b*	AB
0%	84,57 ± 3,03	0,43 ± 0,03	1,08 ± 0,01	61,78 ± 3,1	3,70 ± 0,81 ^c	58,58 ± 5,81 ^a	7,06 ± 0,72
1%	85,12 ± 3,71	0,44 ± 0,02	1,09 ± 0,01	61,90 ± 3,5	3,71 ± 0,21 ^a	58,67 ± 4,71 ^{ab}	7,05 ± 0,65
2%	84,17 ± 3,59	0,44 ± 0,03	1,08 ± 0,01	61,66 ± 3,7	3,55 ± 0,11 ^{ab}	58,62 ± 5,7 ^{ab}	6,95 ± 0,64
3%	84,11 ± 3,03	0,44 ± 0,03	1,09 ± 0,01	61,90 ± 4,5	3,20 ± 0,72 ^{abc}	58,15 ± 5,6 ^{ab}	7,18 ± 0,68
4%	84,22 ± 3,92	0,45 ± 0,03	1,09 ± 0,01	61,63 ± 3,0	3,20 ± 0,83 ^{bc}	58,45 ± 4,6 ^b	7,06 ± 0,64
Valor P	0,72	0,89	0,32	0,78	<0,001	0,83	0,59
Nivel de significancia	NS	NS	NS	NS	S	NS	NS

UH: Unidades Haugh; GC: grosor de cáscara; GE: gravedad específica; RR: resistencia a la ruptura; Espacio de color yema: L*a*b*

*/ Los valores indican el promedio ± Desviación estándar (n = 75). Letras diferentes en sentido vertical, indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba Tukey (p<0,05), para cada nivel de ASI en la dieta. NS: No significativo. S: Significativo para p<0,05.

3.2. DIFERENTES NIVELES DE ASI Y SU EFECTO EN EL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS, BIOQUÍMICA EN SUERO DE SANGRE, HISTOPATOLOGÍA EN HÍGADO Y EVALUACIÓN SENSORIAL EN HUEVOS DE GALLINA

3.2.1. Composición de ácidos grasos en yemas de huevo

La evaluación de composición de ácidos grasos (AG) en yemas de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de ASI en la dieta (expresado como porcentaje del total de ésteres de metilo de AG – FAME) se realizó al final de la etapa experimental (8 semanas) y se muestra en la Tabla 8. Al aumentar los niveles de ASI en la dieta de gallinas disminuyó de manera altamente significativa ($P<0,001$) en los porcentajes de ácido palmítico (C16:0), ácido heptadecanoico (C17:0), ácido palmitoleico (C16:1), ácido oleico (AO, C18:1 ω -9), ácido vaccénico (C18:1 ω -7), ácido eicosaenoico (C20:1 ω -9), ácido linoleico (AL, C18:2 ω -6), ácido gamma linolénico (C18:3 ω -6), ácido α -linolénico (ALA, C18:3 ω -3), ácido eicosadienoico (C20:2), ácido dihomo γ -linolénico (C20:3 ω -6), ácido eicosatrienoico (C20:3 ω -3), ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5 ω -3), ácido docosapentaenoico (DPA, C22:5 ω -3), ácido docosahexaenoico (DHA, C22:6 ω -3) y las sumatorias de AG saturados (AGS), AG monoinsaturados (AGMI), ácidos grasos poliinsaturados (AGPI). No se encontraron diferencias ($p>0,05$) con los valores en porcentaje en los AG C14:0 (0,41, ácido mirístico) y ácido esteárico (0,52, C18:0). En resumen, disminuyeron de manera significativa los niveles totales de ω – 9, ω – 6 y ω - 3 ($P<0,001$), de igual manera disminuyó el valor de proporción de los ácidos grasos omega 6 versus omega 3 (ω -6: ω -3). Por otro lado, al aumentar los niveles de ASI en la dieta de las gallinas, se pudo evidenciar incrementos significativos ($P<0,001$) de los niveles de ácido linoleico (AL, C18:2 ω -6), , ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5 ω -3), ácido docosapentaenoico (DPA, C22:5 ω -3), ácido docosahexaenoico (DHA, C22:6 ω -3) y por consiguiente hubo un aumento significativo ($P<0.001$) en los porcentajes de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) totales, ácidos grasos de tipo omega 6 (ω -6) y omega 3 (ω -3) totales. El ratio de AG ω -6/ ω -3 disminuyó de manera significativa (<0.001) desde valores de 11,47 (0% ASI) hasta 2,75 (4% ASI) con la adición de ASI en la dieta de aves.

Tabla 8. Composición de ácidos grasos (% del total de ésteres metilo de AG) en yemas de huevo en gallinas alimentadas con diferentes niveles de ASI en la dieta*

Ácidos grasos	Niveles de ASI en la dieta, %					P-valor	Nivel Signific.
	0	1	2	3	4		
AGS²							
C14:0	0,26±0,01	0,25±0,02	0,26±0,02	0,26±0,01	0,27±0,02	0,41	NS
C16:0	23,94±0,2 ^a	23,32±0,1 ^b	23,25±0,2 ^b	21,50±0,6 ^c	21,55±0,2 ^c	<0,001	S
C17:0	0,19±0,01 ^a	0,18±0,01 ^{ab}	0,17±0,01 ^b	0,17±0,01 ^b	0,17±0,01 ^b	<0,001	S
C18:0	8,14±0,23	8,09±0,31	8,16±0,17	8,17±0,35	8,20±0,34	0,52	NS
AGMI³							
C16:1	1,98±0,05 ^c	2,06±0,07 ^{bc}	2,10±0,16 ^{ab}	2,09±0,04 ^{ab}	2,19±0,07 ^a	0,004	S
C18:1ω-9	36,57±0,4 ^b	36,50±0,5 ^b	36,23±0,6 ^b	36,41±0,6 ^b	37,33±1,2 ^a	0,006	S
C18:1ω-7	1,48±0,09 ^c	1,42±0,06 ^b	1,39±0,11 ^{ab}	1,39±0,07 ^b	1,32±0,06 ^a	<0,001	S
C20:1ω-9	0,19±0,02 ^d	0,17±0,03 ^c	0,16±0,01 ^{ab}	0,17±0,01 ^{bc}	0,14±0,01 ^a	<0,001	S
AGPI⁴							
C18:2ω-6	21,21±0,17 ^a	21,07±0,88 ^a	20,85±0,9 ^a	20,87±0,2 ^a	20,00±0,6 ^b	0,002	S
C18:3ω-6	0,11±0,01 ^a	0,12±0,01 ^{bc}	0,12±0,01 ^{bc}	0,12±0,01 ^{ab}	0,12±0,01 ^c	<0,001	S
C18:3ω-3	0,86±0,02 ^a	2,61±0,04 ^b	3,62±0,04 ^c	4,71±0,09 ^b	5,68±0,08 ^a	<0,0001	S
C20:2	0,17±0,03 ^c	0,18±0,02 ^c	0,13±0,02 ^a	0,16±0,02 ^b	0,14±0,02 ^{ab}	<0,001	S
C20:3ω-6	0,14±0,01 ^d	0,12±0,01 ^c	0,11±0,01 ^{bc}	0,11±0,01 ^{ab}	0,10±0,01 ^a	<0,001	S
C20:3ω-3	2,11±0,12 ^d	1,61±0,02 ^c	1,28±0,03 ^b	1,24±0,06 ^a	1,23±0,08 ^b	<0,001	S
C20:5ω-3	0,19±0,00 ^{bc}	0,17±0,00 ^c	0,21±0,00 ^{ab}	0,22±0,02 ^a	0,23±0,01 ^a	0,002	S
C22:5ω-3	0,17±0,03 ^a	0,01±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	0,07±0,02 ^b	0,07±0,01 ^b	<0,001	S
C22:6ω-3	0,83±0,07 ^c	1,19±0,12 ^b	1,30±0,21 ^b	1,44±0,28 ^a	1,46±0,16 ^a	<0,0001	S
AGS totales	32,54±0,3 ^a	31,85±0,3 ^b	31,87±0,5 ^b	30,09±0,6 ^c	30,19±0,4 ^c	<0,0001	S
AGMI totales	40,07±0,5 ^b	39,95±0,6 ^b	39,70±0,6 ^b	39,89±0,6 ^b	40,84±1,2 ^a	0,007	S
AGPI totales	23,52±0,2 ^d	25,46±0,9 ^c	26,34±0,9 ^b	27,64±0,3 ^a	27,75±0,6 ^a	<0,0001	S
ω-9 totales	36,76±0,46 ^b	36,66±0,56 ^b	36,38±0,63 ^b	36,58±0,57 ^b	37,48±1,17 ^a	0,008	S
ω-6 totales	21,47±0,17 ^a	21,31±0,9 ^{ab}	21,08±0,9 ^b	21,10±0,14 ^{ab}	20,23±0,56 ^b	<0,0001	S
ω-3 totales	1,88±0,06 ^e	3,96±0,11 ^d	5,13±0,21 ^c	6,38±0,28 ^b	7,37±0,21 ^a	<0,0001	S
ω-6: ω-3 ratio	11,47±0,32 ^a	5,40±0,30 ^b	4,11±0,21 ^c	3,32±0,28 ^d	2,75±0,21 ^e	<0,0001	S

C14:0-ác. mirístico, C16:0-ác. palmítico, C17:0-ác. heptadecanoico, C18:0-ác. esteárico, C16:1-ác. palmitoleico, C18:1-ác. oleico, C18:1ω7-ác. vaccénico, C20:1ω9-ác. eicosanoico, C18:2ω-6-ác. linoleico), C18:3ω-6-ac. gamma linolénico, C18:3ω-3-ac. alfa linolénico, C20:2-ác. Eicosadienoico, C20:3ω-6-ác. Eicosatrienoico, C20:3ω-3-ác. Eicosatrienoico, C20:5ω-3-ác. Eicosapentaenoico, C22:5ω-3-ác. docosapentaenoico, C22:6ω-3-ác. Docosahexaenoico; ²AGS: Ácidos grasos totales, ³AGMI: Ácidos grasos monoinsaturados; ⁴AGPI: Ácidos grasos poliinsaturados; ω-9: Omega 9; ω-6: omega 6; ω-3: omega 3, n. d: no detectado. */ Los valores indican el promedio ± Desviación estándar (n = 30). Letras diferentes en sentido horizontal, indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba Tukey (p<0,05), para cada nivel de ASI en la dieta. NS: No significativo. S: Significativo para p<0,05.

3.2.2. Contenido de AG en yemas de huevo

Se procedió a cuantificar el contenido de AGPI ω -3 en las yemas de huevo (Tabla 9). El contenido de AG α -linolénico (ALA, C18:3 ω -3) aumentó desde 43,15 mg/yema en la dieta control hasta 235,55 mg/yema con 3% ASI y 284,00 mg/yema en el tratamiento con 4% ASI. De igual manera el contenido total de ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5 ω -3) en el tratamiento con 4% ASI aumentó 1,22 veces más en relación al tratamiento control (0%ASI). Finalmente, el ácido docosahexaenoico (DHA, C22:6 ω -3) aumentó en desde valores de 41,25 mg/yema (0%ASI) hasta valores de 72,2(3%ASI) y 73,15 (4%ASI). El total de AGPI ω -3 aumentó de manera significativa ($P<0,001$) a medida que aumentó el nivel de ASI en la dieta de gallinas ponedoras, alcanzando un nivel cumbre en el tratamiento con 4% (368,55 mg/yema), mientras que los niveles de EPA+DHA aumentaron desde ASI y niveles de 50,6 mg/yema en la dieta control hasta 84,55 mg/yema con el tratamiento con 4% de ASI en la dieta de gallinas ponedoras.

Tabla 9. Contenido de AGPI omega 3 en yema (mg/yema) en gallinas alimentadas con diferentes niveles de ASI en la dieta*

Ácidos grasos	Niveles de ASI en la dieta, %					P-valor	Nivel de signif.
	0	1	2	3	4		
ALA	43,15±1,10 ^e	130,25±2,02 ^d	180,95±1,79 ^c	235,55±2,75 ^b	284,00±4,22 ^a	<0,0001	S
EPA	9,35±0,02 ^{bc}	8,45±0,02 ^c	10,55±0,03 ^{ab}	11,00±0,75 ^a	11,40±0,61 ^a	0,002	S
DHA,	41,25±3,48 ^c	59,5±3,13 ^b	64,95±3,25 ^b	72,20±2,22 ^a	73,15±2,89 ^a	<0,0001	S
AGPI ω -3	93,75±3,04 ^a	198,20±5,61 ^b	256,45±10,73 ^c	318,75±13,94 ^e	368,55±10,43 ^d	<0,0001	S
Total							

Ácido α -linolénico: ALA, C18:3 ω -3; Ácido Eicosapentaenoico: EPA, C20:5 ω -3; Ácido Docosahexaenoico: DHA, C22:6 ω -3; AGPI ω -3: Ácido graso poliinsaturado omega 3; S: Significativo para $p<0,05$. NS: No significativo. S: Significativo para $p<0,05$. */ Los valores indican el promedio \pm Desviación estándar (n = 30).

Se determinó la ecuación de regresión para poder determinar la relación entre la concentración de DHA (en mg) y los niveles de ASI en la dieta de gallinas ponedoras. Se determinó la ecuación siguiente:

$$y = 55,73 + 8,32x$$

En la siguiente ecuación se presenta el valor de Y que representa el nivel de AGPI DHA (mg) y X representa el porcentaje de ASI en la dieta de gallinas con un coeficiente de determinación ($R^2 = 0,72$, además se obtuvo una pendiente de 8,32 y un valor intercepto de 55,73. (Figura 5)

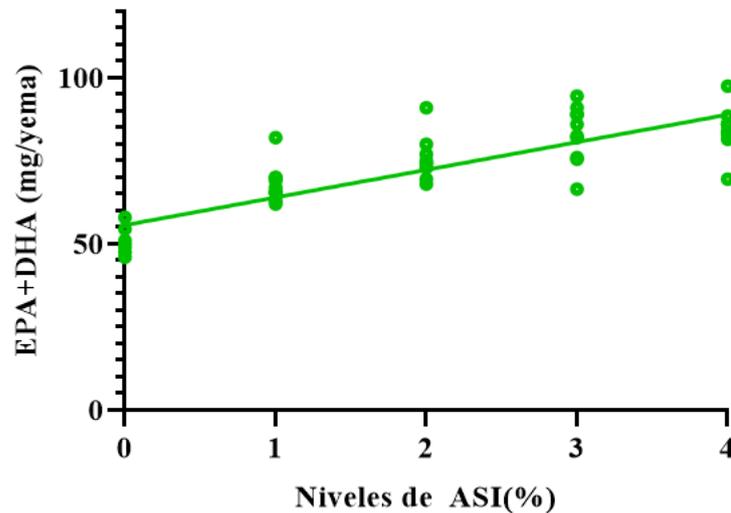


Figura 5. Contenido del AGPI DHA en huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de ASI.

Con respecto a la concentración de AGPI ω -3 (ALA+EPA+DHA) en la yema de huevo aumentaron de manera directamente proporcional con la adición de ASI en la dieta de las gallinas ponedoras. Los tratamientos con ASI resultaron en una ecuación positiva siguiente:

$$y = 135,41 + 59,58x$$

Donde y representa el contenido total de AGPI ω -3 y x representa el porcentaje de ASI adicionado a la dieta, con un coeficiente de determinación ($R^2 = 0,95$ (Figura 6). ($P < 0,001$) y un valor para pendiente de 59,58 y un valor intercepto de 135,41.

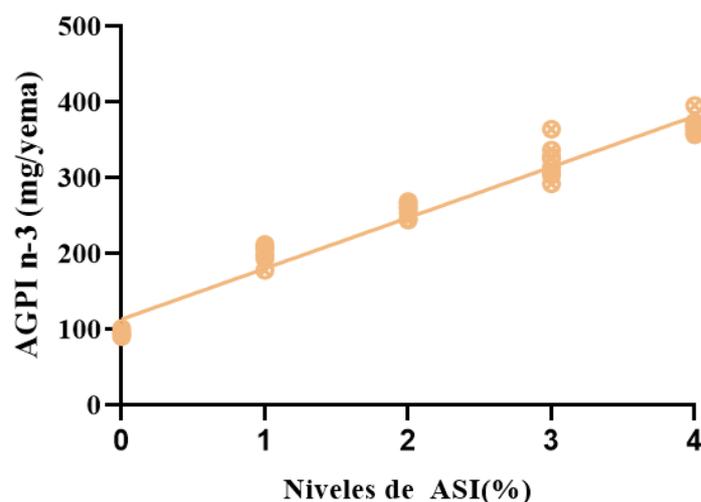


Figura 6. Contenido de AGPI Omega 3 (ALA, EPA y DHA) en gallinas alimentadas con diferentes niveles de ASI.

Dentro de los análisis realizados se puede mencionar la eficiencia en la transferencia (ET) del total de AGPI ω -3 en DHA, encontrándose valores que van disminuyendo en valores desde 0,67 para el tratamiento control hasta 0,27 (4% ASI) a medida que se adiciona ASI en la dieta de gallinas ponedoras, siendo similares a nivel de los tratamientos con 2% y 3% de ASI con valores de eficiencia de 0,35 y 0,32 respectivamente, si se compara con el tratamiento con 4%ASI quien obtuvo un menor valor (0,28) de eficiencia (Tabla 10).

Tabla 10. Eficiencia de transferencia de AGPI ω -3 totales en alimento en AGPI DHA en huevos de gallinas alimentadas con diferentes niveles de ASI en la dieta*

	Niveles de ASI en la dieta, %				
	0	1	2	3	4
AGPI ω -3 alimento (g/kg)	0,57±0.01	0,97±0.01	1,72±0.01	2,12±0.01	2,48±0.01
Consumo promedio (g)	107,44±1,34	107,89±1,62	107,83±2,53	108,09±1,68	108,17±2,35
AGPI ω -3 consumido (mg) ¹	61,24±1,28	104,65±0,95	185,47±2,05	229,15±1,28	268,26±1,26
AGPI ω -3 depositado en DHA (mg/huevo)	41,25±3,48	59,5±3,13	64,95±3,25	72,20±2,22	73,15±2,89
Eficiencia transferencia²	0,67±0.05	0,57±0.09	0,35±0,03	0,32±0.08	0,27±0.04

*/ Los valores indican el promedio \pm Desviación estándar (n = 30).

¹El consumo de AGPI consumido, se calculó al multiplicar el consumo registrado por el contenido de AGPI ω 3 en cada dieta. ²La eficiencia de transferencia fue calculada en base a la división de contenido de DHA huevo entre el contenido total de AGPI ω 3 consumido.

3.2.3. Perfil bioquímico en suero de sangre

Los niveles de colesterol y triglicéridos en el suero de sangre no se vieron afectados de manera significativa ($P>0.05$) con la adición de niveles crecientes de ASI en la dieta de gallinas ponedoras. El nivel de colesterol en plasma varió entre los valores 87,97 mg/dL para el tratamiento control hasta 87,59 mg/dL en el tratamiento con un 4% ASI. De igual manera, los niveles de triglicéridos totales no se vieron afectados de manera significativa con el uso de ASI en la dieta, con valores que oscilaron entre 720,74 mg/dL hasta 732,71 mg/dL en los tratamientos con 0% ASI y el uso de 4% ASI en la dieta respectivamente. Los niveles de las enzimas alanina transaminasa (ALT) y la enzima aspartato transaminasa (AST), ambas relacionadas con un posible daño hepático, no se encontró con valores que difieran significativamente, específicamente la AST que se tuvo un menor de valor de 152,61 IU/L para 0% ASI y de 152,57 IU/L para 4% ASI de inclusión. En ALT se encontraron valores que oscilaron entre 12,36 – 12,39 IU/L de promedio para todos los tratamientos evaluados (Tabla 11).

Tabla 11. Efecto del ASI en los metabolitos del suero de sangre de gallinas ponedoras*

Item	Niveles de ASI en la dieta, %					P- valor	Nivel signif.
	0	1	2	3	4		
CT (mg/dL)	87,97±3,55	88,42±2,22	87,26±1,99	87,37±1,16	87,59±2,05	0,38	NS
TGT (mg/dL)	720,7±13,6	724,7±11,6	730,1±10,3	724,6±14,1	732,7±10,1	0,11	NS
AST (IU/L)	152,61±0,1	152,64±0,06	152,56±0,12	152,61±0,11	152,6±0,14	0,13	NS
ALT (IU/L)	12,38±0,08	12,37±0,11	12,36±0,14	12,39±0,15	12,39±0,09	0,36	NS

CT: colesterol total; TGT: triglicéridos totales; AST: Aspartato aminotransferasa; ALT: Alanina aminotransferasa. NS: No significativo. S: Significativo para $p<0,05$. */ Los valores indican el promedio \pm Desviación estándar (n = 75).

3.2.4. Evaluación sensorial en huevos de gallina

Los resultados de análisis sensorial de las muestras de huevo cocinado se muestran en la Tabla 11. Para los aspectos de flavor, color de yema, aroma y aceptabilidad, se consideró valores aceptables que sean superiores a 7,5. Los valores obtenidos demostraron que están por encima de mínimo aceptable (7,5). Con el uso de ASI en la dieta, se obtuvo diferencias significativas para el flavor siendo mayor el testigo con una puntuación de 9,38 y ASI al 4% menor con 8,21; también los resultados de aceptabilidad fueron diferentes con mayor

valor de 10,08 para el testigo y menor para ASI al 4% con 8,31. En el atributo color no se encontraron diferencias entre los tratamientos, con valores que fluctúan entre 8,02 a 9,18. Relacionado al atributo aroma no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P>0,05$) entre 8,00 a 8,70 entre los tratamientos evaluados. La figura 4 muestra que los tratamientos control (0%ASI), 2%ASI y 3%ASI lograron mejores valores en aceptabilidad y sabor comparado con los otros tratamientos usados.

Tabla 12. Evaluación de atributos sensoriales en huevos cocidos en gallinas alimentadas con diferentes niveles de ASI en la dieta

Ítem	Niveles de ASI en la dieta, %					P-valor	Nivel signific.
	0	1	2	3	4		
FL	9,80±1,88 ^a	8,42±1,43 ^c	8,27±1,99 ^c	9,32±1,73 ^b	8,21±1,79 ^c	0,02	S
CY	8,51±1,90	8,00±2,29	9,18±1,79	8,02±1,60	8,32±1,98	0,12	NS
AR	8,12±1,65	8,43±1,42	8,70±1,97	8,00±1,87	7,96±1,66	0,41	NS
AC	10,08±1,48 ^a	8,31±1,38 ^b	9,45±2,17 ^{ab}	9,81±1,95 ^a	8,31±1,93 ^b	0,00	S

FL = flavor, CY = color de yema; AR = aroma; AC= aceptabilidad general. NS: No significativo. S: Significativo para $p<0,05$. */ Los valores indican el promedio ± Desviación estándar (n = 150).

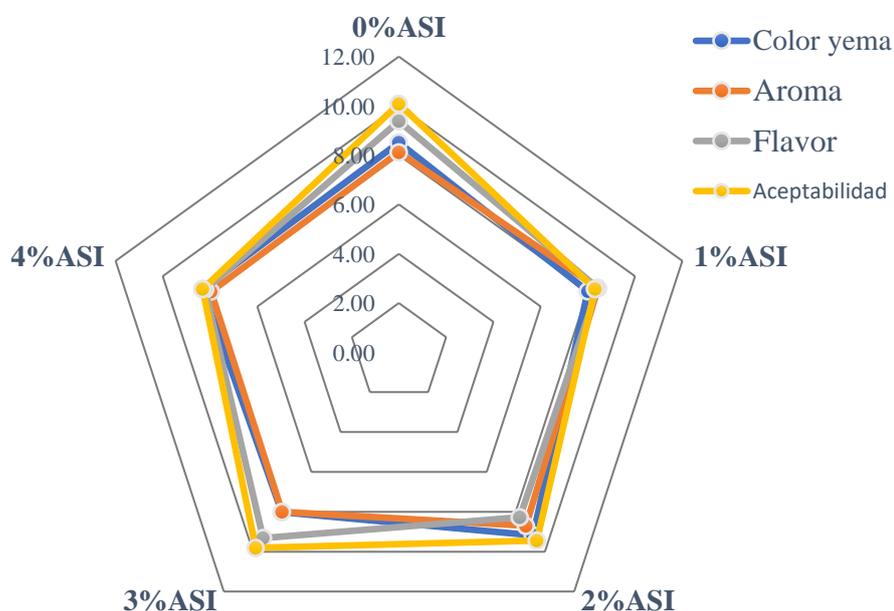


Figura 7. Diagrama radial de evaluación de atributos sensoriales en huevos de gallinas alimentadas con diferentes niveles de ASI en la dieta.

3.2.5. Nivel de daño hepático (Masa relativa de hígado) y morfología hepática

a. Masa relativa de hígado

El uso de ASI en las dietas experimentales no afectaron el peso relativo de hígados con valores promedio entre 42,10 g para el tratamiento control y 41,10 g en el tratamiento con 4% ASI en la dieta. De igual manera, se encontraron valores similares en rangos de 1,81 kg y 1,79 kg en pesos finales de las aves para los tratamientos control y con 4% de ASI respectivamente en la dieta. El valor de masa relativa de hígado no se vio afectado con el uso de ASI en la dieta, encontrándose valores desde 23,29 para el grupo control y 22,99 para el tratamiento con 4% de ASI ($P>0.05$) (Tabla 13).

Tabla 13. Pesos de hígado, peso del ave y masa relativa de hígado con el uso de ASI en las dietas experimentales de gallinas ponedoras

Item	Niveles de ASI en la dieta, %					P-valor	Nivel de significancia
	0	1	2	3	4		
Peso de hígado (g)	42,10±0,65	41,92±0,63	41,81±1,13	41,62±1,23	41,10±1,23	0,23	NS
Peso de ave (kg)	1,81±0,05	1,77±0,06	1,77±0,04	1,73±0,11	1,79±0,05	0,16	NS
Masa relativa de hígado (%)	23,29±0,77	23,67±0,99	23,61±0,87	24,16±2,03	22,99±1,06	0,29	NS

NS: No significativo. S: Significativo para $p<0,05$. */ Los valores indican el promedio \pm Desviación estándar (n = 50).

b. Observación patológica

Se puede observar en la figura 8, la falta de alteraciones relacionadas con patologías en ninguno de los tratamientos (0 – 4% ASI). Ninguna coloración anormal en los hígados muestreados (amarillenta ni grasosa). Por otro lado, no existe evidencias que se asocien con procesos inflamatorios infiltrados, hepatocitos vacuolados (grasa), mucho menos esteatosis hepática. En la descripción histológica: Las láminas A0%, C2%, D3% y E4% ASI, muestran una arquitectura de tejido hepático conservada: (1 flecha gris) número, tamaño y núcleo de los hepatocitos, así como la (2 flecha amarilla) luz de los espacios sinusoides se muestran de aspecto normal, (3 flecha roja) pared y luz de los conductos biliares, así como de los capilares de la arteria no presentan cambios.

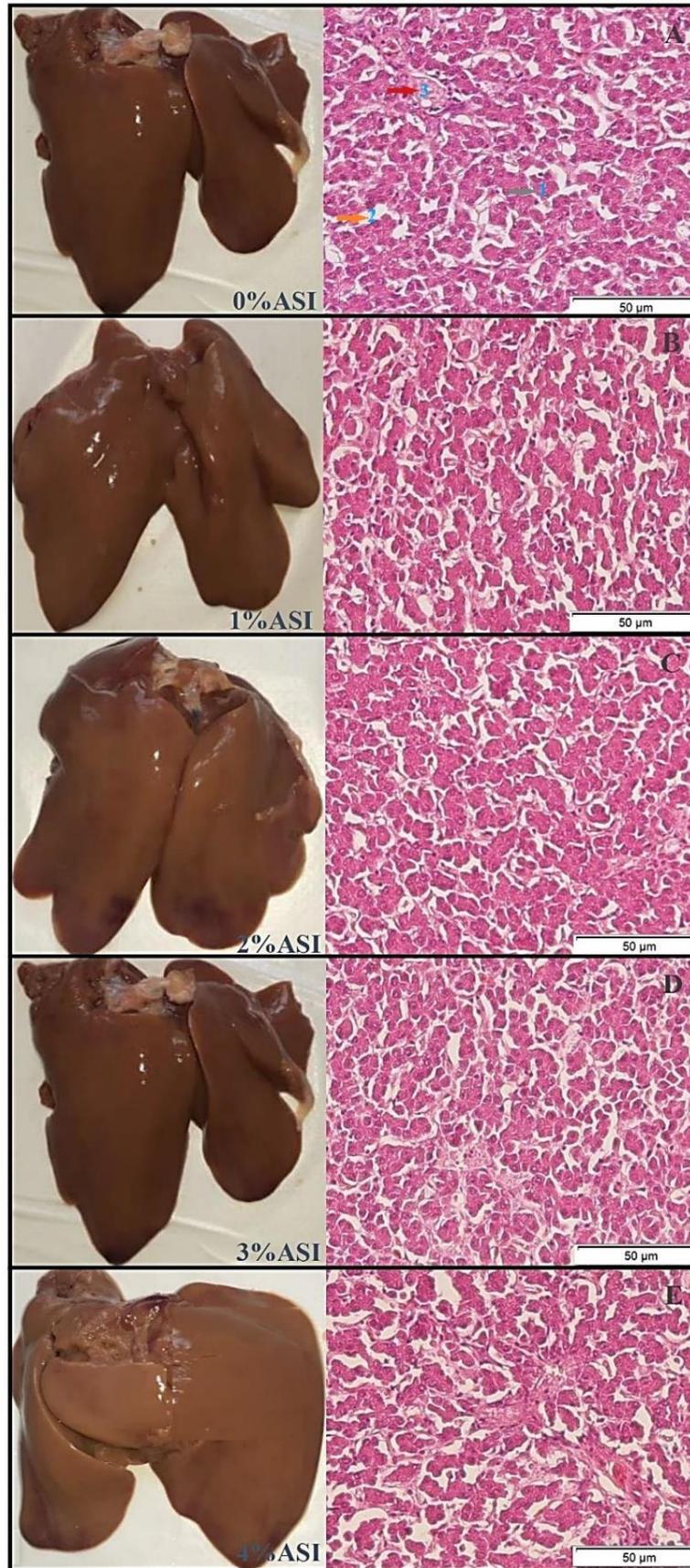


Figura 8. Examinación morfológica (luz) y microscópica de tejido hepático (H y E) en gallinas alimentadas con ASI.

IV. DISCUSIONES

4.1. DIFERENTES NIVELES DE ASI EN INDICADORES PRODUCTIVOS Y CALIDAD DE HUEVOS DE GALLINAS PONEDORAS

4.1.1. Consumo de alimento y eficiencia alimenticia

Este experimento fue diseñado para evaluar el impacto de la adición de 4 niveles de ASI (0%, 1%, 2%, 3% y 4%) en los indicadores productivos en gallinas ponedoras. En base a la Tabla 5, no se evidenciaron diferencias significativas para consumo diario de alimento (CA). No existen estudios similares que hayan probado el uso de ASI en la alimentación de las aves ponedoras. Sin embargo, se encontraron similares estudios que utilizaron otros tipos de fuente de AG ω 3, como el aceite de linaza y que fueron reportados por Fébel *et al.* (2008) quienes adicionaron 3% de aceite de linaza en la dieta de gallinas y sin ningún efecto en el consumo pero mejoró la eficiencia alimenticia. Del mismo modo, Crespo y Esteve - García (2002) utilizó un 10% de aceite de linaza en pollos de carne, concluyendo que, no hubo diferencias en el consumo de alimento pero si mejoró la eficiencia alimenticia de manera significativa ($P < 0.05$)

Andino *et al.* (2018) usó tres niveles de ASI (2%, 4% y 6%) en la dieta de pollos de carne reportó diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en los indicadores de consumo, eficiencia alimenticia y ganancia de peso. Por otro lado, Lee *et al.* (2021), usando niveles de hasta 0.8% de aceite de linaza en la dieta de gallinas no reportó efecto alguno en los índices productivos, con diferencias a los mostrado por Ahmad (2010) y Crespo y Esteve-García (2001), quienes afirman que hubo reducción del consumo de alimento a un mayor uso de AG ω -3 en la dieta. Sin embargo, Lima *et al.* (2019) advierte que si bien en niveles bajos el uso de ASI en la dieta de truchas no produce ningún efecto, niveles de 8%, 12% y 21% de ASI en la dieta evidenció incrementos en los índices hepatosomáticos y viscerosomáticos (daños en el hígado). Gonzalez-Esquerri y Leeson (2000) no encontraron ninguna diferencia en los indicadores de desempeño en gallinas cuando utilizaron 2%, 4% y 6% de aceite de pescado. De igual manera, Omidi *et al.* (2015) no encontró diferencias en los indicadores productivos de gallinas ponedoras Tetra-SL cuando se usaron niveles iguales de 3% de aceite de oliva, canola, aceite de pescado y soya en la dieta.

4.1.2. Porcentaje de postura

No hubo diferencias estadísticas en la producción de huevos diario con el uso de diferentes niveles de ASI en la dieta de gallinas ponedoras. Bean y Leeson (2003) reportaron que la producción de huevo no fue afectada de manera significativa ($P>0.05$) cuando fueron alimentadas con 10% y 20% de semillas de linaza en la dieta. En contraste al presente estudio Beynen (2004) y Saban Celebi y Necati Utlü (2006) demostraron un incremento significativo ($P<0.05$) en la producción de huevos de gallinas cuando fueron alimentadas con aceite de linaza y existen otros investigadores que han encontrado disminución en la producción de huevo con el uso de aceite de linaza en la dieta de gallinas (Švedová *et al.*, 2008). La producción similar de huevo bajo diferentes niveles de ASI en la dieta podría ser debido a que además de la adición de aceite, todas las dietas fueron mantenidas isocalóricas e isonitrogenadas, además de otros nutrientes esenciales que dieron como resultados similares producciones de huevo bajo diferentes niveles de ASI en la dieta.

4.1.3. Ganancia de peso en aves (GP)

La GP no se vio afectada por los niveles de ASI en la dieta, resultados que concuerdan con lo reportado por Haug *et al.* (2007) y Ajuyah *et al.* (2003), al no encontrar variaciones significativas en el peso de pollos de carne al usar aceites de colza con linaza en la dieta. Del mismo modo Ebeid *et al.* (2008) usando varios niveles de ω -3 derivados de aceite de pescado, no encontraron diferencias en las ganancias de pesos en gallinas ponedoras. Sin embargo, se demostró que la adición de aceites en la dieta de aves provoca un efecto negativo en la ganancia de peso en los animales. La explicación estaría orientada en que ALA tiene efecto negativo en la ganancia de peso en aves debido a que incrementa la liberación de factores (citoquinas) del tipo Interleukina 1 y Factor de necrosis tumoral (TNF), ambos relacionados con la activación de procesos inflamatorios y provoca procesos de anorexia (Beynen, 2004; Parmentier *et al.*, 1997; Schumann *et al.*, 2000).

4.1.4. Peso de huevo y masa de huevo

Los resultados mostraron que la adición de ASI (0%, 1%, 2%, 3% y 4%) en la dieta de gallinas ponedoras no lograron un efecto significativo en el peso de huevo y en el valor de masa de huevo. Similares resultados se observaron en trabajos con linaza, Švedová

et al. (2008) encontró incrementos en peso de huevo en aves alimentadas con un 3% de aceite de linaza. Por el contrario, Augustyn *et al.* (2006) y Sosin *et al.* (2006) reportaron que la alimentación de gallinas con linaza resultó en bajos pesos de huevo y masas de huevo significativos ($P < 0.05$). Sin embargo, la mayor parte de resultados no arroja diferencias tanto en peso de huevo como en masa de huevo bajo diferentes niveles de uso de aceite de linaza, posiblemente a que los niveles de triglicéridos en yema de huevo permanecieron similares a diferentes niveles de ALI. Saban Celebi y Necati Utlu (2006) encontraron que alimentando con niveles de 4%, 5% y hasta 10% de ALI en el alimento, no resultó en mejoras hacia el peso de huevo ni tampoco en masa de huevo. De igual manera, Ebeid *et al.* (2008) e Ismail *et al.* (2012) no encontraron diferencias en el peso de huevo cuando usaron aceite de canola y hasta un 10% de harina de canola respectivamente. Por otro lado, Beynen (2004) encontró disminución en el peso de huevo al alimentar gallinas ponedoras con linaza, mientras que Grobas *et al.* (1999) encontró aumentos en el peso de huevo cuando aumentó los niveles de aceite de soya en la dieta de gallinas.

4.1.5. Pesos de yema e índice de yema

En el presente estudio, no se evidenció diferencias en el peso de las yemas, pero si se encontraron diferencias en el índice de yemas en los tratamientos con ASI. El nivel de síntesis hepática de grasas es suficiente para suplementar la cantidad de lípidos que se necesitan para conseguir el óptimo desempeño, por ello, el uso de grasas exógenas o el peso de huevo podrían no influenciar al momento de satisfacer las necesidades (Shafey *et al.*, 2003). Al contrastar con los niveles de lípidos circulantes en sangre (triglicéridos), se pudo evidenciar en el presente proyecto que no hubo diferencias en su concentración ($P > 0.05$) en los diferentes tratamientos usados. Similares resultados obtuvo *et al.* (2003) al no reportar cambios significativos en el peso de yemas de gallinas alimentadas con aceites de oliva y girasol en la dieta. De igual manera, no se encontraron diferencias significativas en el índice de yema de huevos de gallinas alimentadas con diferentes niveles de harina de canola en la dieta (Najib, 2004). De forma contraria, se pudo obtener mejores pesos de yemas con diferentes niveles de aceite de canola en la dieta de gallinas (Rowghani *et al.*, 2007).

4.1.6. Unidades Haugh y peso de albumen

La altura de albumen y el valor de Unidad Haugh (UH) no se vieron afectados con la adición de ASI en la dieta de gallinas. Al no existir muchas evidencias comparativas con otras investigaciones podemos mencionar que Galobart *et al.* (2001) no encontró variaciones en los valores para UH cuando se adicionó de 5%-10% de aceite de linaza en la dieta de gallinas. El peso de albumen (PA) se vio afectado con la adición de ASI en la dieta de gallinas ponedoras, resultados que concuerdan con lo reportado por Grobas *et al.* (1999) y Novak y Scheideler, (2001) quienes encontraron diferencias en el peso de albumen cuando se adicionó de 5-10% de aceite de linaza en las dietas de gallinas. Por el contrario, existe referencias de gallinas que fueron alimentadas con linaza y aceite de linaza que presentaron menos porcentaje de albumen cuando se le comparó con un testigo (Augustyn *et al.*, 2006). En lo referente a la variación en el peso de albumen, Novak y Scheideler, (2001) mostró resultados similares cuando se adicionó 10% de linaza en las dietas de gallinas Hy-Line. Probablemente, el aumento en el peso de albumen en dietas de gallinas alimentadas con linaza se deba a que se sintetizó mayor cantidad de ovoalbúmina mediada por los fitoestrógenos presente en linaza. De igual manera, otro estudio demostró que la administración de estrógenos en pollas pequeñas, aumenta la incorporación de H-uridina y H-lisina hacia la región del magnum oviducto estimulando ARN y proteína, aumentando la síntesis de albumina cuando fueron adultas (Palmiter *et al.*, 1971). En la investigación desarrollada por Aguillón-Páez *et al.* (2020) no hubo diferencias significativas en el peso de albumen en las dietas que usaron semillas de girasol y semillas de linaza en la alimentación de gallinas ponedoras.

4.1.7. Calidad de cáscara (grosor de cáscara, gravedad específica y peso de cáscara)

La calidad de cáscara en términos de grosor de cáscara, gravedad específica no mostraron cambios a la adición de ASI en la dieta de gallinas ponedoras, mientras que el peso relativo de cáscara mostró diferencias significativas a favor de la adición de ASI comparado con el control (0%ASI). Resultados similares se encontraron en las investigaciones de Bean y Leeson, (2003) y Galobart *et al.* (2001) quienes no encontraron diferencias en el grosor de cáscara en gallinas alimentadas con 5-10% aceite de linaza (ALI) en la dieta. Similares resultados y sin diferencias entre tratamientos encontró Kim

et al. (2016) al adicionar 1.5% de aceites de linaza y de maíz mezclados con algas. Sin embargo, Grobas *et al.* (1999) encontró diferencias con la presente investigación al reportar que no hubo diferencias en el peso de la cáscara cuando se adicionó de 5 a 10% de ALI en la dieta. Otros investigadores coinciden con la presente investigación al reportar que el uso de ALI y de harina de linaza en la dieta podría deteriorar la calidad de la cáscara en relación con el peso de cáscara (Van Elswyk, 1997), grosor de cáscara (Grobas *et al.*, 1999) y gravedad específica (Jia et al., 2008).

4.1.8. Cambios en el potencial de hidrógeno en albumen y en yema (pH)

Los resultados demostraron diferencias en las mediciones de pH, siendo significativas en el caso de pH de la yema y no encontrándose diferencias para el pH de albumen. En otras investigaciones no se encontraron diferencias relacionadas con el pH de albumen, pero cuando se almacenaron hasta 28 días se observó aumento de pH en yemas según (S. H. Lee *et al.*, 2021), causado posiblemente a la pérdida de dióxido de carbono. No coincide con Adabi *et al.* (2016) quien no encontró variaciones en pH al usar AGPI con el almacenamiento. Otra investigación dirigida por Kralik et al. (2021) encontró diferencias en pH de albumen y de yema con 28 días de almacenamiento cuando añadió diferentes niveles de aceite de pescado en la dieta, siendo afectados los procesos bioquímicos durante el mismo. Sin embargo, se menciona que la causa sería, el contenido de sustancias antioxidantes en la yema de huevo y que evitó cambios en pH relativamente altos comparado a testigo.

4.1.9. Color de yema

El color de yema de huevos fue afectado de manera significativa ($p < 0.05$) con el uso de diferentes niveles de ASI en la dieta de gallinas ponedoras en el espacio de color a^* , sin encontrarse diferencias para el espacio de color L^* y a^* y en el abanico de color. Las yemas de huevo con 4% de ASI en su composición presentó coloraciones similares a la dieta control, variando con los tratamientos con 1%. Mientras que para el espacio a^* se evidenció que el tratamiento con 4% de ASI alcanzo una media significativa menor comparada con el control (tonalidad más amarilla). El uso de hasta 0.8% y de hasta 1.28% de aceite de linaza en la dieta de gallinas no evidenció ningún cambio significativo en el color de yema cuando se comparó con el control (Lee et al., 2015 y Lee et al., 2021).

Resultados similares sin diferencias significativas ($p>0.05$) encontró Elsayed y AlAfifi (2021) al probar mezclas de aceite de palma (3%) y aceite de linaza (3%) en el color de yema de huevos de gallinas ponedoras, con valores obtenidos en el abanico de color que oscilaron entre 11.57 ± 0.43 y 11.50 ± 0.36 . Los resultados de la presente investigación no coincide con lo reportado por Younis, (2016) quien encontró diferencias significativas en el color de yema al comparar dietas con 3% de aceite de girasol y comparándola con dietas enriquecidas con 3% de aceite de linaza y 3% de aceite de soya, encontrándose diferencias a favor de aceite de linaza evaluados con el abanico de color.

4.2. DIFERENTES NIVELES DE ASI Y SU EFECTO EN EL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS, PERFIL BIOQUÍMICO EN SANGRE, HISTOPATOLOGÍA EN HÍGADO Y EVALUACIÓN SENSORIAL EN HUEVOS DE GALLINA

4.2.1. Composición de ácidos grasos en yemas de huevo

Los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) cuentan con importantes funciones fisiológicas, siendo dos de ellos esenciales para el ser humano: AL y ALA. En las gallinas ponedoras, la composición de ácidos grasos (AG) en las yemas de huevo depende de la síntesis que ocurra en el hígado, de los componentes lipídicos de la dieta, la misma que podría ser modificada con la adición de AG ω -3 en la dieta (Aguillón-Páez *et al.*, 2020), siendo más eficientes el uso de aceites o grasas en su deposición (Alagawany *et al.*, 2019).

El nivel de AGMI como AG oleico (AGO, 18:1 ω -9) se vio afectado con el aumento de ASI en la dieta de gallinas ponedoras. Estos valores no coinciden con lo reportado por Yalçın y Ünal (2010) quien no encontró cambios en el contenido de AGO en huevos de aves alimentadas con linaza, además Baucells *et al.* (2000) reportó que las gallinas tienen una habilidad limitada para cambiar la composición de AGO en el huevo. Otro hallazgo difiere con lo reportado por Souza *et al.* (2008) encontrando una disminución en los niveles AGO en las yemas de huevo al aumentar los niveles de aceite en la dieta.

En la presente investigación, el contenido total de AGPI ω -6 se encontró diferencias significativas. Al evaluar en detalle, podemos mencionar que los AGPI ω -6 tales como AL (18:2 ω -6) disminuyó, mientras que el ácido dihomo- γ linolénico (20:3 ω -6) disminuyeron, posiblemente al alto contenido de AL en el ASI comparado con otras semillas como ALI o aceite de chia. El ASI es rico en ALA (~50.41%, 18:3 ω -3) pero también en AL (~32.66%, 18:2 ω -6)(Guillén *et al.*, 2003; S. Wang *et al.*, 2018). Estudios realizados con aceite de linaza (ALI), fuente muy rica en ALA (Botsoglou *et al.*, 1994) y que al ser adicionada en la dieta de las aves provocaría competencias entre ALA y AL ya que usan las mismas enzimas para la formación de los AGPI ω -6 y ω -3, por tanto el ALA estaría limitando la síntesis de ARA a partir de AL (Aymond y Van Elswyk, 1995). La mayoría de investigaciones han reportado disminución en el contenido de AGPI ω -6, cuando se adicionó linaza o aceite de linaza en la dieta. Augustyn *et al.* (2006) al utilizar aceite de soya y aceite de linaza encontró fuertes diferencias en la composición de AG en

la yema de huevo. Por otro lado, Kim *et al.* (2017), no encontraron ninguna diferencia, ni cambios en el contenido de AA en huevos de gallina alimentados con soya, linaza y girasol. De igual manera, Yalçın y Ünal (2010) menciona que alimentando con linaza en la dieta de las gallinas no influyó en el contenido de AL en la yema, pero si hubo reducción en el contenido de AA. El uso de 0, 1, 2, 3 y 4% de ALI resultó en aumento de los niveles de AGPI ω -6 en yema (Ansari *et al.* 2004) y Cherian y Sim (2001) han sugerido que la adición del 15% de linaza en la dieta de gallinas causó un aumento en el contenido de AL y AA en la yema de huevos.

El contenido de AGPI ω -3 como el ácido α -linolénico (ALA, 18:2 ω -3), ácido eicosapentaenoico (EPA, 20:5 ω -3), ácido docosapentaenoico (DPA, 22:5 ω -3) y ácido docosahexaenoico (DHA, 22:6 ω -3) aumentaron de manera lineal en la yema de huevo con el incremento de los niveles de aceite de sacha inchi (ASI) en la dieta de las gallinas. Por lo general, los aceites vegetales como el ASI o ALI no tienen al EPA o DHA en su composición, pero contienen más del 50% de ALA (~50.41%)(Guillén *et al.*, 2003), AG precursores de EPA, DPA y DHA, sintetizado por sistemas enzimáticos de tipo elongación (elongasas) y desaturación (desaturasas)(Schumann *et al.*, 2000; Yalçın y Ünal, 2010). El DHA es el componente final de la vía metabólica y su cantidad fue la de mayor cantidad si se compara con EPA o DPA. En el presente estudio se demostró que la mayor cantidad de AGPI ω -3 depositada en la yema de huevo fue ALA, resultados que coinciden con estudios realizados con ALI o linaza (Bean y Leeson, 2003; Scheideler y Froning, 1996). Hubo diferencias significativas en los niveles de AG a medida que se incrementaron los niveles de ASI en la dieta, resultados que difieren con lo reportado por Ward *et al.* (1998), quien encontró una disminución en la concentración de AG a medida que aumentaron los AGPI ω -3 en las yemas de huevo en las dietas de gallinas alimentadas con ALI. La inclusión de 20% de linaza en la dieta de gallinas causó un incremento en los AGPI en la yema, principalmente ALA y EPA(Pita *et al.*, 2006). El contenido de AGPI ω -3 en la yema de huevo aumentó desde 1,88% en la dieta control hasta 7,37% con 4% ASI, de la misma forma el contenido de ALA comparado con el control, se incrementó en 6,6 veces más usando 4% ASI. De igual manera Ferrier *et al.* (1995) evaluó tres dietas con 0%, 10% y 20% de linaza en gallinas, encontrando que los niveles de ALA aumentaron de 280 mg por huevo (0% linaza) hasta 527 mg en 20% de linaza; y los niveles de DHA aumentaron desde 51 mg (0% linaza) hasta 87 mg (20% linaza) por huevo.

4.2.2. Contenido de AG en yemas de huevo

Al evaluar la cuantificación de contenido de AGPI ω -3, se determinó la relación mediante la ecuación de regresión y correlación entre el contenido de AGPI DHA y el nivel de ASI suministrado en las dietas de gallinas. En la figura 5 se mostró la ecuación determinada por: $y = 55,73 + 8,32x$, y que a medida que se aumenta los niveles de ASI en la dieta hubo un comportamiento lineal (y =contenido de AGPI DHA; x = nivel de uso de ASI en la dieta).

Por otro lado, cuando se analizó el contenido total transferido de ácidos grasos de tipo omega-3 (ω -3; ALA, EPA y DHA) desde las dietas hacia las yemas se puede observar un comportamiento lineal (Figura 6), evidenciándose con la ecuación $y = 59,58x + 135,41$ (Siendo y =contenido de AGPI ω -3; x = Nivel de uso de ASI en la dieta), que se necesitaría aproximadamente 1,92% de uso de ASI en la dieta para poder lograr los 250 mg de AGPI ω -3 a ser depositados en un huevo y que recomienda Rimm *et al.* (2018) basado en la investigación de Lichtenstein *et al.* (2006) de las recomendaciones para una buena dieta y estilo de vida según el Comité de la Asociación Americana de Nutrición del corazón. Al comparar con lo reportado por Ehr *et al.* (2017), al suplementar con aceite de linaza, encontró que necesita aproximadamente la tercera parte (1.8% de aceite de linaza) para conseguir depositar los 250 mg de AGPI ω -3 en un huevo de 50 g, con el costo que eso significaría. Por otro lado, el estudio comparativo entre el uso de aceite de linaza y harina de linaza y su efecto en la transferencia de AGPI ω -3 en yema, demostró que los aceites son más eficientes tanto por las cantidades de uso y el costo que implica, sino además por los componentes anti nutricionales como inhibidor de tripsina (Goyal *et al.*, 2014) o glucósidos cianogénicos como linustatina o linarina (Feng *et al.*, 2003).

Las dietas occidentales tienen un consumo de AG que está en la relación ω -6/ ω -3 que se aproxima a 15/1. El nivel más recomendado para reducir las enfermedades crónicas, es aquel que esté en la relación ω -6/ ω -3 entre 1/1(Saini y Keum, 2018). Para lograr este nivel, se aconseja el consumo de AG proveniente de fuentes animales (grasas en peces de clima frío) o fuentes vegetales (linaza) o productos animales que han sido alimentados con estos alimentos.

En la tabla 10 se muestra la eficiencia de transferencia (ET) entre el contenido de AGPI ω -3 proveniente del alimento hacia el contenido transferido en AGPI DHA en la yema de huevo y expresado en miligramos (mg), nos muestra una relación inversa entre los niveles

de ASI, va disminuyendo en la transferencia de DHA en el huevo. Las respuestas son escasas al no encontrar investigaciones con ASI en animales, pero podemos mencionar similares respuestas con insumos de alto valor en AGPI ω -3. Por ejemplo, Cachaldora et al., (2005) al evaluar niveles de algas en la dieta de gallinas reportó niveles de eficiencia de 30,6% y 17,8% en DHA, cuando se le suministró 0,77% y 1,7% de algas en la dieta. De la misma manera Gonzalez-Esquerro & Leeson, (2000) y Cachaldora et al., (2008) han reportado que el aumento en los niveles de aceite de pescado en la dieta de aves no era proporcional al incremento en los niveles de DHA en la yema de huevo. Las gallinas alimentadas con ASI en la dieta han producido huevos enriquecidos con AGPI ω -3 en el siguiente orden: ALA>DHA>EPA. Esto indica que las gallinas ponedoras pueden convertir el ALA de la dieta en EPA, DPA y DHA por la vía del sistema enzimático de las desaturasas y elongasas para ser depositadas en las yemas de huevo (Garg *et al.*, 1988).

4.2.3. Perfil bioquímico en suero de sangre

Los valores obtenidos en colesterol total y triglicéridos totales no presentaron diferencias significativas ($P>0.05$) con la adición de niveles crecientes de ASI en la dieta de gallinas ponedoras. Resultados similares de valores totales de triglicéridos y colesterol se encontraron en el plasma de gallinas cuando se usó aceite de linaza (1.5%) junto con harina de algas (hasta 5%) en la dieta (Kim *et al.*, 2016). El uso de 2% de aceite de linaza (ALI) comparado con un control sin aceite y otra dieta a base de 2% de aceite de girasol reveló que no hubo variaciones significativas entre los niveles de colesterol, pero si hubo una disminución significativa en los niveles de TG comparado con el control (Celebi y Utlu, 2004).

La comparación de diferentes fuentes de aceites y grasas en la dieta de patos Shan Partridge como aceite de pescado (AP), aceite de linaza (ALI), aceite de colza (AC) y sebo(S), con un control (C, sin aceite o grasa), determinó que la adición de los niveles de colesterol total se redujo de manera altamente significativa ($P<0.001$) para las dietas con ALI, AC y AP comparado con S y C. Existe muchas diferencias en los resultados de contenido de TGT y CT en el suero de las aves alimentadas con diferentes fuentes de aceites en la dieta. Por ejemplo Tanaka *et al.* (1997) en su investigación menciona que el uso de fuentes con AGPI omega 3, pueden reducir el contenido de TGT en el suero, mientras que el contenido de AGPI omega 6 no pueden reducir. En ese sentido, Fébel *et al.* (2008) demostró que niveles de 3% de aceite de linaza en la dieta de gallinas no

alteró los niveles de TGT en el plasma sanguíneo. Las lipoproteínas son las responsables de transportar el colesterol en sangre (Celebi y Utlu, 2004). La inclusión de diferentes tipos de grasas en la dieta podrían alterar los niveles de lipoproteínas (colesterol) en el suero (Hermier y Dillon, 1992).

El hígado desempeña un rol vital en el metabolismo de los lípidos con muchas fases de síntesis de lípidos y transporte (Ghadir *et al.*, 2010). Las pruebas de enzimas aminotransferasas en el suero son las más comunes en laboratorio para la detección de enfermedades hepáticas. Los valores elevados de las enzimas alanina transaminasa (ALA) y aspartato transaminasa (AST) son indicadores de la pérdida en la función de las células hepáticas (Drotman y Lawhorn, 1978). El uso de 5%, 10% y 15% de harina de linaza en la dieta de gansos provocó disminución sustancial en los indicadores de triglicéridos y colesterol total en suero de la progenie cuando se le comparó con el control. La misma investigación no arrojó diferencias en el nivel de la enzima Alanina aminotransferasa (ALT), pero si hubo reducción en los niveles de la enzima aspartato amino transferasa (AST) cuando se aumentó los niveles de linaza en la dieta de gansos (Chen *et al.*, 2015). En la presente investigación, la adición de diferentes niveles de ASI (0%, 1%, 2%, 3% y 4%) en la dieta de gallinas ponedoras, no afectó los niveles de AST ni de ALT en el suero. El uso de 1.5% de aceite de linaza en la dieta de codorniz causó una disminución en los niveles de TGT y CT desde 1239 y 314.20 mg/dL hasta 610 y 184.20 mg/dL respectivamente. Del mismo modo, los valores de ALT aumentaron de manera significativa, mientras que no se encontraron diferencias en los niveles de AST en codornices alimentadas con aceite de linaza (Reda *et al.*, 2020). Por otro lado, la investigación reportada por Dong *et al.* (2018) reveló que el uso de 8% de aceite de soya, 8% de aceite de pescado (AP) y 8% de aceite de coco, encontrando que el uso de AP arrojó los valores más elevados de AST, aduciendo el daño hepático causó lipidosis y peroxidación de lípidos. Valores que coinciden con Celebi y Utlu (2004) que al adicionar 2% y 4% de aceites y grasas en la dieta de aves con el uso de sebo, aceite de linaza, girasol y mezcla de linaza con sebo no encontró diferencias en AST y ALT cuando se usó en un 2%, sin embargo los resultados al 4% de aceites o grasos demostró incrementos en los valores de AST y ALT, con valores mayores cuando se usó de sebo en la dieta comparado con los aceites vegetales. Otro tipo de investigación usó diferente nivel de grasa (3.5% y 7%) y proteína (17.5% y 13%) en la dieta de gallinas ponedoras encontrándose que a

mayor nivel de grasa (no menciona el origen de la grasa) y bajo nivel de proteína hubo mayor nivel de AST en el suero de gallinas (Rozenboim *et al.*, 2016).

4.2.4. Evaluación sensorial en huevos de gallina

Existieron variaciones en las puntuaciones entre los huevos de diferentes tratamientos con uso de ASI. Sin embargo, las puntuaciones de preferencia en ninguno de los atributos evaluados causaron o estuvieron en un rango de disgusto (menor a 7.5) en la pauta no estructurada de 0 a 15 cm. Las puntuaciones de color de yema y aroma no presentaron diferencias significativas ($P>0.05$) a los diferentes niveles de ASI en la dieta. El nivel de ASI en la dieta afectó las características de flavor y aceptabilidad de huevos, siendo las puntuaciones de 8,21 y 8,31 respectivamente cuando se utilizó un 4% de ASI comparándola con la dieta control. No se han encontrado estudios sobre el uso de ASI en la dieta de gallinas en relación con las características sensoriales en huevos, coincidiendo con Caston *et al.*, 1994; Coorey *et al.*, 2015; Scheideler *et al.*, 1997 quienes reportaron diferencias significativas en la preferencia de huevos de gallinas que fueron alimentadas con niveles elevados de linaza, chia y aceite de pescado cuando fueron comparados con el grupo control.

4.2.5. Masa relativa de hígado

La enfermedad de hígado graso (EHG) es la enfermedad más prevalente que afecta a más de 1.7 billones de adultos en el mundo (Targher *et al.*, 2020). Los desórdenes metabólicos provocan un aumento de triglicéridos en los hepatocitos, causando simple esteatosis, que podría volverse inflamación, embalonamiento pasando por fibrosis hasta cirrosis (Wan *et al.*, 2016). Similar a lo que ocurre en humanos, el exceso en deposición de lípidos es un fenómeno común en aves de postura y la EGH podría ocurrir en aves adultas durante su proceso de envejecimiento sin tener estímulo externo, por ello las gallinas se consideran un buen modelo de investigación para explicar desórdenes en el metabolismo de lípidos en humanos (Tsai *et al.*, 2017). Existen factores predisponentes para la presentación de EGH que pueden abarcar desde: nutricionales (excesivo contenido de energía proveniente de carbohidratos con un bajo nivel de grasas). La ausencia de efectos negativos en el hígado de las aves provocados por el uso de ASI en la dieta de gallinas podría deberse a que contiene altos niveles de AGPI ω -3, que se han reportado tener propiedades hepato protectores significativos (Parker *et al.*, 2012). Por otro lado, los

compuestos fenólicos encontrados en las semillas de linaza como los flavonoides y lignanos cumplen funciones antioxidantes y anti inflamatorias (Davis *et al.*, 2016). Chirinos *et al.* (2013) demostró en un estudio con más de 16 variedades de semillas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) que el contenido de compuestos fenólicos varía en un rango de 64.6 – 80.0 mg de equivalentes de ácido gálico, además de otros compuestos fenólicos como flavonoides (alpinumisoflavona, luteolina, floretin glucósido), secoiridoides (oleuropeina) y lignanos (pinoresinol) (Fanali *et al.*, 2011), que han sido identificados en el ASI, que una vez digeridos también estarían cumpliendo funciones protectoras contra el síndrome de hígado graso en gallinas ponedoras (Felmlee *et al.*, 2009).

V. CONCLUSIONES

En base a las condiciones evaluadas en la presente investigación se lograron las siguientes conclusiones:

- El perfil de ácidos grasos en aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) muestra un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados especialmente ácido alfa linolénico (46.7%, C18:3 ω -3) y ácido linoleico (36.45%, C18:2 ω -6), y del ácido graso monoinsaturado ácido oleico (10.49%, C18:1 ω -9).
- La utilización de aceite de sacha inchi en niveles de hasta 4% en la dieta de gallinas ponedoras en reemplazo del aceite de soya no causó variaciones significativas en los indicadores de producción de huevos, ganancia de peso de las aves, consumo de alimentos, eficiencia en la conversión, peso de huevo, ni en la masa de huevo. Respecto a la calidad de huevo se puede concluir que el aceite de sacha inchi en niveles de hasta 4% no cambió el peso de huevo, sin embargo, cambió el peso de albumen, peso relativo de cáscara, índice y pH de yema, encontrándose cambios significativos en la coloración de la yema de huevo (espacio de color a*).
- El perfil de ácidos grasos en la yema de huevo con el uso del aceite de sacha inchi cambió de manera significativa, reduciéndose el porcentaje de ácidos grasos saturados y la ratio de la proporción de los ácidos grasos omega 6 versus omega 3 (ω -6: ω -3). Del mismo modo, se logró obtener una disminución significativa en los ácidos grasos poliinsaturados de tipo omega 6, aumento en los ácidos grasos de tipo oleico (C18:1 ω -9).
- Al cuantificar la suma de ácidos grasos de tipo omega 3 en la yema de huevo (mg por huevo), se puede concluir que la adición de 4% de ASI mejoró en un 3,93 veces respecto a la dieta control, obteniéndose un incremento del 1,73 veces mayor en DHA respecto al tratamiento control. La eficiencia en la transferencia demostró que a mayor nivel de AGPI de tipo omega 3 en ASI consumido resultó en menor eficiencia en AGPI DHA (0,67: 0%ASI vs 0,27: 4%ASI) depositado en la yema de huevo.
- Se determinó la ecuación de predicción que relaciona los niveles de aceite de sacha inchi en la dieta de gallinas con la transferencia en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados omega 3 en la yema de huevo, necesitando aproximadamente un 1,92% de aceite de sacha inchi en la dieta de gallinas permite depositar 250 mg AGPI ω -3 por yema de huevo.

- El uso de aceite de sacha inchi en la dieta de las gallinas ponedoras no alteró los niveles de perfil bioquímico en sangre como colesterol total ni triglicéridos totales. De igual manera, los niveles de dos enzimas presentes en el hígado como el aspartato aminotransferasa y alanina aminotransferasa permanecieron sin cambios significativos en el suero, su aumento hubiera significado un posible daño hepático causado por la adición de aceite de sacha inchi en la dieta de las aves. Estos valores se complementan con la ausencia significativa de evidencias tanto a nivel de masa relativa de hígado (aumento de peso o tamaño) ni evidencias que asocien a procesos inflamatorios o esteatosis hepática.
- La adición de aceite de sacha inchi no causó disgustos tanto en aroma, menos se evidenció cambios en el color de la yema que fuera detectada por los panelistas. Diferencias significativas fueron encontradas en indicadores como flavor y aceptabilidad general debido a componentes aún no determinados.

VI. RECOMENDACIONES

En base a las condiciones evaluadas en la presente investigación se realizan las siguientes recomendaciones:

- Ampliar el tamaño de muestra para estudios de determinación de contenido de ácidos grasos por cromatografía de gases.
- Evaluar el efecto de aceite de sachá inchi en la expresión genética, incremento de grasa corporal en las aves, así como evaluar su efecto en inmunología de las aves
- Evaluar la digestibilidad y componentes anti nutricionales del sachá inchi tanto a nivel de aceite o como torta de sachá inchi que la hacen impalatable.
- Evaluar los cambios oxidativos del aceite de sachá inchi comparados con el tiempo y sus efectos en la producción de huevos.
- Analizar componentes en la yema de huevo que provoque rechazo en el consumo de huevos alimentados con aceite de sachá inchi

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguillón-Páez, Y; Romero, J; Diaz, G. (2020). Effect of full-fat sunflower or flaxseed seeds dietary inclusion on performance, egg yolk fatty acid profile and egg quality in laying hens. *Journal of Animal Nutrition*, 6(2): 179-184. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.12.005>
- Ahmad, S. (2010). Effect of supplementing dietary sources of n-3 fatty acids and vitamin a on laying performance, egg quality and immune response in laying hens. Tesis doctoral, University of Agriculture. Pakistan Research Repository. URL: <http://pr.hec.gov.pk/jspui/bitstream/123456789/805/1/652S.pdf>
- Ajuyah, A; Wang, Y; Sunwoo, H; Cherian, G; Sim, J. (2003). Maternal Diet with Diverse Omega-6/Omega-3 Ratio Affects the Brain Docosaehaenoic Acid Content of Growing Chickens. *Neonatology*, 84(1), 45-52. <https://doi.org/10.1159/000071443>
- Alagawany, M; Elnesr, S; Farag, M; Abd El-Hack, M; Khafaga, A; Taha, A; Tiwari, R; Yatoo Mohd, I; Bhatt, P; Khurana, S; Dhama, K. (2019). Omega-3 and Omega-6 Fatty Acids in Poultry Nutrition: Effect on Production Performance and Health. *Animals*, 9(8), 573. <https://doi.org/10.3390/ani9080573>
- American Egg Board. (2017). Egg Nutrition Facts. American Egg Board. <https://www.incredibleegg.org/nutrition/egg-nutrition-facts/>
- Andino, P; Vera, H; López, S; Guevara, H; Peñafiel, I. (2018). Evaluación de tres niveles de aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) en la dieta de pollos de engorde. *Caribeña de Ciencias Sociales*. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2018/05/dieta-pollos-engorde.html>
- Ansari, R; Azarbayejani, A; Asgari, S; Gheisari, A. (2004). The effect of flaxseed oil to egg quality, fatty acids and cholesterol content of egg yolk in laying hens. 22nd World Poultry Congress. Istanbul, Turkey 2004. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.866.9703&rep=rep1&type=pdf>
- AOAC Intenational. (1990). Official Methods of Analysis. 15th ed. Assoc. Offic. Anal. Chem.. Int., Arlington, VA.
- Augustyn, R; Barteczko, J; Smulikowska, S. (2006). The effect of feeding regular or low α -linolenic acid linseed on laying performance and total cholesterol content in eggs.

- Journal of Animal and Feed Sciences, 15(Suppl. 1), 103-106.
<https://doi.org/10.22358/jafs/70153/2006>
- Aymond, W; Van Elswyk, M. (1995). Yolk Thiobarbituric Acid Reactive Substances and n-3 Fatty Acids in Response to Whole and Ground Flaxseed. *Poultry Science*, 74(8), 1388-1394. <https://doi.org/10.3382/ps.0741388>
- Baucells, M; Crespo, N; Barroeta, A; López-Ferrer, S; Grashorn, M. (2000). Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poultry Science*, 79(1), 51-59. <https://doi.org/10.1093/ps/79.1.51>
- Bean, L; Leeson, S. (2003). Long-term effects of feeding flaxseed on performance and egg fatty acid composition of brown and white hens. *Poultry Science*, 82(3), 388-394. <https://doi.org/10.1093/ps/82.3.388>
- Beynen, A. (2004). Fatty acid composition of eggs produced by hens fed diets containing groundnut, soya bean or linseed. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 52(1), 3-10. [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(04\)80026-5](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(04)80026-5)
- Blasbalg, T; Hibbeln, J; Ramsden, C; Majchrzak, S; Rawlings, R. (2011). Changes in consumption of omega-3 and omega-6 fatty acids in the United States during the 20th century. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 93(5), 950-962. <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.006643>
- Bligh, E; Dyer, W. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*. 37(8), 911-917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>
- Botsoglou, N; Fletouris, D; Papageorgiou, G; Vassilopoulos, V; Mantis, A; Trakatellis, A. (1994). Rapid, Sensitive, and Specific Thiobarbituric Acid Method for Measuring Lipid Peroxidation in Animal Tissue, Food, and Feedstuff Samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(9), 1931-1937. <https://doi.org/10.1021/jf00045a019>
- Burdge, G; Calder, P. (2014). Introduction to Fatty Acids and Lipids. En P. C. Calder, D. L. Waitzberg, & B. Koletzko (Eds.), *World Review of Nutrition and Dietetics*. 112, 1-16. <https://doi.org/10.1159/000365423>
- Cachaldora, P; De Blas, J; De Blas, J; García-Rebollar, P; Álvarez, C; Méndez, J. (2005). Short communication. Effects of type and level of supplementation with dietary n-3 fatty acids on yolk fat composition and n-3 fatty acid retention in hen eggs. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 3(2), 209. <https://doi.org/10.5424/sjar/2005032-146>

- Cachaldora, P; García-Rebollar, P; Alvarez, C; Méndez, J; De Blas, J. (2008). Double enrichment of chicken eggs with conjugated linoleic acid and n-3 fatty acids through dietary fat supplementation. *Animal Feed Science and Technology*, 144(3-4), 315-326. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.10.010>
- Caston, L; Squires, E; Leeson, S. (1994). Hen performance, egg quality, and the sensory evaluation of eggs from SCWL hens fed dietary flax. *Canadian Journal of Animal Science*, 74(2), 347-353. <https://doi.org/10.4141/cjas94-047>
- Celebi, S; Utlu, N. (2004). Laying Performance, Serum Lipoproteins, Cholesterol and Triglyceride of Hens as influenced by Dietary Fat Sources. *Journal of Applied Animal Research*, 25(2), 121-124. <https://doi.org/10.1080/09712119.2004.9706488>
- Char, C; Yoplac, I; Escalona, V. (2017). Microbiological and Functional Quality of Ready-to-Eat Arugula as Treated by Combinations of UV-C and Nonconventional Modified Atmospheres: Ready-to-eat arugula as treated by UV-C and novel modified atmospheres. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3). <https://doi.org/10.1111/jfpp.12978>
- Chen, W; Jiang, Y; Wang, J; Yan, B; Huang, Y; Wang, Z. (2015). Effect of flaxseed on the fatty acid profile of egg yolk and antioxidant status of their neonatal offspring in Huoyan geese. *Animal*, 9(11), 1749-1755. <https://doi.org/10.1017/S1751731115001287>
- Cherian, G; Sim, J. (2001). Maternal Dietary α -Linolenic Acid (18:3n-3) Alters n-3 Polyunsaturated Fatty Acid Metabolism and Liver Enzyme Activity in Hatched Chicks. *Poultry Science*, 80(7), 901-905. <https://doi.org/10.1093/ps/80.7.901>
- Chirinos, R; Zuloeta, G; Pedreschi, R; Mignolet, E; Larondelle, Y; Campos, D. (2013). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 141(3), 1732-1739. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.078>
- Coorey, R; Novinda, A; Williams, H; Jayasena, V. (2015). Omega-3 Fatty Acid Profile of Eggs from Laying Hens Fed Diets Supplemented with Chia, Fish Oil, and Flaxseed: Omega-3 in eggs from chia fed hens.... *Journal of Food Science*, 80(1), 180-187. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12735>
- Crespo, N; Esteve-Garcia, E. (2001). Dietary fatty acid profile modifies abdominal fat deposition in broiler chickens. *Poultry Science*, 80(1), 71-78. <https://doi.org/10.1093/ps/80.1.71>

- Crespo, N; Esteve-Garcia, E. (2002). Dietary linseed oil produces lower abdominal fat deposition but higher de novo fatty acid synthesis in broiler chickens. *Poultry Science*, 81(10), 1555-1562. <https://doi.org/10.1093/ps/81.10.1555>
- Davis, J; Cain, J; Small, C; Hales, D. (2016). Therapeutic effect of flax-based diets on fatty liver in aged laying hens. *Poultry Science*, 95(11), 2624-2632. <https://doi.org/10.3382/ps/pew160>
- Di Pierro, P; Sorrentino, A; Mariniello, L; Giosafatto, C; Porta, R. (2011). Chitosan/whey protein film as active coating to extend Ricotta cheese shelf-life. *LWT - Food Science and Technology*, 44(10), 2324-2327. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.031>
- Dong, X; Liu, S; Tong, J. (2018). Comparative Effect of Dietary Soybean Oil, Fish Oil, and Coconut Oil on Performance, Egg Quality and Some Blood Parameters in Laying Hens. *Poultry Science*, 97(7), 2460-2472. <https://doi.org/10.3382/ps/pey094>
- Drotman, R; Lawhorn, G. (1978). Serum Enzymes as Indicators of Chemically Induced Liver Damage. *Drug and Chemical Toxicology*, 1(2), 163-171. <https://doi.org/10.3109/01480547809034433>
- Duman, A; Şekeroğlu, A; Yıldırım, H; Eleroğlu; Camcı, O. (2016). Relation between egg shape index and egg quality characteristics. Verlag Eugen Ulmer. <https://doi.org/10.1399/eps.2016.117>
- Ebeid, T; Eid, Y; Saleh, A; Abd El-Hamid, H. (2008). Ovarian follicular development, lipid peroxidation, antioxidative status and immune response in laying hens fed fish oil-supplemented diets to produce n-3-enriched eggs. *Animal*, 2(1), 84-91. <https://doi.org/10.1017/S1751731107000882>
- Ehr, I; Persia, M; Bobeck, E. (2017). Comparative omega-3 fatty acid enrichment of egg yolks from first-cycle laying hens fed flaxseed oil or ground flaxseed. *Poultry Science*, 96(6), 1791-1799. <https://doi.org/10.3382/ps/pew462>
- Eisen, E; Bohren, B; McKean, H. (1962). The Haugh Unit as a Measure of Egg Albumen Quality. *Poultry Science*, 41(5), 1461-1468. <https://doi.org/10.3382/ps.0411461>
- Elsayed, N; AlAfifi, S. (2021). Fatty acid pattern and productive performance of laying hens fed dietary flaxseed oil. *Egyptian Poultry Science Journal*, 40(4), 819-829. <https://doi.org/10.21608/epsj.2021.135020>
- Fanali, C; Dugo, L; Cacciola, F; Beccaria, M; Grasso, S; Dachà, M; Dugo, P; Mondello, L. (2011). Chemical Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil. *Journal of*

Agricultural and Food Chemistry, 59(24), 13043-13049.
<https://doi.org/10.1021/jf203184y>

- Fébel, H; Mézes, M; Pálffy, T; Hermán, A; Gundel, J; Lugasi, A; Balogh, Kocsis, I; Blázovics, A. (2008). Effect of dietary fatty acid pattern on growth, body fat composition and antioxidant parameters in broilers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 92(3), 369-376. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00803.x>
- Felmlee, M; Woo, G; Simko, E; Krol, E; Muir, A; Alcorn, J. (2009). Effects of the flaxseed lignans secoisolariciresinol diglucoside and its aglycone on serum and hepatic lipids in hyperlipidaemic rats. *British Journal of Nutrition*, 102(3), 361-369. <https://doi.org/10.1017/S0007114508207488>
- Feng, D; Shen, Y; Chavez, E. (2003). Effectiveness of different processing methods in reducing hydrogen cyanide content of flaxseed: Reduction of HCN content of flaxseed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(8), 836-841. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1412>
- Ferrier, L; Caston, L; Leeson, S; Squires, J; Weaver, B; Holub, B. (1995). alpha-Linolenic acid- and docosahexaenoic acid-enriched eggs from hens fed flaxseed: Influence on blood lipids and platelet phospholipid fatty acids in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 62(1), 81-86. <https://doi.org/10.1093/ajcn/62.1.81>
- Follegatti-Romero, L; Piantino, C; Grimaldi, R; Cabral, F. (2009). Supercritical CO₂ extraction of omega-3 rich oil from Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. *The Journal of Supercritical Fluids*, 49(3), 323-329. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2009.03.010>
- Fraeye, I; Bruneel, C; Lemahieu, C; Buyse, J; Muylaert, K; Foubert, I. (2012). Dietary enrichment of eggs with omega-3 fatty acids: A review. *Food Research International*, 48(2), 961-969. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.03.014>
- Galobart, J; Barroeta, A; Baucells, M; Cortinas, L; Guardiola, F. (2001). α -Tocopherol Transfer Efficiency and Lipid Oxidation in Fresh and Spray-Dried Eggs Enriched with ω 3-Polyunsaturated Fatty Acids. *Poultry Science*, 80(10), 1496-1505. <https://doi.org/10.1093/ps/80.10.1496>
- Ganesan, B; Brothersen, C; McMahon, D. (2014). Fortification of Foods with Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(1), 98-114. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.578221>

- Garg, M; Sebokova, E; Wierzbicki, A; Thomson, A; Clandinin, M. (1988). Differential effects of dietary linoleic and α -linolenic acid on lipid metabolism in rat tissues. *Lipids*, 23(9), 847-852. <https://doi.org/10.1007/BF02536203>
- Ghadir, M; Riahin, A; Havaspour, A; Nooranipour, M; Habibinejad, A. (2010). The relationship between lipid profile and severity of liver damage in cirrhotic patients. *Hepatitis Monthly*, 10(4), 285-288.
- Glatz, J; Luiken, J. (2015). Fatty acids in cell signaling: Historical perspective and future outlook. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 92, 57-62. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2014.02.007>
- Gonzalez-Esquerria, R; Leeson, S. (2000). Effect of feeding hens regular or deodorized menhaden oil on production parameters, yolk fatty acid profile, and sensory quality of eggs. *Poultry Science*, 79(11), 1597-1602. <https://doi.org/10.1093/ps/79.11.1597>
- Golzar Adabi, A; Fani, N; Ceylan, A; Hajibabaei, N. Casey. (2016). *Enrichment of quail (Coturnix cot. Japonica) eggs by omega-3 fatty acids and its nutritional effect on young healthy women*. Verlag Eugen Ulmer. <https://doi.org/10.1399/eps.2016.149>
- Goyal, A; Sharma, V; Upadhyay, N; Gill, S; Sihag, M. (2014). Flax and flaxseed oil: An ancient medicine & modern functional food. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1633-1653. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9>
- Grobas, S; Mendez, J; De Blas, C; Mateos, G. (1999). Influence of dietary energy, supplemental fat and linoleic acid concentration on performance of laying hens at two ages. *British Poultry Science*, 40(5), 681-687. <https://doi.org/10.1080/00071669987089>
- Guillén, M; Ruiz, A; Cabo, N; Chirinos, R; Pascual, G. (2003). Characterization of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil by FTIR spectroscopy and ¹H NMR. Comparison with linseed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(8), 755-762. <https://doi.org/10.1007/s11746-003-0768-z>
- Gutiérrez, L; Rosada, L; Jiménez, Á. (2011). Chemical composition of Sacha Inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas y Aceites*, 62(1), 76-83. <https://doi.org/10.3989/gya044510>
- Haug, A; Eich-Greatorex, S; Bernhoft, A; Wold, J; Hetland, H; Christophersen, O; Sogn, T. (2007). Effect of dietary selenium and omega-3 fatty acids on muscle composition and quality in broilers. *Lipids in Health and Disease*, 6(1), 29. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-6-29>

- Hermier, D; Dillon, J. (1992). Characterization of dietary-induced hypercholesterolemia in the chicken. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Lipids and Lipid Metabolism*, 1124(2), 178-184. [https://doi.org/10.1016/0005-2760\(92\)90095-D](https://doi.org/10.1016/0005-2760(92)90095-D)
- Hou, T; McMurray, D, Chapkin, R. (2016). Omega-3 fatty acids, lipid rafts, and T cell signaling. *European Journal of Pharmacology*, 785, 2-9. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2015.03.091>
- Huang, S; Baurhoo, B; Mustafa, A. (2020). Effects of feeding extruded flaxseed on layer performance, total tract nutrient digestibility, and fatty acid concentrations of egg yolk, plasma and liver. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(5), 1365-1374. <https://doi.org/10.1111/jpn.13364>
- Illanes, A. (2015). Alimentos funcionales y biotecnología. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(1), 5-8. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n1.50997>
- Ismail, I; Al-Busadah, K; El-Bahr, S. (2012). Effect of Dietary Supplementation of Canola Oil on Egg Production, Quality and Biochemistry of Egg Yolk and Plasma of Laying Hen. *International Journal of Biological Chemistry*, 7(1), 27-37. <https://doi.org/10.3923/ijbc.2013.27.37>
- Itza-Ortiz, M; Ciro-Galeano, J. (2016). Parámetros productivos: Importancia en producción avícola. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/308356178_parametros_productivos
- Javed, A; King, A; Imran, M; Jeoh, T; Naseem, S. (2019). Omega-3 supplementation for enhancement of egg functional properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(8). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14052>
- Jia, W; Slominski, B; Guenter, W; Humphreys, A; Jones, O. (2008). The Effect of Enzyme Supplementation on Egg Production Parameters and Omega-3 Fatty Acid Deposition in Laying Hens Fed Flaxseed and Canola Seed. *Poultry Science*, 87(10), 2005-2014. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00474>
- Kalakuntla, S; Nagireddy, N; Panda, A; Jatoth, N; Thirunahari, R; Vangoor, R. (2017). Effect of dietary incorporation of n-3 polyunsaturated fatty acids rich oil sources on fatty acid profile, keeping quality and sensory attributes of broiler chicken meat. *Animal Nutrition*, 3(4), 386-391. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.08.001>
- Kaya, Ş; Keçeci, T; Haliloğlu, S. (2001). Effects of zinc and vitamin A supplements on plasma levels of thyroid hormones, cholesterol, glucose and egg yolk cholesterol of laying

hens. *Research in Veterinary Science*, 71(2), 135-139.
<https://doi.org/10.1053/rvsc.2001.0500>

- Kim, H; Ohk, B; Yoon, H; Kang, W; Seong, S; Kim, S; Yoon, Y. (2017). Docosaehaenoic acid signaling attenuates the proliferation and differentiation of bone marrow-derived osteoclast precursors and promotes apoptosis in mature osteoclasts. *Cellular Signalling*, 29, 226-232. <https://doi.org/10.1016/j.cellsig.2016.11.007>
- Kim, J; Barcus, M; Magnuson, A; Tao, L; Lei, X. (2016). Supplemental defatted microalgae affects egg and tissue fatty acid composition differently in laying hens fed diets containing corn and flaxseed oil. *Journal of Applied Poultry Research*, 25(4), 528-538. <https://doi.org/10.3382/japr/pfw034>
- Kodahl, N. (2020). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.)—From lost crop of the Incas to part of the solution to global challenges? *Planta*, 251(4), 80. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03377-3>
- Kralik, G; Kralik, Z; Grčević, M; Galović, O; Hanžek, D; Biazik, E. (2021). Fatty acid profile of eggs produced by laying hens fed diets containing different shares of fish oil. *Poultry Science*, 100(10), 101379. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101379>
- Krivankova, B; Cepkova, P; Ocelak, M; Juton, G; Bechyne, M; Lojka, B. (2012). Preliminary Study of Diversity of *Plukenetia volubilis* Based on the Morphological and Genetic Characteristics. *Agricultura tropica et subtropica*, 45(3). <https://doi.org/10.2478/v10295-012-0023-6>
- Kruger, M; Coetzee, M; Haag, M; Weiler, H. (2010). Long-chain polyunsaturated fatty acids: Selected mechanisms of action on bone. *Progress in Lipid Research*, 49(4), 438-449. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2010.06.002>
- Lee, J; Kang, S; Heo, Y; Shin, D; Park, T; Han, G; Jin, G; Lee, H; Jung, E; Kim, H; Kim, E; Choi, Y. (2015). Influence of Flaxseed Oil on Fecal Microbiota, Egg Quality and Fatty Acid Composition of Egg Yolks in Laying Hens. *Current Microbiology*. <https://doi.org/10.1007/s00284-015-0946-z>
- Lee, K; Lillehoj, H; Jang, S; Li, G; Bautista, D; Phillips, K; Ritter, D., Lillehoj, E; Siragusa, G. (2011). Effects of coccidiosis control programs on antibody levels against selected pathogens and serum nitric oxide levels in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 20(2), 143-152. <https://doi.org/10.3382/japr.2010-00218>
- Lee, S; Whenham, N; Bedford, M. (2019). Review on docosaehaenoic acid in poultry and swine nutrition: Consequence of enriched animal products on performance and health

- characteristics. *Animal Nutrition*, 5(1), 11-21.
<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.09.001>
- Lee, S; Kim, Y; Kim, D; Lee, D; Lee, H; Jha, R; Lee, K. (2021). Dietary soluble flaxseed oils as a source of omega-3 polyunsaturated fatty acids for laying hens. *Poultry Science*, 100(8), 101276. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101276>
- Lichtenstein, A. (2009). Dietary Fat: A History. *Nutrition Reviews*, 57(1), 11-14.
<https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1999.tb01770.x>
- Lichtenstein, A; Appel, L; Brands, M; Carnethon, M; Daniels, S; Franch, H; Franklin, B; Kris-Etherton, P; Harris, W; Howard, B; Karanja, N; Lefevre, M; Rudel, L; Sacks, F; Van Horn, L; Winston, M; Wylie-Rosett, J. (2006). Diet and Lifestyle Recommendations Revision 2006: A Scientific Statement From the American Heart Association Nutrition Committee. *Circulation*, 114(1), 82-96.
<https://doi.org/10.1161/Circulationaha.106.176158>
- Lima, B; Takahashi, N; Tabata, Y; Hattori, R; Ribeiro, C; Moreira, R. G. (2019). Balanced omega-3 and -6 vegetable oil of Amazonian sacha inchi act as LC-PUFA precursors in rainbow trout juveniles: Effects on growth and fatty acid biosynthesis. *Aquaculture*, 509, 236-245. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.05.004>
- Longo, A; Ward, W. (2016). PUFAs, Bone Mineral Density, and Fragility Fracture: Findings from Human Studies. *Advances in Nutrition*, 7(2), 299-312.
<https://doi.org/10.3945/an.115.009472>
- Lopes, D; Xavier, E; Santos, V; Gonçalves, F; Anciuti, M; Roll, V; Del Pino, F; Feijó, J; Catalan, A. (2013). Growth performance, carcass traits, meat chemical composition and blood serum metabolites of broiler chicken fed on diets containing flaxseed oil. *British Poultry Science*, 54(6), 780-788. <https://doi.org/10.1080/00071668.2013.843161>
- Mazalli, M; Faria, D; Salvador, D; Ito, D. (2004). A Comparison of the Feeding Value of Different Sources of Fat for Laying Hens: 2. Lipid, Cholesterol, and Vitamin E Profiles of Egg Yolk. *Journal of Applied Poultry Research*, 13(2), 280-290.
<https://doi.org/10.1093/japr/13.2.280>
- Moghadasian, M. (2008). Advances in Dietary Enrichment with N-3 Fatty Acids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(5), 402-410.
<https://doi.org/10.1080/10408390701424303>

- Najib, S. (2004). The Effect of Incorporating Different Levels of Locally Produced Canola Seeds (*Brassica napus*, L.) In the Diet of Laying Hen. *International Journal of Poultry Science*, 3(7), 490-496. <https://doi.org/10.3923/ijps.2004.490.496>
- Neijat, M; Ojekudo, O; House, J. (2016). Effect of flaxseed oil and microalgae DHA on the production performance, fatty acids and total lipids of egg yolk and plasma in laying hens. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 115, 77-88. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2016.10.010>
- Niu, L; Li, J; Chen, M; Xu, Z. (2014). Determination of oil contents in Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) seeds at different developmental stages by two methods: Soxhlet extraction and time-domain nuclear magnetic resonance. *Industrial Crops and Products*, 56, 187-190. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.03.007>
- Novak, C; Scheideler, S. (2001). Long-Term Effects of Feeding Flaxseed-Based Diets. 1. Egg Production Parameters, Components, and Eggshell Quality in Two Strains of Laying Hens. *Poultry Science*, 80(10), 1480-1489. <https://doi.org/10.1093/ps/80.10.1480>
- National Research Council. (1994). *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- O'Fallon, J; Busboom, J; Nelson, M; Gaskins, C. (2007). A direct method for fatty acid methyl ester synthesis: Application to wet meat tissues, oils, and feedstuffs. *Journal of Animal Science*, 85(6), 1511-1521. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-491>
- Omidi, M; Rahimi, S; Karimi Torshizi, M. (2015). Modification of egg yolk fatty acids profile by using different oil sources. *Veterinary Research Forum*, 6(2), 137-141.
- Ortiz, D; Lawson, T; Jarrett, R; Ring, A; Scoles, K; Hoverman, L; Rocheford, E; Karcher, D; Rocheford, T. (2021). Biofortified orange corn increases xanthophyll density and yolk pigmentation in egg yolks from laying hens. *Poultry Science*, 100(7), 101117. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101117>
- Palmiter, R; Oka, T; Schimke, R. (1971). Modulation of Ovalbumin Synthesis by Estradiol-17 β and Actinomycin D as Studied in Explants of Chick Oviduct in Culture. *Journal of Biological Chemistry*, 246(3), 724-737. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)62473-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)62473-1)
- Pappachan, J; Babu, S; Krishnan, B; Ravindran, N. (2017). Non-alcoholic Fatty Liver Disease: A Clinical Update. *Journal of Clinical and Translational Hepatology*, 5; 384-393. <https://doi.org/10.14218/JCTH.2017.00013>

- Pardio, V; Landin, L; Waliszewski, K; Perez-Gil, F; Diaz, L; Hernandez, B. (2005). The effect of soybean soapstock on the quality parameters and fatty acid composition of the hen egg yolk. *Poultry Science*, 84(1), 148-157. <https://doi.org/10.1093/ps/84.1.148>
- Parker, H; Johnson, N; Burdon, C; Cohn, J; O'Connor, H; George, J. (2012). Omega-3 supplementation and non-alcoholic fatty liver disease: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Hepatology*, 56(4), 944-951. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2011.08.018>
- Parmentier, H; Mieuwland, M; Barwegen, M; Kwakkel, R; Schrama, J. (1997). Dietary unsaturated fatty acids affect antibody responses and growth of chickens divergently selected for humoral responses to sheep red blood cells. *Poultry Science*, 76(8), 1164-1171. <https://doi.org/10.1093/ps/76.8.1164>
- Pita, M; Piber Neto, E; Carvalho, P; Mendonça Junior, C. (2006). Efeito da suplementação de linhaça, óleo de canola e vitamina E na dieta sobre as concentrações de ácidos graxos poliinsaturados em ovos de galinha. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 58(5), 925-931. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352006000500031>
- Reda, F; El-Kholy, M; Abd El-Hack, M; Taha, A; Othman, S; Allam, A; Alagawany, M. (2020). Does the use of different oil sources in quail diets impact their productive and reproductive performance, egg quality, and blood constituents? *Poultry Science*, 99(7), 3511-3518. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.03.054>
- Reis, T; Moraes, J; Calixto, L; Pizzolante, C. (2021). Acurácia de dias de avaliação da gravidade específica como medida da qualidade de casca de ovos de galinhas. *Research, Society and Development*, 10(5), e40410515148. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.15148>
- Ribeiro, B; Lara, L; Baião, N; Lopez, C; Fiuza, M; Cançado, S; Silva, G. (2007). Efeito do nível de ácido linoléico na ração de matrizes pesadas sobre o peso, composição e eclosão dos ovos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 59(3), 789-796. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352007000300034>
- Ribeiro, T; Lordelo, M; Alves, S; Bessa, R; Costa, P; Lemos, J; Ferreira, L; Fontes, C; Prates, J. (2013). Direct supplementation of diet is the most efficient way of enriching broiler meat with n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids. *British Poultry Science*, 54(6), 753-765. <https://doi.org/10.1080/00071668.2013.841861>
- Rimm, E; Appel, L; Chiuve, S; Djoussé, L; Engler, M; Kris-Etherton, P; Mozaffarian, D., Siscovick, D; Lichtenstein, A. (2018). Seafood Long-Chain n-3 Polyunsaturated Fatty

Acids and Cardiovascular Disease: A Science Advisory From the American Heart Association. *Circulation*, 138(1). <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000574>

- Rossi, M; Alamprese, C; Ratti, S. (2007). Tocopherols and tocotrienols as free radical-scavengers in refined vegetable oils and their stability during deep-fat frying. *Food Chemistry*, 102(3), 812-817. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.016>
- Rowghani, M. (2007). Effect of Canola Oil on Cholesterol and Fatty Acid Composition of Egg-yolk of Laying Hens. *International Journal of Poultry Science*, 6(2), 111-114. <https://doi.org/10.3923/ijps.2007.111.114>
- Rozenboim, I; Mahato, J; Cohen, N; Tirosh, O. (2016). Low protein and high-energy diet: A possible natural cause of fatty liver hemorrhagic syndrome in caged White Leghorn laying hens. *Poultry Science*, 95(3), 612-621. <https://doi.org/10.3382/ps/pev367>
- Saban C; Necati U. (2006). Influence of Animal and Vegetable Oil in Layer Diets on Performance and Serum Lipid Profile. *International Journal of Poultry Science*, 5(4), 370-373. <https://doi.org/10.3923/ijps.2006.370.373>
- Saini, R; Keum, Y. (2018). Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance — A review. *Life Sciences*, 203, 255-267. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.04.049>
- Samman, S; Kung, F; Carter, L; Foster, M; Ahmad, Z; Phuyal, J; Petocz, P. (2009). Fatty acid composition of certified organic, conventional and omega-3 eggs. *Food Chemistry*, 116(4), 911-914. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.046>
- Scheideler, S; Froning, G; Cuppett, S. (1997). Studies of Consumer Acceptance of High Omega-3 Fatty Acid-Enriched Eggs. *Journal of Applied Poultry Research*, 6(2), 137-146. <https://doi.org/10.1093/japr/6.2.137>
- Scheideler, S; Froning, G. (1996). The Combined Influence of Dietary Flaxseed Variety, Level, Form, and Storage Conditions on Egg Production and Composition Among Vitamin E-Supplemented Hens. *Poultry Science*, 75(10), 1221-1226. <https://doi.org/10.3382/ps.0751221>
- Schumann, B; Squires, E; Leeson, S. (2000). Effect of dietary flaxseed, flax oil and n-3 fatty acid supplement on hepatic and plasma characteristics relevant to fatty liver haemorrhagic syndrome in laying hens. *British Poultry Science*, 41(4), 465-472. <https://doi.org/10.1080/713654970>

- Scorletti, E; Byrne, C. (2013). Omega-3 Fatty Acids, Hepatic Lipid Metabolism, and Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *Annual Review of Nutrition*, 33(1), 231-248. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071812-161230>
- Shafey, T; Dingle, J; Mc Donald, M. (2003). Effect of Type of Grain and Oil Supplement on the Performance, Blood Lipoproteins, Egg Cholesterol and Fatty Acids of Laying Hens. *International Journal of Poultry Science*, 2(3), 200-206. <https://doi.org/10.3923/ijps.2003.200.206>
- Shahidi, F; Ambigaipalan, P. (2018). Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Their Health Benefits. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9(1), 345-381. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-111317-095850>
- Sosin, E; Borowiec, F; Strzetelski, J; Smulikowska, S. (2006). The effect of feeding regular or low α -linolenic acid linseed on the fatty acid composition of egg yolks. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 15(4), 641-650. <https://doi.org/10.22358/jafs/66933/2006>
- Souza, J; Costa, F; Queiroga, R; Silva, J; Schuler, A; Goulart, C. (2008). Fatty acid profile of eggs of semi-heavy layers fed feeds containing linseed oil. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 10(1), 37-44. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2008000100006>
- Švedová, M; Vaško, L; Trebunová, A; Kaštel', R; Tučková, M; Certík, M. (2008). Influence of Linseed and Fish Oil on Metabolic and Immunological Indicators of Laying Hens. *Acta Veterinaria Brno*, 77(1), 39-44. <https://doi.org/10.2754/avb200877010039>
- Tanaka, K; Banno, C; Xia, Z; Ohtani, S. (1997). Effects of Dietary Fat Sources on Lipid Metabolism in Growing Chicks (*Gallus domesticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 116(1), 119-125. [https://doi.org/10.1016/S0305-0491\(96\)00182-4](https://doi.org/10.1016/S0305-0491(96)00182-4)
- Targher, G; Byrne, C; Tilg, H. (2020). NAFLD and increased risk of cardiovascular disease: Clinical associations, pathophysiological mechanisms and pharmacological implications. *Gut*, 69(9), 1691-1705. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2020-320622>
- Trott, K; Giannitti, F; Rimoldi, G; Hill, A; Woods, L; Barr, B; Anderson, M; Mete, A. (2014). Fatty Liver Hemorrhagic Syndrome in the Backyard Chicken: A Retrospective Histopathologic Case Series. *Veterinary Pathology*, 51(4), 787-795. <https://doi.org/10.1177/0300985813503569>
- Tsai, M; Chen, Y; Chen, C; Tsai, M; Han, C; Chen, Y; Mersmann, H; Ding, S.-T. (2017). Identification of Potential Plasma Biomarkers for Nonalcoholic Fatty Liver Disease

- by Integrating Transcriptomics and Proteomics in Laying Hens. *The Journal of Nutrition*, 147(3), 293-303. <https://doi.org/10.3945/jn.116.240358>
- USDA. (2017a). *USDA Base de datos de composición de alimentos*. <https://fdc.nal.usda.gov/ndb/search/list>.
- USDA. (2017b). *USDA National Weekly Shell Egg Inventory: Weekly Shell Egg Inventory*. 1.
- Van Elswyk, M. (1997). Comparison of $n-3$ fatty acid sources in laying hen rations for improvement of whole egg nutritional quality: A review. *British Journal of Nutrition*, 78(1), S61-S69. <https://doi.org/10.1079/BJN19970135>
- Wan, X; Xu, C; Lin, Y; Lu, C; Li, D; Sang, J; He, H; Liu, X; Li, Y; Yu, C. (2016). Uric acid regulates hepatic steatosis and insulin resistance through the NLRP3 inflammasome-dependent mechanism. *Journal of Hepatology*, 64(4), 925-932. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2015.11.022>
- Wang, S; Zhu, F; Kakuda, Y. (2018). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses. *Food Chemistry*, 265, 316-328. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.055>
- Wang, T; Liu, M; Portincasa, P; Wang, D; (2013). New insights into the molecular mechanism of intestinal fatty acid absorption. *European Journal of Clinical Investigation*, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1111/eci.12161>
- Ward G; Huang, E; Bobik, H; Xing, M; Montalto, M. (1998). Long chain polyunsaturated fatty acid levels in formulae influence deposition of docosahexanoic acid and arachidonic acid in brain and red blood cells of artificially reared neonatal rats. *Journal of Nutrition*, 128, 2473-2487.
- Watters, C; Edmonds, C. (2012). A Cost Analysis of EPA and DHA in Fish, Supplements, and Foods. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 02(08). <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000159>
- Wu, X; Zou, X; Zhang, M; Hu, H; Wei, X; Jin, M; Cheng, H; Jiang, S. (2021). Osteocalcin prevents insulin resistance, hepatic inflammation, and activates autophagy associated with high-fat diet-induced fatty liver hemorrhagic syndrome in aged laying hens. *Poultry Science*, 100(1), 73-83. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.022>
- Yalçın, H; Ünal, M. (2010). The Enrichment of Hen Eggs with $\omega-3$ Fatty Acids. *Journal of Medicinal Food*, 13(3), 610-614. <https://doi.org/10.1089/jmf.2008.0024>

- Younis, N. (2016). Uses of flaxseed oil and soybean oil effect on Production performance and egg quality of Broiler Breeder. *Iraqi Poultry Sciences Journal*, 10(2). <https://www.iasj.net/iasj/article/143782>
- Zanqui, A; da Silva, C; De Moraes, D; Santos, J; Ribeiro, S; Eberlin, M; Cardozo-Filho, L; Visentainer, J; Gomes, S; Matsushita, M. (2016). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil composition varies with changes in temperature and pressure in subcritical extraction with n-propane. *Industrial Crops and Products*, 87, 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.029>
- Zivkovic, A; Telis, N; German, J; Hammock, B.(2011). Dietary omega-3 fatty acids aid in the modulation of inflammation and metabolic health. *California Agriculture*, 65(3), 106-111. <https://doi.org/10.3733/ca.v065n03p106>

ANEXOS

Anexo A. Tablas auxiliares sobre procesamiento estadístico sobre la evaluación de diferentes niveles de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) en los indicadores productivos de gallinas ponedoras

Tabla A.1. Análisis de varianza (ANOVA) para la producción de huevos (% postura) en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	317.018	4	79.254	1.448	0.79
Error	12860.190	235	54.724		
Total	13177.208	239			

Tabla A.2. Valores descriptivos obtenidos para la producción de huevos (% postura) en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI ¹	48	92.36	90.29	94.43	71.43	100.00
1% ASI	48	91.07	89.18	92.97	76.19	100.00
2% ASI	48	91.02	88.86	93.18	76.19	100.00
3% ASI	48	90.37	87.87	92.81	66.67	100.00
4% ASI	48	93.77	91.70	95.84	71.43	100.00
Total	240	91.67	90.72	92.61	66.67	100.00

¹ASI: Aceite de sachá inchi

Tabla A.3. Análisis de varianza (ANOVA) para el consumo de alimento (g) en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.000	4	0.000	2.211	0.48
Error	0.001	235	0.000		
Total	0.001	239			

Tabla A.4. Valores descriptivos obtenidos para el consumo de huevo (g) en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	48	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
1%ASI	48	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11
2%ASI	48	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
3%ASI	48	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11
4%ASI	48	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11
Total	240	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11

Tabla A.5. Análisis de varianza (ANOVA) para la eficiencia alimenticia en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.249	4	0.062	1.460	0.22
Error	10.037	235	0.043		
Total	10.287	239			

Tabla A.6. Valores descriptivos obtenidos para la eficiencia alimenticia en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	48	1.99	1.94	2.05	1.70	2.42
1%ASI	48	1.96	1.91	2.02	1.59	2.45
2%ASI	48	1.94	1.88	1.99	1.60	2.43
3%ASI	48	1.99	1.92	2.06	1.65	2.77
4%ASI	48	1.90	1.84	1.96	1.45	2.20
Total	240	1.96	1.94	1.99	1.45	2.77

Tabla A.7. Análisis de varianza (ANOVA) para masa de huevo en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	154.109	4	38.527	1.208	0.26
Error	7497.578	235	31.905		
Total	7651.687	239			

Tabla A.8. Valores descriptivos obtenidos para la masa de huevo en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	48	54.78	53.44	56.12	44.83	63.10
1% ASI	48	55.40	53.76	57.04	43.95	68.75
2% ASI	48	56.13	54.47	57.78	44.23	68.52
3% ASI	48	54.71	51.89	56.54	39.44	66.16
4% ASI	48	56.89	55.07	58.71	47.95	71.00
Total	240	55.50	54.78	56.22	39.44	71.00

Tabla A.9. Análisis de varianza (ANOVA) para ganancia de peso en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.001	4	0.000	0.959	0.44
Error	0.008	45	0.000		
Total	0.009	49			

Tabla A.10. Valores descriptivos obtenidos para la ganancia de peso en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	10	0.08	0.08	0.09	0.07	0.10
1% ASI	10	0.09	0.08	0.10	0.07	0.12
2% ASI	10	0.09	0.07	0.10	0.06	0.12
3% ASI	10	0.09	0.08	0.09	0.07	0.11
4% ASI	10	0.08	0.07	0.09	0.06	0.10
Total	50	0.09	0.08	0.09	0.06	0.12

Anexo B. Tablas auxiliares de procesamiento estadístico sobre la evaluación de diferentes niveles de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) en los indicadores de calidad de huevo en gallinas ponedoras

Tabla B.1. Análisis de varianza (ANOVA) para peso de huevo (g) en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	132.887	4	33.222	2.582	0.28
Error	3023.763	235	12.867		
Total	3156.650	239			

Tabla B.2. Valores descriptivos obtenidos para peso de huevo en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	48	59.61	58.82	60.39	52.67	66.86
1% ASI	48	60.94	59.78	62.10	54.29	71.40
2% ASI	48	61.83	60.88	62.77	53.50	68.52
3% ASI	48	60.83	59.84	61.82	51.77	68.50
4% ASI	48	60.85	59.42	62.28	50.22	71.00
Total	240	60.76	60.30	61.23	50.22	71.40

Tabla B.3. Análisis de varianza (ANOVA) para peso de yema (g) en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	7.875	4	1.969	1.928	0.07
Error	239.932	235	1.021		
Total	247.807	239			

Tabla B.4. Valores descriptivos obtenidos para peso de yema en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	48	14.75	14.47	15.03	12.59	16.73
1% ASI	48	15.09	14.84	15.33	13.11	17.08
2% ASI	48	15.29	14.98	15.60	13.02	17.57
3% ASI	48	15.06	14.69	15.42	12.55	17.70
4% ASI	48	14.98	14.76	15.21	13.64	16.23
Total	240	15.03	14.90	15.15	12.55	17.70

Tabla B.5. Análisis de varianza (ANOVA) para peso de albumen (g) en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	167.671	4	41.918	4.482	0.002
Error	2197.945	235	9.353		
Total	2365.616	239			

Tabla B.6. Valores descriptivos obtenidos para peso de albumen en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	48	40.69	39.91	41.47	34.25	47.05
1% ASI	48	41.05	40.13	41.97	33.41	47.94
2% ASI	48	41.09	40.31	41.86	36.16	46.49
3% ASI	48	42.33	41.55	43.12	36.54	48.88
4% ASI	48	42.93	41.69	44.17	37.10	51.75
Total	240	41.53	41.13	41.93	33.41	51.75

Tabla B.7. Análisis de varianza (ANOVA) para peso de cáscara (g) en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	5.219	4	1.305	10.421	0.000
Error	29.424	235	0.125		
Total	34.643	239			

Tabla B.8. Valores descriptivos obtenidos para peso de cáscara en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	48	5.71	5.60	5.81	4.68	6,35
1%ASI	48	6.10	6.03	6.16	5.53	6.72
2%ASI	48	6.01	5.90	6.12	5.19	7.23
3%ASI	48	6.05	5.95	6.15	5.26	6.81
4%ASI	48	6.02	5.89	6.15	4.86	6.90
Total	240	5.97	5.92	6.01	4.68	7.23

Tabla B.9. Análisis de varianza (ANOVA) para índice de yema en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.014	4	0.003	4.355	0.002
Error	0.188	235	0.001		
Total	0.202	239			

Tabla B.10. Valores descriptivos obtenidos para índice de yema en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	48	0.41	0.40	0.42	0.36	0.47
1%ASI	48	0.41	0.40	0.42	0.36	0.51
2%ASI	48	0.43	0.42	0.43	0.37	0.48
3%ASI	48	0.42	0.41	0.43	0.35	0.50
4%ASI	48	0.42	0.41	0.43	0.36	0.47
Total	240	0.42	0.41	0.42	0.35	0.51

Tabla B.10. Análisis de varianza (ANOVA) para pH en yema en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.359	4	0.09	2.738	0.03
Error	7.711	235	0.033		
Total	8.071	239			

Tabla B.11. Valores descriptivos obtenidos para pH de yema en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	48	6.22	6.18	6.26	5.93	6.59
1% ASI	48	6.30	6.24	6.36	5.99	6.87
2% ASI	48	6.31	6.26	6.35	6.03	6.69
3% ASI	48	6.33	6.27	6.39	5.90	6.90
4% ASI	48	6.28	6.23	6.34	6.00	6.64
Total	240	6.29	6.26	6.31	5.90	6.90

Tabla B.12. Análisis de varianza (ANOVA) para pH en albumen en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.83	4	0.208	0.779	0.54
Error	62.634	235	0.267		
Total	63.464	239			

Tabla B.13. Valores descriptivos obtenidos para pH de albumen en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	57	9.11	8.99	9.23	8.17	9.93
1% ASI	48	9.11	8.95	9.27	7.48	9.88
2% ASI	48	9.00	8.86	9.14	8.26	9.90
3% ASI	48	9.16	9.00	9.32	8.12	9.97
4% ASI	39	9.16	8.99	9.34	8.13	9.96
Total	240	9.11	9.04	9.17	7.48	9.97

Tabla B.14. Análisis de varianza (ANOVA) para grosor de cáscara en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.002	4	0.001	0.729	0.89
Error	0.195	235	0.001		
Total	0.198	239			

Tabla B.15. Valores descriptivos obtenidos para pH de albumen en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	48	0.35	0.35	0.36	0.31	0.42
1% ASI	48	0.36	0.35	0.36	0.32	0.42
2% ASI	48	0.36	0.35	0.37	0.31	0.42
3% ASI	48	0.36	0.35	0.37	0.31	0.42
4% ASI	48	0.36	0.35	0.37	0.32	0.41
Total	240	0.36	0.35	0.36	0.31	0.42

Tabla B.16. Análisis de varianza (ANOVA) para gravedad específica en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.000	4	0.000	1.173	0.323
Error	0.010	235	0.000		
Total	0.010	239			

Tabla B.17. Valores descriptivos obtenidos para gravedad específica en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	48	1.08	1.08	1.09	1.07	1.10
1% ASI	48	1.09	1.08	1.09	1.07	1.10

2% ASI	48	1.08	1.08	1.09	1.07	1.10
3% ASI	48	1.09	1.08	1.09	1.07	1.10
4% ASI	48	1.09	1.08	1.09	1.07	1.10
Total	240	1.08	1.08	1.09	1.07	1.10

Tabla B.18. Análisis de varianza (ANOVA) para Color L* en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	83.986	4	20.996	1.615	0.78
Error	3054.959	235	13		
Total	3138.945	239			

Tabla B.19. Valores descriptivos obtenidos para color L* en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	48	62.43	61.60	63.26	58.15	68.30
1% ASI	48	62.41	61.40	63.42	57.98	67.54
2% ASI	48	63.48	62.40	64.56	58.25	69.66
3% ASI	48	62.66	61.36	63.97	51.10	70.56
4% ASI	48	63.92	62.96	64.88	58.41	68.03
Total	240	62.92	62.46	63.38	51.10	70.56

Tabla B.20. Análisis de varianza (ANOVA) para Color a* en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	7.585	4	1.896	4.903	0.001
Error	90.889	235	0.387		
Total	98.474	239			

Tabla B.21. Valores descriptivos obtenidos para color a* en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	48	3.93	3.73	4.13	2.99	5.85
1% ASI	48	3.44	3.37	3.51	3.02	3.89
2% ASI	48	3.56	3.45	3.66	3.05	4.39
3% ASI	48	3.70	3.48	3.91	2.88	5.45
4% ASI	48	3.81	3.55	4.07	3.08	5.36
Total	240	3.69	3.61	3.77	2.88	5.85

Tabla B.22. Análisis de varianza (ANOVA) para Color b* en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	336.048	4	84.012	2.942	0.83
Error	6710.484	235	28.555		
Total	7046.532	239			

Tabla B.23. Valores descriptivos obtenidos para color b* en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	48	51.28	49.74	52.82	43.80	60.03
1% ASI	48	53.89	52.22	54.95	44.44	61.11
2% ASI	48	51.19	52.53	55.86	43.38	62.30
3% ASI	48	52.95	51.33	54.57	43.05	59.43
4% ASI	48	54.53	53.05	56.00	45.56	59.54
Total	240	53.19	52.49	53.88	43.05	62.30

Tabla B.24. Análisis de varianza (ANOVA) para color de yema según abanico de color (AB) en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	1.265	4	0.312	0.704	0.59
Error	105.609	235	0.449		
Total	106.874	239			

Tabla B.25. Valores descriptivos obtenidos para color de yema según abanico de color en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	48	7.06	6.87	7.25	6.00	8.00
1% ASI	48	7.05	6.86	7.24	5.00	8.00
2% ASI	48	6.94	6.76	7.13	5.50	8.00
3% ASI	48	7.18	6.98	7.37	5.00	8.00
4% ASI	48	7.06	6.86	7.27	6.00	8.00
Total	240	7.06	6.97	7.15	5.00	8.00

Anexo C. Tablas auxiliares de procesamiento estadístico sobre la evaluación de diferentes niveles de aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) sobre el perfil de ácidos grasos en yema de huevo en gallinas ponedoras

Tabla C.1. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido graso mirístico (C14:0) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.028	4	0.007	23.982	0.41
Error	0.042	145	0.000		
Total	0.070	149			

Tabla C.2. Valores descriptivos obtenidos para ácido mirístico (C14:0) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	0.29	0.28	0.269	0.26	0.31
1% ASI	30	0.26	0.25	0.26	0.23	0.29
2% ASI	30	0.28	0.27	0.28	0.25	0.33
3% ASI	30	0.26	0.25	0.27	0.21	0.30
4% ASI	30	0.25	0.25	0.26	0.21	0.27
Total	150	0.27	0.26	0.27	0.21	0.33

Tabla C.3. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido palmítico (C16:0) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	154.949	4	38.737	654.059	0.000
Error	8.588	145	0.059		
Total	163.536	149			

Tabla C.4. Valores descriptivos obtenidos para ácido palmítico (C16:0) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	23.93	23.86	24.01	23.50	24.30
1%ASI	30	23.31	23.26	23.36	23.08	23.58
2%ASI	30	23.24	23.16	23.31	22.81	23.67
3%ASI	30	21.42	2.26	21.57	20.46	21.83
4%ASI	30	21.54	21.48	21.61	21.09	21.97
Total	150	22.69	22.52	22.56	20.46	24.30

Tabla C.5. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido palmitoleico (C16:1) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	2.875	4	0.719	93.852	0.004
Error	1.110	145	0.008		
Total	3.985	149			

Tabla C.6. Valores descriptivos obtenidos para ácido palmitoleico (C16:1) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	2.14	2.13	2.16	2.03	2.24
1%ASI	30	2.03	2.00	2.05	1.91	2.17
2%ASI	30	2.38	2.32	2.44	2.05	2.77
3%ASI	30	2.04	2.03	2.05	1.97	2.12
4%ASI	30	2.01	1.98	2.04	1.86	2.15
Total	150	2.12	2.09	2.15	1.86	2.77

Tabla C.7. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido heptadecanoico (C17:0) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.003	4	0.001	6.012	0.000
Error	0.016	145	0.000		
Total	0.019	149			

Tabla C.8. Valores descriptivos obtenidos para ácido heptadecanoico (C17:1) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	0.20	0.19	0.20	0.17	0.22
1% ASI	30	0.20	0.19	0.20	0.18	0.21
2% ASI	30	0.20	0.20	0.20	0.17	0.22
3% ASI	30	0.19	0.19	0.20	0.16	0.21
4% ASI	30	0.19	0.19	0.19	0.17	0.21
Total	150	0.20	0.19	0.20	0.16	0.22

Tabla C.9. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido esteárico (C18:0) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	26.053	4	6.513	78.496	0.52
Error	12.032	145	0.083		
Total	38.085	149			

Tabla C.10. Valores descriptivos obtenidos para ácido esteárico (C18:0) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	8.01	7.92	8.10	7.59	8.33
1% ASI	30	7.74	7.63	7.86	7.24	8.15

2%ASI	30	7.83	7.77	7.90	7.39	8.12
3%ASI	30	7.10	6.97	7.23	6.36	7.74
4%ASI	30	8.37	8.25	8.50	7.71	8.98
Total	150	7.81	7.73	7.89	6.36	8.98

Tabla C.11. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido oleico (C18: 1 ω -9) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.334	4	0.083	0.312	0.006
Error	38.691	145	0.267		
Total	29.024	149			

Tabla C.12. Valores descriptivos obtenidos para ácido oleico (C18: 1 ω -9) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	36.69	36.52	36.87	35.59	37.75
1%ASI	30	36.69	36.48	36.89	35.30	38.16
2%ASI	30	36.71	36.47	36.94	34.89	37.55
3%ASI	30	36.63	36.51	36.75	35.60	37.33
4%ASI	30	36.77	36.57	36.98	35.07	37.80
Total	150	36.70	36.62	36.78	34.89	38.16

Tabla C.13. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido vaccénico (C18: 1 ω -7) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.434	4	0.109	17.28	0.000
Error	0.911	145	0.006		
Total	1.345	149			

Tabla C.14. Valores descriptivos obtenidos para ácido vaccénico (C18: 1 ω -7) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	1.48	1.45	1.52	1.32	1.69
1%ASI	30	1.42	1.40	1.44	1.29	1.53
2%ASI	30	1.38	1.35	1.43	1.29	1.66
3%ASI	30	1.39	1.37	1.42	1.22	1.50
4%ASI	30	1.32	1.29	1.34	1.21	1.41
Total	150	1.40	1.39	1.42	1.21	1.69

Tabla C.15. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido eicosanoico (C20: 1 ω -9) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachu inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.029	4	0.007	22.239	0.000
Error	0.048	145	0.000		
Total	0.077	149			

Tabla C.16. Valores descriptivos obtenidos para ácido eicosanoico (C20: 1 ω -9) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachu inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	0.16	0.18	0.19	0.14	0.24
1%ASI	30	0.17	0.16	0.18	0.11	0.25
2%ASI	30	0.16	0.15	0.16	0.11	0.19
3%ASI	30	0.17	0.16	0.17	0.13	0.21
4%ASI	30	0.14	0.14	0.15	0.11	0.18
Total	150	0.16	0.16	0.17	0.11	0.25

Tabla C.17. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido linoleico (C18: 2 ω -6) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachu inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	10.25	4	2.563	6.544	0.002
Error	56.786	145	0.392		

Total	67.036	149
--------------	--------	-----

Tabla C.18. Valores descriptivos obtenidos para ácido linoleico (C18: 2 ω -6) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	20.41	20.35	20.47	20.07	20.77
1% ASI	30	20.73	20.40	21.06	19.22	22.66
2% ASI	30	21.21	20.87	21.54	19.10	23.39
3% ASI	30	20.73	20.67	20.78	20.28	21.09
4% ASI	30	20.92	20.71	21.13	19.64	22.12
Total	150	20.79	20.68	20.92	19.10	23.39

Tabla C.19. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido gamma linolénico (C18: 3 ω -6) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.003	4	0.001	7.153	0.000
Error	0.015	145	0.000		
Total	0.018	149			

Tabla C.20. Valores descriptivos obtenidos para ácido gamma linolénico (C18: 3 ω -6) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	0.11	0.11	0.12	0.10	0.13
1% ASI	30	0.12	0.12	0.13	0.11	0.14
2% ASI	30	0.12	0.12	0.13	0.10	0.14
3% ASI	30	0.12	0.11	0.12	0.10	0.13
4% ASI	30	0.12	0.12	0.13	0.10	0.14
Total	150	0.12	0.12	0.12	0.10	0.14

Tabla C.21. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido alfa linolénico (C18: 3 ω -3) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	810.209	4	202.552	53105.944	0.000
Error	0.553	145	0.004		
Total	810.762	149			

Tabla C.22. Valores descriptivos obtenidos para ácido alfa linolénico (C18: 3 ω -3) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	0.86	0.85	0.87	0.82	0.91
1% ASI	30	2.26	2.25	2.28	2.18	2.35
2% ASI	30	4.32	4.30	4.33	4.22	4.40
3% ASI	30	7.31	7.27	7.34	7.10	7.54
4% ASI	30	5.77	5.74	5.81	5.60	5.95
Total	150	4.10	3.73	4.48	0.82	7.54

Tabla C.23. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido eicosadienoico (C20:2) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.048	4	0.012	28.236	0.000
Error	0.061	145	0.000		
Total	0.109	149			

Tabla C.24. Valores descriptivos obtenidos para ácido eicosadienoico (C20:2) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	0.17	0,16	0.18	0.09	0.24

1%ASI	30	0.18	0.17	0.18	0.12	0.21
2%ASI	30	0.13	0.12	0.14	0.09	0.16
3%ASI	30	0.16	0.15	0.16	0.11	0.18
4%ASI	30	0.14	0.13	0.15	0.11	0.18
Total	150	0.15	0.15	0.16	0.09	0.24

Tabla C.25. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido eicosatrienoico (C20:3 ω -6) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.023	4	0.006	66.114	0.000
Error	0.013	145	0.000		
Total	0.035	149			

Tabla C.26. Valores descriptivos obtenidos para ácido eicosatrienoico (C20:3 ω -6) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	0.14	0.13	0.14	0.11	0.16
1%ASI	30	0.12	0.11	0.12	0.10	0.14
2%ASI	30	0.11	0.11	0.12	0.10	0.13
3%ASI	30	0.11	0.10	0.11	0.09	0.12
4%ASI	30	0.10	0.10	0.10	0.08	0.12
Total	150	0.12	0.11	0.12	0.08	0.16

Tabla C.27. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido eicosatrienoico (C20:3 ω -3) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	17.506	4	4.376	652.499	0.000
Error	0.973	145	0.007		
Total	18.478	149			

Tabla C.28. Valores descriptivos obtenidos para ácido eicosatrienoico (C20:3 ω -3) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	2.01	1.96	2.06	1.67	2.28
1%ASI	30	1.61	1.59	1.62	1.50	1.72
2%ASI	30	1.28	1.26	1.30	1.13	1.44
3%ASI	30	1.04	1.00	1.07	0.75	1.19
4%ASI	30	1.23	1.21	1.25	1.09	1.33
Total	150	1.43	1.38	1.49	0.75	2.28

Tabla C.29. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido araquidónico (C20:4 ω -6) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.000	4	0.000	11.319	0.000
Error	0.000	145	0.000		
Total	0.000	149			

Tabla C.30. Valores descriptivos obtenidos para ácido araquidónico (C20:4 ω -6) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	0.01	0.01	0.01	0.005	0.013
1%ASI	30	0.01	0.01	0.01	0.008	0.013
2%ASI	30	0.01	0.01	0.01	0.009	0.013
3%ASI	30	0.01	0.01	0.01	0.011	0.014
4%ASI	30	0.01	0.01	0.01	0.008	0.012
Total	150	0.01	0.01	0.01	0.005	0.014

Tabla C.31. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido eicosapentaenoico (C20:5 ω -3) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.126	4	0.032	420.509	0.002
Error	0.011	145	0.000		
Total	0.137	149			

Tabla C.32. Valores descriptivos obtenidos para ácido eicosapentaenoico (C20:5 ω -3) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1% ASI	30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2% ASI	30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
3% ASI	30	0.07	0.06	0.08	0.03	0.11
4% ASI	30	0.07	0.07	0.07	0.05	0.10
Total	150	0.03	0.03	0.04	0.01	0.11

Tabla C.33. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido docosapentaenoico (C22:5 ω -3) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.12	4	0.029	39.953	0.000
Error	0.105	145	0.001		
Total	0.220	149			

Tabla C.34. Valores descriptivos obtenidos para ácido docosapentaenoico (C22:5 ω -3) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	0.17	0.16	0.18	0.10	0.23
1%ASI	30	0.15	0.14	0.16	0.11	0.21
2%ASI	30	0.22	0.21	0.24	0.13	0.37
3%ASI	30	0.22	0.20	0.22	0.15	0.26
4%ASI	30	0.20	0.19	0.21	0.17	0.26
Total	150	0.19	0.19	0.20	0.10	0.37

Tabla C.35. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido docosahexaenoico (C22:6 ω -3) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	4.447	4	1.112	33.150	0.000
Error	4.863	145	0.034		
Total	9.310	149			

Tabla C.36. Valores descriptivos obtenidos para ácido docosahexaenoico (C22:6 ω -3) en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	1.02	0.99	1.04	0.83	1.09
1%ASI	30	1.39	1.34	1.43	1.19	1.70
2%ASI	30	1.39	1.32	1.47	1.05	2.10
3%ASI	30	1.49	1.39	1.59	1.01	1.99
4%ASI	30	1.47	1.41	1.53	1.13	1.85
Total	150	1.35	1.31	1.39	0.83	2.10

Tabla C.37. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido grasos totales ω -3 en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	949.138	4	237.284	6449.793	0.000
Error	5.334	145	0.037		

Total	954.472	149
--------------	---------	-----

Tabla C.38. Valores descriptivos obtenidos para ácido grasos totales ω -3 en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	2.06	2.03	2.07	1.88	2.16
1% ASI	30	3.81	3.77	3.85	3.61	4.06
2% ASI	30	5.95	5.87	6.03	5.60	6.64
3% ASI	30	9.08	8.98	9.19	8.65	9.66
4% ASI	30	7.52	7.44	7.59	7.10	8.02
Total	150	5.68	5.27	6.09	1.88	9.66

Tabla C.39. Análisis de varianza (ANOVA) para ácido grasos totales ω -6 en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	6.941	4	1.735	4.487	0.000
Error	56.085	145	0.387		
Total	63.026	149			

Tabla C.40. Valores descriptivos obtenidos para ácido grasos totales ω -6 en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	20.84	20.78	20.90	20.49	21.19
1% ASI	30	21.16	20.82	21.49	19.63	23.10
2% ASI	30	21.49	21.16	21.82	19.50	23.64
3% ASI	30	21.12	21.06	21.16	20.70	21.45
4% ASI	30	21.26	21.08	21.51	20.07	22.50
Total	150	21.18	21.07	21.28	19.50	23.64

Tabla C41-1. Análisis de varianza (ANOVA) para ratio ω -6: ω -3 en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	1211.387	4	302.847	6064.884	0.000
Error	7.24	145	0.050		
Total	1218.627	149			

Tabla C.42. Valores descriptivos obtenidos para ratio ω -6: ω -3 en yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	10.14	10.02	10.26	9.53	11.00
1% ASI	30	5.56	5.44	5.66	4.83	6.11
2% ASI	30	3.63	3.56	3.71	3.03	4.24
3% ASI	30	2.33	2.30	2.35	2.17	2.45
4% ASI	30	2.84	2.79	2.88	2.62	3.05
Total	150	4.89	4.44	5.36	2.17	11.00

Anexo D. Tablas auxiliares de procesamiento estadístico sobre la evaluación de diferentes niveles de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) sobre el masa relativa de hígado en gallinas ponedoras

Tabla D.1 Análisis de varianza (ANOVA) para peso de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.034	4	0.08	1.748	0.156
Error	0.218	45	0.005		
Total	0.252	49			

Tabla D.2. Valores descriptivos obtenidos para peso de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
--	----------	--------------	------------------------	------------------------	---------------	---------------

0% ASI	10	1.81	1.77	1.85	1.73	1.89
1% ASI	10	1.77	1.73	1.82	1.65	1.87
2% ASI	10	1.77	1.74	1.80	1.70	1.85
3% ASI	10	1.73	1.65	1.81	1.54	1.89
4% ASI	10	1.79	1.75	1.82	1.72	1.86
Total	50	1.78	1.75	1.79	1.54	1.89

Tabla D.3. Análisis de varianza (ANOVA) para peso de hígados de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	5.949	4	1.487	1.454	0.232
Error	46.026	45	1.023		
Total	51.976	49			

Tabla D.4. Valores descriptivos obtenidos para peso de hígados de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	10	42.10	41.64	42.57	41.35	43.12
1% ASI	10	41.92	41.47	42.37	40.86	42.84
2% ASI	10	41.81	41.01	42.62	40.24	43.27
3% ASI	10	41.62	40.74	42.50	39.72	42.93
4% ASI	10	41.10	40.22	41.98	39.34	42.41
Total	50	41.71	41.42	42.00	39.34	43.27

Tabla D.5. Análisis de varianza (ANOVA) para masa relativa de hígados de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	7.804	4	1.951	1.291	0.288
Error	68.027	45	1.512		
Total	75.831	49			

Tabla D.6. Valores descriptivos obtenidos para masa relativa de hígados de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	10	23.29	22.73	23.84	22.14	24.19
1% ASI	10	23.67	22.96	24.38	22.31	25.39
2% ASI	10	23.61	22.99	24.24	22.24	25.02
3% ASI	10	24.16	22.71	25.61	21.75	27.90
4% ASI	10	22.99	22.23	23.74	21.15	24.60
Total	50	23.54	23.19	23.90	21.15	27.90

Anexo E. Tablas auxiliares de procesamiento estadístico sobre la evaluación de diferentes niveles de aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) sobre el perfil bioquímico en sangre de gallinas ponedoras

Tabla E.1. Análisis de varianza (ANOVA) para colesterol total en suero de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	17.969	4	4.492	1.067	0.377
Error	400.113	95	4.212		
Total	418.082	99			

Tabla E.2. Valores descriptivos obtenidos para colesterol total en suero de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	20	87.97	87.13	88.82	83.34	90.85
1% ASI	20	88.42	87.37	89.46	84.60	91.11
2% ASI	20	87.26	86.33	88.19	84.15	90.36
3% ASI	20	87.37	86.83	87.91	85.69	89.81
4% ASI	20	87.59	86.30	88.88	84.81	96.26
Total	100	87.72	87.31	88.13	83.34	96.25

Tabla E.3. Análisis de varianza (ANOVA) para triglicéridos totales en suero de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sacha inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
--------	-------------------	------	------------------	---	---------------

Nivel de aceite	1830.034	4	457.508	1.965	0.106
Error	22113.657	95	232.775		
Total	23943.691	99			

Tabla E.4. Valores descriptivos obtenidos para triglicéridos totales en suero de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachu inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	20	720.74	714.36	727.11	692.95	749.93
1% ASI	20	724.67	717.37	731.97	695.60	749.96
2% ASI	20	730.09	722.57	737.62	695.60	752.61
3% ASI	20	724.63	718.64	730.63	699.21	748.13
4% ASI	20	732.71	724.44	740.98	699.21	756.22
Total	100	726.57	723.48	729.65	692.95	756.22

Tabla E.5. Análisis de varianza (ANOVA) para enzima aspartato aminotransferasa (AST) en suero de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachu inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.080	4	0.020	1.844	0.127
Error	1.026	95	0.011		
Total	1.106	99			

Tabla E.6. Valores descriptivos obtenidos para enzima aspartato aminotransferasa (AST) en suero gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachu inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	20	152.61	152.55	152.67	152.40	152.79
1% ASI	20	152.64	152.61	152.66	152.54	152.76
2% ASI	20	152.56	152.51	152.62	152.36	152.76
3% ASI	20	152.61	152.56	152.65	152.31	152.76
4% ASI	20	152.57	152.52	152.62	152.30	152.72
Total	100	152.60	152.58	152.62	152.30	152.79

Tabla E.7. Análisis de varianza (ANOVA) para enzima alanina aminotransferasa (ALT) en suero de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	0.016	4	0.004	1.097	0.363
Error	0.357	95	0.004		
Total	0.373	99			

Tabla E.8. Valores descriptivos obtenidos para enzima alanina aminotransferasa (ALT) en suero gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	20	12.38	12.36	12.41	12.24	12.46
1% ASI	20	12.37	12.34	12.40	12.23	12.49
2% ASI	20	12.36	12.32	12.40	12.22	12.55
3% ASI	20	12.39	12.37	12.42	12.30	12.49
4% ASI	20	12.39	12.37	12.41	12.30	12.46
Total	100	12.38	12.37	12.39	12.22	12.55

Anexo F. Tablas auxiliares de procesamiento estadístico sobre la evaluación de diferentes niveles de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) sobre el análisis sensorial relacionado con el consumo de huevos de gallinas ponedoras

Tabla F.1. Análisis de varianza (ANOVA) para el análisis sensorial de flavor en huevos de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	40.57	4	10.143	3.213	0.015
Error	457.726	145	3.157		
Total	498.296	149			

Tabla F.1 Valores descriptivos obtenidos para el análisis sensorial de flavor en huevos de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	9.39	8.68	10.09	5.00	13.00
1% ASI	30	8.42	7.88	8.95	5.50	12.00
2% ASI	30	8.27	7.53	9.02	5.00	14.00
3% ASI	30	9.32	8.67	9.96	5.50	14.00
4% ASI	30	8.21	7.54	8.88	5.00	12.00
Total	150	8.72	8.43	9.02	5.00	14.00

Tabla F.2. Análisis de varianza (ANOVA) para el análisis sensorial de color de yema en huevos de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachu inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	28.101	4	7.025	1.887	0.116
Error	539.825	145	3.723		
Total	567.927	149			

Tabla F.3. Valores descriptivos obtenidos para el análisis sensorial de color de yema en huevos de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachu inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	8.51	7.80	9.22	4.50	12.00
1% ASI	30	8.00	7.15	8.86	2.80	14.00
2% ASI	30	9.18	8.51	9.85	5.00	12.00
3% ASI	30	8.02	7.42	8.62	5.00	12.00
4% ASI	30	8.32	7.57	9.06	5.00	13.00
Total	150	8.41	8.09	8.72	2.80	14.00

Tabla F.4. Análisis de varianza (ANOVA) para el análisis sensorial de aroma en huevos de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachu inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	11.948	4	2.987	1.004	0.407
Error	431.197	145	2.974		
Total	443.145	149			

Tabla F.5. Valores descriptivos obtenidos para el análisis sensorial de aroma en huevos de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	8.12	7.50	8.73	5.00	12.00
1% ASI	30	8.43	7.91	8.96	5.00	10.50
2% ASI	30	8.70	7.96	9.43	3.90	12.00
3% ASI	30	8.00	7.30	8.70	4.00	12.00
4% ASI	30	7.96	7.34	8.58	5.00	11.00
Total	150	8.24	7.96	8.52	3.90	12.00

Tabla F.6. Análisis de varianza (ANOVA) para el análisis sensorial de aceptabilidad en huevos de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig (Valor-P)
Nivel de aceite	83.53	4	20.882	6.401	0.000
Error	473.077	145	3.263		
Total	556.607	149			

Tabla F.7. Valores descriptivos obtenidos para el análisis sensorial de aceptabilidad en huevos de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de sachá inchi (ASI)

	N	Media	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
0% ASI	30	10.08	9.53	10.64	5.50	13.00
1% ASI	30	8.31	7.80	8.83	5.00	12.00
2% ASI	30	9.45	8.64	10.26	5.00	14.00
3% ASI	30	9.81	9.08	10.54	5.00	13.00
4% ASI	30	8.31	7.59	9.03	5.00	14.00
Total	150	9.19	8.88	9.51	5.00	14.00

ANEXO G. Evaluación sensorial en huevos cocidos con panel semi entrenado

CUESTIONARIO

Evaluación sensorial en huevos cocidos mediante escala lineal

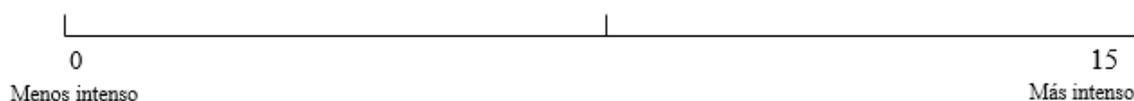
Nombre completo en siglas:..... Sexo:..... Edad:..... Fecha:.....

Instrucciones:

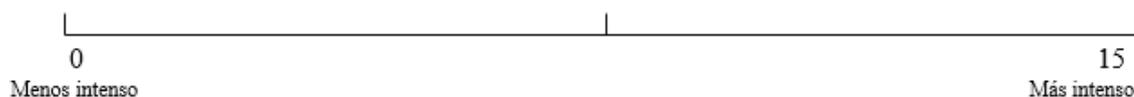
1. Por favor evalúe el aroma y sabor de las muestras de huevo cocinado (1/2 huevo).
2. En cada plato descartable codificado, anote en el siguiente orden: 572, 681, 437, 249.
3. Indique en la línea vertical, la intensidad de sensación (aroma y sabor) que usted percibe en cada una de ellas.
4. Después de probar cada muestra, comer una galleta con agua (opcional)

Muestra **N^o 572**

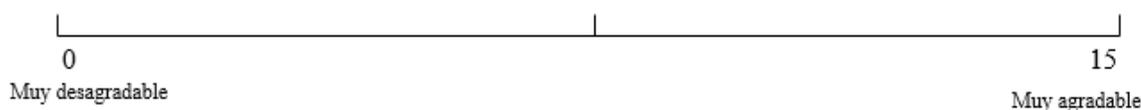
Color de yema



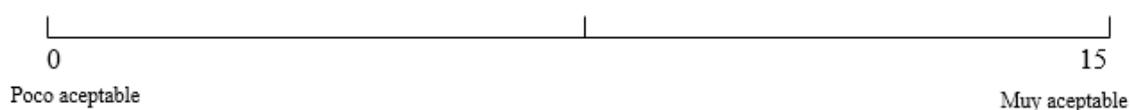
Aroma completo de huevo



Flavor: Mezcla de aroma y sabor, sensación producida en lengua y paladar



Aceptabilidad y gusto total



Comentarios finales:

.....



Figura 9. Extracción de sangre y procesamiento de suero de gallinas para determinar perfil bioquímico en sangre.

LISTA DE ABREVIACIONES

AGS	Ácido graso saturado
AGPI ω -3	Ácido graso poliinsaturado Omega 3
AGMI	Ácido graso monoinsaturado
AL	Ácido linoleico
ALA	Ácido alfa linolénico
ALI	Aceite de linaza
ALT	Alanino amino transferasa
ANOVA	Análisis de varianza
AO	Ácido oleico
AP	Aceite de pescado
ARA	Ácido araquidónico
ASI	Aceite de sacha inchi
AST	Aspartato amino transferasa
CG	Cromatografía de gases
CIELAB	Espacio de color L*a*b
DHA	Ácido docosaheptaenoico
DPA	Ácido docosapentaenoico
EPA	Ácido eicosapentaenoico
FAME	Fatty acid Methyl Esther
HPLC	Cromatografía líquida de alta eficacia
KOH	Hidróxido de potasio
MeOH	Metanol
NRC	Consejo Nacional de la Investigación
UH	Unidad Haugh