



# Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) su aporte nutricional y económico en la **PRODUCCIÓN ANIMAL**



SACHA INCHI (*PLUKENETIA VOLUBILIS*)



# Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) su aporte nutricional y económico en la **PRODUCCIÓN ANIMAL**

José Luis Alcívar Cobeña

Raquel Vera Velázquez

Adriana Leonor Salazar Morán

Madeleidy Martínez Pérez

Julio Luis Gabriel Ortega

Yhonny Alfredo Valverde Lucio

Blanca Soledad Indacochea Ganchozo

Wilfrido Javier Del Valle Holguín

Armando Arturo Pérez Vera

**Autores Investigadores**



# Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) su aporte nutricional y económico en la **PRODUCCIÓN ANIMAL**

## **AUTORES**

### INVESTIGADORES

#### **José Luis Alcívar Cobeña**

Doctor en Ciencias Veterinarias;

Ingeniero Zootecnista;

Universidad Estatal del Sur de Manabí

Jipijapa, Ecuador;

✉ [Jose.alcivar@unesum.edu.ec](mailto:Jose.alcivar@unesum.edu.ec)

🆔 <https://orcid.org/0000-0002-6648-3864>

#### **Raquel Vera Velázquez**

Máster en Ciencias de la Educación;

Licenciada en Educación, especialidad Matemática;

Universidad Estatal del Sur de Manabí;

Jipijapa, Ecuador;

✉ [vera-raquel@unesum.edu.ec](mailto:vera-raquel@unesum.edu.ec)

🆔 <https://orcid.org/0000-0002-5071-7523>

#### **Adriana Leonor Salazar Morán**

Magíster en Administración Pública;

Economista;

Universidad Estatal del Sur de Manabí;

Jipijapa, Ecuador;

✉ [adriana.salazar@unesum.edu.ec](mailto:adriana.salazar@unesum.edu.ec)

🆔 <https://orcid.org/0000-0002-0359-5797>

**Madeleidy Martínez Pérez**

Máster en Bioquímica Nutricional;  
Doctor en Medicina Veterinaria, PhD;  
Licenciada en Bioquímica;  
Instituto de Ciencia Animal;  
La Habana, Cuba;

✉ madeleidymartinez@gmail.com

ID <https://orcid.org/0000-0003-1585-2858>

**Julio Luis Gabriel Ortega**

Máster en Ciencias Genéticas;  
Doctor en Producción Agraria y Aplicaciones Biotecnológicas;  
Ingeniero Agrónomo;  
Universidad Estatal del Sur de Manabí;  
Jipijapa, Ecuador;

✉ Julio.grabiel@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0001-9776-9235>

**Yhonny Alfredo Valverde Lucio**

Magíster en Gestión de Proyectos Socioprodutivos;  
Especialista en Metodología de Investigación;  
Doctor en Biociencias Agroalimentarias;  
Ingeniero Agropecuario;  
Universidad Estatal del Sur de Manabí;  
Jipijapa, Manabí;

✉ yhonny.valverde@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0002-9792-9400>

**Blanca Soledad Indacochea Ganchozo**

Magíster en Agroecología;  
Doctora en Ciencias Forestales, PhD;  
Ingeniera Forestal;  
Universidad Estatal del Sur de Manabí;  
Jipijapa, Ecuador;

✉ Blanca.indacochea@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0003-4741-2435>

**Wilfrido Javier Del Valle Holguín**

Magíster en Medicina Veterinaria;  
Doctor en Medicina Veterinaria y Zootecnia;  
Universidad Estatal del Sur de Manabí;  
Jipijapa, Ecuador;

✉ [wilfridodelvalle@unesum.edu.ec](mailto:wilfridodelvalle@unesum.edu.ec)

🆔 <https://orcid.org/0000-0002-1911-0790>

**Armando Arturo Pérez Vera**

Doctor en Medicina Veterinaria y Zootecnia;  
Especialista en Actividades Pecuarias y Veterinarias;  
Empresa Avícola Vietnam Heroico;  
Las Tunas, Cuba;

✉ [armandoarturo4tomv@gmail.com](mailto:armandoarturo4tomv@gmail.com)

🆔 <https://orcid.org/0009-0001-5311-6862>

# Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) su aporte nutricional y económico en la **PRODUCCIÓN ANIMAL**

## **REVISORES** ACADÉMICOS

### **Ricardo Paúl González Dávila**

Ingeniero Agrícola de la Universidad Nacional de Loja UNL;  
Maestro en Ciencias Sistemas Agropecuarios y Medio Ambiente de la  
Universidad Autónoma de Tamaulipas UAT México;  
Docente Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí,  
Manta, Ecuador;

✉ ricardo.gonzalez@uleam.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0000-0001-7808-7642>

### **Aldo José Loqui Sánchez**

Magíster en Riego y Drenaje;  
Ingeniero Agrónomo;  
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia,  
Universidad de Guayaquil;  
Guayaquil, Ecuador;

✉ aldo\_loqui@hotmail.com

🆔 <https://orcid.org/0000-0001-8953-5105>

# CATALOGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

**AUTORES:** José Luis Alcívar Cobeña  
Raquel Vera Velázquez  
Adriana Leonor Salazar Morán  
Madeleidy Martínez Pérez  
Julio Luis Gabriel Ortega  
Yhonny Alfredo Valverde Lucio  
Blanca Soledad Indacochea Ganchozo  
Wilfrido Javier Del Valle Holguín  
Armando Arturo Pérez Vera

**Título:** Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) su aporte nutricional y económico en la producción animal

**Descriptor:** Zootecnia; Producción animal; Genética agrícola; Genética animal

**Código UNESCO:** 5102.01 Agricultura

**Clasificación Decimal Dewey/Cutter:** 630/A117

**Área:** Ciencias Agrícolas

**Edición:** 1<sup>era</sup>

**ISBN:** 978-9942-654-49-6

**Editorial:** Mawil Publicaciones de Ecuador, 2025

**Ciudad, País:** Quito, Ecuador

**Formato:** 148 x 210 mm.

**Páginas:** 140

**DOI:** <https://doi.org/10.26820/978-9942-654-49-6>

**URL:** <https://mawil.us/repositorio/index.php/academico/catalog/book/170>

Texto para docentes y estudiantes universitarios

El proyecto didáctico **Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) su aporte nutricional y económico en la producción animal**, es una obra colectiva escrita por varios autores y publicada por MAWIL; publicación revisada por el equipo profesional y editorial siguiendo los lineamientos y estructuras establecidos por el departamento de publicaciones de MAWIL de New Jersey.

© Reservados todos los derechos. La reproducción parcial o total queda estrictamente prohibida, sin la autorización expresa de los autores, bajo sanciones establecidas en las leyes, por cualquier medio o



Usted es libre de:  
**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato.  
**Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

**Director Académico:** PhD. Lenin Suasnabas Pacheco

**Dirección Central MAWIL:** Office 18 Center Avenue Caldwell; New Jersey # 07006

**Gerencia Editorial MAWIL-Ecuador:** Mg. Vanessa Pamela Quishpe Morocho

**Dirección de corrección:** Mg. Ayamara Galanton.

**Editor de Arte y Diseño:** Leslie Letizia Plua Proaño

**Corrector de estilo:** Lic. Marcelo Acuña Cifuentes

Sacha inchi (***Plukenetia volubilis***)  
su aporte nutricional y económico en la  
**PRODUCCIÓN ANIMAL**

*Índices*

Contenidos



Introducción----- 14

**Capítulo I.**

Caracterización de la planta (*Plukenetia volubilis L.*)----- 18

**Capítulo II.**

Metodología utilizada para elaborar la torta de sachá inchi ----- 45

**Capítulo III.**

Indicadores fisiológicos de pollos de ceba  
que consumen torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis L.*) ----- 59

**Capítulo IV.**

Indicadores productivos y beneficio económico de la sustitución  
de soya (*Glycine Max*) por torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis L.*)  
en la dieta de pollos de engorde----- 80

Sacha inchi (***Plukenetia volubilis***)  
su aporte nutricional y económico en la  
**PRODUCCIÓN ANIMAL**

*Índices*

Figuras



<b>Figura 1.</b> Morfología del sachá inchi. A. inflorescencia, B. frutos verdes en la planta trepadora, C. frutos secos, D. semillas.-----	22
<b>Figura 2.</b> Clasificación de la fibra dietética de acuerdo a su solubilidad y principales efectos fisiológicos. -----	32
<b>Figura 3.</b> Órganos del tracto digestivo de las aves -----	42
<b>Figura 4.</b> A. Torta de sachá inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) en forma de pellets, procedente de la extracción de aceite. B. Torta de sachá inchi en forma de harina. -----	48
<b>Figura 5.</b> Alojamiento de los pollos de ceba Cobb 500 en jaulas. -----	49
<b>Figura 6.</b> Peso relativo de la molleja vacía en pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de la soya en la ración. -----	75
<b>Figura 7.</b> Peso relativo del intestino delgado vacío en pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de la soya en la ración. -----	76
<b>Figura 8.</b> Costo de producción de pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de la soya. -----	92
<b>Figura 9.</b> Rentabilidad de la crianza de pollos donde se emplea la torta de sachá inchi en sustitución de la soya. -----	93
<b>Figura 10.</b> Relación beneficio/costo con el empleo de torta de sachá inchi en sustitución de la soya. -----	94

Sacha inchi (***Plukenetia volubilis***)  
su aporte nutricional y económico en la  
**PRODUCCIÓN ANIMAL**

*Índices*

Tablas



<b>Tabla 1.</b> Clasificación taxonómica del sachá inchi. -----	21
<b>Tabla 2.</b> Propiedades físicas de la fibra dietética y efectos relacionados con el tracto gastrointestinal. -----	34
<b>Tabla 3.</b> Principales metabolitos secundarios en tortas de oleaginosas y su efecto en el animal.-----	36
<b>Tabla 4.</b> Dietas experimentales correspondientes al período de inicio (1-21 días de edad)-----	50
<b>Tabla 5.</b> Dietas experimentales correspondientes al período de crecimiento (22-35 días de edad).-----	51
<b>Tabla 6.</b> Dietas experimentales correspondientes al período de finalización (36-42 días de edad). -----	52
<b>Tabla 7.</b> Composición química y propiedades físicas de la fracción fibrosa de la torta de sachá inchi ( <i>Plukenetia volubilis L.</i> ). -----	54
<b>Tabla 8.</b> Análisis cualitativo de compuestos secundarios presentes en la torta de sachá inchi.-----	58
<b>Tabla 9.</b> Análisis químico de las dietas experimentales para los cálculos de la digestibilidad ileal. -----	62
<b>Tabla 10.</b> Digestibilidad ileal aparente de la proteína y los aminoácidos en pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de soya en la dieta. -----	63
<b>Tabla 11.</b> Análisis químico de las dietas experimentales para los cálculos de la retención fecal aparente de nutrientes.-----	67
<b>Tabla 12.</b> Retención fecal aparente de nutrientes en pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de la soya de la dieta. -----	68
<b>Tabla 13.</b> Indicadores morfométricos del tracto gastrointestinal lleno de pollos de ceba que consumen dietas donde se sustituye soya por torta sachá inchi. -----	73
<b>Tabla 14.</b> Indicadores morfométricos del tracto gastrointestinal vacío de pollos de ceba que consumen dietas donde se sustituye soya por torta sachá inchi. -----	74
<b>Tabla 15.</b> Longitudes de las diferentes secciones del TGI vacío de pollos de ceba que consumen dieta donde se sustituye soya por torta de sachá inchi. -----	77
<b>Tabla 16.</b> Efecto de la sustitución de soya por torta de sachá inchi en el peso relativo de los órganos accesorios. -----	78
<b>Tabla 17.</b> Indicadores hematológicos en pollos de ceba que consumen dietas donde se sustituye soya por torta sachá inchi. ---	78

<b>Tabla 18.</b> Indicadores productivos de pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de la soya según las diferentes etapas de crianza. -----	84
<b>Tabla 19.</b> Indicadores de comportamiento productivo de pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de la soya para la crianza completa (1-42 días de edad). -----	87
<b>Tabla 20.</b> Mortalidad en pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de la soya en la dieta. -----	90
<b>Tabla 21.</b> Indicadores económicos a partir de la producción total de carne en canal al sustituir soya por torta de sachá inchi en la crianza de pollos de ceba. -----	91

Sacha inchi (***Plukenetia volubilis***)  
su aporte nutricional y económico en la  
**PRODUCCIÓN ANIMAL**

*Introducción*



El continuo crecimiento de la población mundial, que se aceleró exponencialmente durante la última década, plantea un gran desafío para el suministro de proteínas. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) advierte que será el macronutriente limitante en un futuro próximo y que todo ciudadano debe tener derecho a una cantidad suficiente y con calidad adecuada (Arrutia et al., 2020).

Las proteínas son componentes vitales de la dieta ya que ayudan a mejorar la salud del individuo. Las que se obtienen de fuentes animales poseen mayor calidad si se comparan con las de las plantas (Abbas et al., 2020). Según Yadav et al. (2022), la industria aviar es el mayor sector de la agricultura que representa la principal fuente de proteína animal para muchos países.

A nivel internacional, el desarrollo y expansión del sector avícola se basa en la utilización de alimentos convencionales como maíz (*Zea mays*) y soya (*Glycine max*), que son los principales ingredientes que conforman los alimentos concentrados. Estos poseen elevados precios en el mercado internacional y a partir de ellos también se producen biocombustibles, lo que constituye un obstáculo para la estabilidad y la rentabilidad de la producción de carne y huevo (Bryan et al., 2017).

Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC 2021), en Ecuador se crían pollos en planteles avícolas y en campo, y las cifras oscilan entre 37.8 y 7.8 millones, respectivamente. Para ello, la Corporación Nacional de Avicultores de este país, informó que se importaron 49 248 y 1 133 491 toneladas de maíz amarillo y soya, en ese mismo orden (CONAVE, 2021). Por tal razón, se hace necesaria la búsqueda de materias primas de bajo costo, dirigidas al pequeño y mediano productor, capaces de sustituir en parte a los alimentos tradicionales. Su uso garantizaría la reducción de importaciones y la competitividad con la alimentación humana, la preservación del medio ambiente y, de esta manera, el logro de producciones avícolas ecológicamente sostenibles y eficientes.

Existen innumerables recursos proteicos que se pueden emplear en la alimentación de las aves. Su uso adecuado ofrece la posibilidad de producir proteína de origen animal a menor costo (Azam et al., 2019). Por lo que se hace necesario integrar el desarrollo de la producción agrícola, industrial y animal para lograr una formulación económica de las raciones que propicien el mejor comportamiento productivo (Ancuta y Sonia, 2020). En la actualidad, destacan las tortas de oleaginosas. Sin embargo, su inclusión en dietas destinadas a la alimentación animal es limitada por la escasa información dispo-

nible relacionada con el valor nutritivo o su utilización digestiva (Gomes et al., 2021).

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2022), la producción mundial de semillas oleaginosas en diciembre de 2021 fue 627.58 millones de toneladas, por lo que se dispone de gran cantidad de tortas de prensa y residuos. El aprovechamiento de estos subproductos es una alternativa sustentable para reducir la disposición de desechos y, además, contribuye al desarrollo a bajo costo de nuevos productos ricos en nutrientes (Sarwar et al., 2013).

*Plukenetia volubilis* Linneo (1953) también conocida como sachá inchi, es una planta que se puede considerar como fuente de aceites y proteína (Romero et al., 2019). Según Kodahl (2020), su composición es comparable con la soya (*Glycine max*), maní (*Arachis hypogaea*) y girasol (*Helianthus annuus*). En Ecuador, según Rodríguez et al. (2021), 13 provincias cultivan esta planta, ya que el Gobierno incentivó su producción por los grandes beneficios económicos que ofrece. Producto de la extracción de aceite, se generan toneladas de torta con alto valor nutritivo (proteína bruta: 56.6 %, grasa total: 4.1 % y carbohidratos: 30.7 %, en base seca) (Díaz et al., 2021). Además, posee alto contenido de aminoácidos como lisina, histidina, leucina, isoleucina, valina, triptófano y fenilalanina (Rawdkuen et al., 2016), por lo que es importante su evaluación como insumo en la alimentación animal.

Como alimento alternativo, la torta de sachá inchi posee dos inconvenientes principales: la presencia de fibra dietética y de metabolitos secundarios (Wang et al., 2018a). Estos dos componentes causan diferentes efectos fisiológicos en los animales, que dificultan su uso en la alimentación (Srichamnonng et al., 2018). Además, limitan el potencial del subproducto, especialmente cuando se emplean altas dosis (Zajac et al., 2020).

En la literatura científica disponible existen diversos trabajos acerca del empleo de la torta de sachá inchi en especies productivas como peces (Khen et al., 2022), cuyes (Díaz et al., 2021), conejos (Valdivieso, 2015) y aves (Hurtado et al., 2015; Paredes et al., 2015). Los niveles de sustitución o inclusión fueron diferentes, de ahí la gran variedad de resultados. Sin embargo, existe poca información relacionada con su efecto en la fisiología digestiva de animales monogástricos, que presentan diferencias entre sus sistemas digestivos, así como en el comportamiento productivo y el beneficio económico de su uso como sustituto parcial de la fuente de proteína de la dieta (soya).

Los estudios, en este sentido, resultan de vital importancia para las aves porque presentan una condición digestiva diferente al resto de los animales monogástricos (Svihus, 2014). Por ello, es necesario el estudio de la composición del material que se emplea en las dietas y el aprovechamiento de los nutrientes, así como su efecto en el proceso digestivo. Las tortas de oleaginosas, como la de sachá inchi, pueden constituir una variante para pequeños y medianos productores en Ecuador y el trópico, que necesitan ingredientes alimenticios alternativos y de menor costo, además de disponibles localmente para la alimentación de sus animales.

El conocimiento del valor nutritivo de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), su efecto en el comportamiento biológico del pollo de ceba como fuente alternativa de proteína, contribuye a su empleo de forma más eficiente para la producción avícola.

Por todo lo antes expuesto, se determinó evaluar la torta de Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) como fuente alternativa de proteínas para pollos de engorde.

Sacha inchi (***Plukenetia volubilis***)  
su aporte nutricional y económico en la  
**PRODUCCIÓN ANIMAL**

## **Capítulo 1**

Caracterización de la planta  
(*Plukenetia volubilis L.*)



## 1. Caracterización de la planta (*Plukenetia volubilis* L.)



El inchi, según Wikipedia (2022) sachá inchi, sachá maní, maní del Inca o maní jíbaro, es una planta semileñosa y perenne, de la familia de las euforbiáceas, originaria de gran parte de la América del Sur tropical (Surinam, Venezuela, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y el noroeste de Brasil), así mismo, se encuentra en el Caribe.

Según Linneo (1753), *Plukenetia volubilis* es una planta oleaginosa, hermafrodita, de crecimiento voluble, abundantes hojas y ramas, hojas alternas y acorazonadas; flores pequeñas, blanquecinas, en racimo; fructificación capsular de 3 a 5 cm de diámetro, dehiscentes (4 - 5 - 7 cápsulas); fruto de color verde, marrón negruzco al madurar; semillas de color marrón oscuro, con notorias nervaduras ovales de 1,5 x 2 cm de diámetro. Es una planta trepadora que requiere tutores que deben tener una altura de 2 m, para facilitar la recolección de la semilla.

A los 3 meses del trasplante aparecen las flores masculinas, luego las femeninas. En un período de 7 a 19 días, las flores masculinas y femeninas completan su diferenciación. Los frutos completan su desarrollo a 4 meses de la floración, luego inician la madurez (de color verde), finalmente se tornan a marrón negro o cobrizo.

El proceso de maduración es de 15 a 20 días. La cosecha se inicia a los 8 meses después de la siembra o trasplante. La producción es continua, realizándose la cosecha cada 15 días. Contenido de aceite entre 49 – 53 % (aceites omega 3, 6 y 9) y proteínas 33 %. El 45 % de la semilla es aceite, siendo el omega 3 (ALA) muy abundante, alcanzando valores del 50 % y superando 17 veces el omega 3 contenido en el salmón. Luego de la extracción del aceite queda una harina que técnicamente se llama torta y se caracteriza por tener un alto contenido de proteína que llega al 60%, siendo el alimento de mayor contenido proteínico conocido en la actualidad. Por tales razones

es considerado un superalimento que genera una disrupción en las industrias alimenticia, cosmética, nutracéutica y química, por los ingredientes naturales usados en éstas. En 2019 unas ingenieras colombianas aplicaron un producto basado en el uso adecuado del sachá inchi para limpiar derrames de petróleo en cuerpos de agua. Linneo (1753)

Alcanza una longitud hasta de 12 m y sus hojas son alternas, acorazonadas, con bordes dentados, puntiagudas, de 10 a 12 cm de largo y 8 a 10 cm de ancho, con peciolos de 2-6 cm de largo. Las flores masculinas son pequeñas, blanquecinas y dispuestas en racimos. En la base del racimo, y lateralmente, se encuentran una a dos flores femeninas.

Los frutos son cápsulas de 3 a 5 cm de diámetro; tienen de 4 a 7 lóculos, cada uno con una semilla en su interior. Estas son ovales, de color marrón oscuro, de 1.5 a 2 cm de diámetro y de entre medio y un gramo de peso.

Es originaria de la selva amazónica donde los nativos la cultivaron, se adapta a climas cálidos o medios hasta los 1 700 [m s.n.m] siempre y cuando haya disponibilidad permanente de agua y buen drenaje. Crece mejor en los suelos ácidos, francos y aluviales planos, cerca de los ríos. Linneo (1753)

La primera mención científica del *Plukenetia volubilis* fue hecha en 1980 a consecuencia de los análisis de contenido graso y proteico realizados por la Universidad de Cornell en EE. UU., los que demostraron que las semillas del sachá inchi tienen alto contenido de proteínas (33 %) y aceite (49 %). Wikipedia (2022)

El aceite de semilla de sachá inchi se produce con semillas seleccionadas y se obtiene mediante la técnica de prensado en frío con características de calidad del aceite de *Plukenetia volubilis*, color claro, oscila del amarillo intenso al ámbar dorado, olor ligeramente a frijol y característico de la variedad, sabor ligeramente a frijol y característico de la variedad, Índice de acidez 0.22, índice de peróxidos 3.13: Linneo (1753)

En el Perú se han seleccionado variedades hasta con 54 % de aceite; la proteína presenta un importante contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales; es rico en vitaminas A y E, en cantidades suficientes para la salud humana.

Según Wikipedia (2022), el subproducto de la extracción del aceite genera una torta que ha sido utilizada para la alimentación de especies domésticas. Experimentos alimentando juveniles de tilapia roja *Oreochromis* sp con torta de sachá inchi, mostraron que puede ser adicionada en la dieta hasta en

un 10 % de inclusión, sin afectar el desempeño productivo ni la sobrevivencia en esta especie.

### 1.1. Género *Plukenetia*

El género *Plukenetia* pertenece a la familia Euphorbiaceae (*Euforbiáceas*). Comprende plantas anuales, de importancia ornamental, medicinal, alimenticia e industrial, que se caracterizan principalmente por la presencia de una sustancia lechosa, tipo látex y frutos capsulares. El género está compuesto por 19 especies. Tiene una distribución pantropical, 12 especies se encuentran en Sudamérica y Centroamérica y las otras siete solo en el Viejo Mundo (ProFound, 2008). Su clasificación taxonómica se expone en la tabla 1.

**Tabla 1.**

*Clasificación taxonómica del sachá inchi.*

Característica	Clasificación
Reino	Plantae
Subdivisión	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Malpighiales
Familia	Euphorbiaceae
Género	Plukenetia
Especie	volubilis

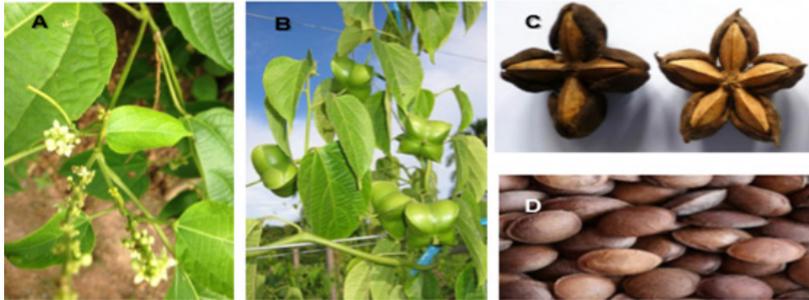
**Fuente:** ProFound (2008)

*Plukenetia volubilis* Linneo se conoce comúnmente como inchi, sachá inchi, sachá maní, maní del Inca o maní jíbaro. Es una planta semileñosa y perenne originaria de la Amazonía peruana y se reconoce en otras partes del mundo como un cultivo sostenible con aplicaciones comerciales viables (Wang y Zhu, 2018).

La morfología del sachá inchi corresponde a un arbusto trepador, voluble, semileñoso y perenne que alcanza alturas indeterminadas. Sus frutos miden de tres a cinco centímetros de diámetro y son de color verde que al madurar se tornan color marrón negruzco (Herrera et al., 2010; Kodahl y Sørensen, 2021). Estos están formados usualmente por cuatro cápsulas dentro de las cuales se encuentran las semillas de color pardo oscuro ligeramente abultadas en el centro y aplastadas en los bordes a manera de almendras. Sus hojas son alternas, acorazonadas, de color verde oscuro, de 10 a 12 cm de largo y 8 a 10 cm de ancho. Las nervaduras nacen en la base y la nervadura central se orienta hacia el ápice de la hoja (Srichamnong et al., 2018) (figura 1).

## Figura 1.

Morfología del sacha inchi. A. inflorescencia, B. frutos verdes en la planta trepadora, C. frutos secos, D. semillas.



**Fuente:** Los autores

La planta recibió su primera mención científica en 1980 a consecuencia de los análisis de contenido graso y proteico realizados por la Universidad de Cornell en los Estados Unidos, los que demostraron que las semillas del sacha inchi tienen alto contenido de proteínas (33 %) y aceite (49 %). Están conformadas de 33 – 35 % de cáscara y 65 – 67 % de grano. El grano o almendra presenta alrededor de 48 – 50 % de aceite y 27 – 28 % de proteínas, altamente digeribles y ricas en aminoácidos esenciales: cisteína, tirosina, treonina y triptófano, excepto leucina y lisina (Alayón y Echeverri, 2016).

La sacha inchi es una planta prometedora con alto valor económico. Sus semillas pueden ser prensadas para la producción de aceite o tostadas y servidas como merienda, mientras que las hojas secas pueden usarse para hacer té (Srichamng et al., 2018). Es la fuente vegetal más rica en ácidos grasos insaturados (93 %) por lo que se considera de gran importancia para la nutrición (Niu et al., 2014).

### 1.1.1. Distribución geográfica

La planta de sacha inchi se encuentra desde América Central hasta Bolivia. En América del Sur se registra en la Amazonía peruana, boliviana y en las Antillas. En el Perú está distribuida principalmente en las zonas selváticas de los departamentos de San Martín, Ucayali y Loreto. Fue utilizada por los pobladores de estas zonas con fines nutricionales y de salud (Álvarez y Ríos, 2007).

Además de Perú, esta planta se encuentra en Bolivia, Antillas Menores, Surinam, Venezuela, Colombia, Ecuador y Brasil, sitios que cumplen sus exigencias óptimas de crecimiento. Estas incluyen una altitud entre 30 y 2 000

m s.n.m., clima tropical o subtropical, con temperaturas de 10 a 26 °C y una humedad relativa del 78 % (Alayón y Echeverri, 2016).

En Ecuador existen de 1 500 a 2 000 hectáreas, en las que se produce entre 9 y 50 % de Sacha inchi a nivel nacional. Es importante manifestar que el uso del suelo en Ecuador y la tendencia de los cultivos permanentes, según la encuesta de superficie y producción agropecuaria continua del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), especifica que el sachá inchi se adapta a las condiciones del suelo en las diversas regiones del país (MAG, 2018).

En las provincias de Manabí, Napo, Orellana, Pichincha, Morona Santiago, Santo Domingo de los Tsáchilas y Esmeraldas, existen 500 ha sembradas del cultivo. El dato corrobora la adaptación de la semilla a los diferentes climas del Ecuador y se proyecta producir aproximadamente 20 000 ha para que se pueda considerar un país competitivo con esta oleaginosa, pues tiene a su alrededor grandes competidores, entre ellos Perú (Rodríguez et al., 2021). En este sentido, los Ministerios de Agricultura y Ganadería (MAG) y el de Industrias y Productividad, masifican la siembra de la oleaginosa que tiene un aporte importante en las diferentes zonas geográficas del Ecuador (MAG, 2018).

### **1.1.2. Condiciones edafoclimáticas y agronómicas para el cultivo**

La sachá inchi crece alrededor de los 900 metros de altitud, aunque hay reportes que afirman que mientras mayor sea, mejor es su contenido de aceites y propiedades. El clima ideal para la producción sana de esta semilla son los cálidos con frecuencia de agua, temperaturas moderadas que se adapten a la semilla, normalmente debe estar entre 10 y 36 °C ya que cuando son temperaturas demasiado altas perjudica la cosecha y el florecimiento (Balta-Crisólogo et al., 2015).

Preciado et al. (2021) manifestaron que en Ecuador se presenta una ventaja con respecto a los períodos de producción y disponibilidad de sachá inchi debido a que en todos los meses del año existen condiciones para su siembra y cosecha. Rodríguez et al. (2021) expresaron que a pesar de las variaciones edáficas que influyen en la cantidad de agua o de humedad, o en la fertilidad del suelo, que dan origen a asociaciones secas o húmedas y fértiles o estériles, esta planta se adapta sin dificultad. Por esta razón se considera una planta rústica que, además, crece en suelos ácidos y con alta concentración de aluminio.

Los cultivos de sachá inchi presentan rendimientos promedios de 2 200 a 2 500 kg. ha<sup>-1</sup> por cosecha, donde el 45- 48 % es cáscara, que podría aprovecharse a nivel agroindustrial para el compostaje o la combustión (Cruz, 2013).

Entre el 52-55 % es almendra seca, que se emplea para la extracción del aceite, cuyo rendimiento depende de las condiciones de cultivo y principalmente del método que se emplee. Por lo general, del 21.2-30 % es aceite, por lo tanto, la torta residual se encuentra alrededor de 70 y 78.2 % (Vásquez et al., 2017). Si se toma en consideración el rendimiento en cultivo y en la obtención de aceite, la generación de torta residual puede ascender hasta 1 075.2 kg. ha<sup>-1</sup> por cosecha.

Como en la mayoría de las especies vegetales, para la reproducción de sachá inchi se debe seleccionar semillas de frutos maduros de las mejores plantas que tengan alta producción y no presenten problemas de plagas ni enfermedades. Las plantas que se seleccionen para la cosecha deben tener al menos seis meses en producción. Los granos que se usen como semillas deben provenir, preferiblemente, de frutos que se cosechen y no que se recojan del suelo. El tiempo que transcurre desde el momento de la siembra de las semillas hasta la obtención de frutos maduros es de 220 a 230 días (Rodríguez et al., 2021).

La siembra del sachá inchi está condicionada al régimen de lluvias. Generalmente, se siembra al inicio de la época lluviosa para garantizar una buena germinación y es recomendable realizar la instalación de riego por goteo. En el caso de zonas muy secas, se deben utilizar riegos complementarios. Estos deben realizarse en la época de sequía y en la de floración y fructificación de la planta, lo que evita el encharcamiento y posibilita obtener mejores rendimientos productivos (Kodahl y Sørensen, 2021).

### **1.1.3. Composición química y biológica de la semilla de sachá inchi**

Chirinos et al. (2013) manifestaron que el sachá inchi contiene entre 84 - 93 % de ácidos grasos esenciales. Está compuesto en promedio de 48.60 % de ácido graso esencial alfa linolénico Omega 3 ( $\omega$ -3), 6.80 % de ácido graso esencial linoleico Omega 6 ( $\omega$ -6) y 8.28 % de ácido oleico Omega 9 ( $\omega$ -9). Posee bajo contenido de ácidos grasos saturados (6.39 % en promedio), 3.85 % de palmítico y 2.54 % de esteárico. Las semillas contienen aceite de extraordinaria calidad, el que supera la de todas las oleaginosas utilizadas para la elaboración de aceites destinadas a un consumidor final mediante las industrias alimentarias (humanas y animales) y farmacéuticas, así como cosméticas (Alayón y Echeverri, 2016).

En relación con la composición química de la semilla, posee proteína (24.2 %), humedad (6.4 %), grasa (51.4 %), carbohidratos (4.03 %) y cenizas (2.7 %) (Benítez et al., 2018). Chirinos et al. (2013) concluyen que crudas

presentan un sabor astringente, por la presencia de taninos que se sintetizan para la protección de agentes externos, tales como insectos; que al ser ingeridos producen resequedad en la mucosa bucal y un sabor amargo.

Las semillas de sachá inchi contienen metabolitos secundarios tóxicos (alcaloides, lectinas y saponinas) que limitan el nivel de uso en especies monogástricas. Srichamnong et al. (2018) indicaron que estos factores podrían reducirse mediante el tratamiento térmico para mejorar la calidad del producto e incrementar su nivel de uso. Por otra parte, Muñoz et al. (2010) refirieron que, gracias a su contenido de fitoesteroles y compuestos fenólicos, presenta una marcada actividad antioxidante.

Niu et al. (2014) plantearon que la semilla de sachá inchi posee alta concentración de proteína de calidad excepcional para la alimentación animal y humana por su composición. Es rica y completa en aminoácidos esenciales y no esenciales y altamente digeribles en más del 96 %. Además, posee alto contenido de aceite de gran valor nutricional.

A pesar de que el sachá inchi es un producto con un gran potencial para el futuro de producción y de industrialización, en el Ecuador aún se desconoce el valor real de la semilla. No existen investigaciones tanto experimentales y de desarrollo tecnológico que indiquen las características fisicoquímicas de la semilla ni de la torta o subproducto que se genera en el proceso de extracción del aceite.

### *1.1.3.1. Aceite de sachá inchi*

El aceite de sachá inchi no posee ningún componente tóxico o dañino para la salud, por lo que no tiene restricción para la alimentación humana (Cárdenas et al., 2021). En la industria médica, se contemplan resultados favorables en el tratamiento de problemas relacionados con altos niveles de triglicéridos en sangre (Saavedra et al., 2012).

El aceite de sachá inchi es un producto de gran valor nutracéutico, que despertó el interés de muchos por su composición fitoquímica y el balance de ácidos grasos  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 (Maurer et al., 2012). Se descubrió, además, que contiene gran cantidad de compuestos fenólicos totales y que se puede utilizar potencialmente como una fuente alternativa de antioxidantes naturales en la industria alimentaria (Rodríguez et al., 2021). Miranda y Acuña (2016) manifestaron que el sabor característico del aceite de sachá inchi puede resultar una barrera al consumo masivo por parte de la población y una posible causa de que las personas que tienen la oportunidad de probarlo ya no lo vuelvan a consumir.

El aceite presenta un color amarillo pálido y un aroma poco fuerte. Sus características físicas y químicas son similares a las de otros aceites vegetales comestibles, como los del maní, el cacahuate o la avellana (Wang et al., 2018a). Existen diferentes métodos de extracción, como la aplicación de solventes, presión o la combinación de ambos. Estos pueden utilizar vapor indirecto (alta temperatura) y la fricción de la prensa continua durante el proceso. Todos estos elementos influyen en la composición química del producto final (Benítez et al., 2018). Los subproductos sólidos que resultan del proceso de extracción se conocen como tortas, las que pueden utilizarse para la elaboración de harinas, destinadas a la alimentación humana y animal.

### *1.1.3.2. Torta de sacha inchi*

La torta representa una importante fuente de proteínas, especialmente por las características nutricionales y funcionales que puede aportar a los alimentos. Pastuña-Pullutasig et al. (2016) plantearon que los métodos de extracción del aceite pueden variar la composición porcentual de su fracción proteica, la que puede alcanzar hasta 59 %. Otros factores que pueden influir en las variaciones en cuanto a la composición, están relacionados con la época de cosecha de la semilla y hasta el método de conservación de la misma (GarcíaRebollar et al., 2016).

La torta de sacha inchi, que se procesa térmicamente, se considera un insumo de alta calidad, ya que posee alto nivel de proteína y energía bruta. Al respecto, Aquino (2015) y Cárdenas et al. (2021) indican que tortas de oleaginosas presentan un contenido próximo al 40 % de proteína y además del 75 a 90 % de digestibilidad in vivo de la sacha inchi en humanos. Castellón (2014) la relacionó con la torta de soya, que posee alta digestibilidad y es el alimento tradicional que se emplea como fuente de proteínas para la formulación de pienso animal.

Existe gran interés por parte de investigadores, productores y extensionistas en esta especie, por su riqueza química. Sin embargo, la información de su efecto en el fisiologismo animal hasta el momento es escasa y se deben realizar diversos estudios para llenar esos vacíos. La composición de ácidos grasos en la semilla y la torta residual puede ofrecer en la nutrición más allá de un mejor balance de nutrientes, un efecto benéfico en la salud del animal y del consumidor final.

#### 1.1.4. Principales usos del sachá inchi en la alimentación animal

Las fuentes alternativas de proteína dan oportunidades para aumentar la eficiencia en el uso de los recursos para alimentación y ofrecen interesantes posibilidades para incrementar la rentabilidad. Según Tang (2017), la torta de sachá inchi surge como una alternativa para sustituir insumos proteicos que conlleven a la disminución de los costos de producción y así ofertar productos a mejores precios. Con el fin de dar uso al subproducto de la extracción de aceite, se incluyó en la ración de algunos animales de interés productivo. Se suministraron porcentajes mínimos, por el alto contenido proteico y disponibilidad, según el requerimiento energético proteico del animal (Torres y Hurtado, 2012).

En investigaciones efectuadas en aves, algunos autores señalan varios inconvenientes presentados en el uso de la torta. En el caso de Tang (2017), utilizó sachá inchi tostada en la dieta de pollos y determinó 2 % de inclusión como valor máximo. Este autor señaló que al utilizar más en la dieta los niveles productivos disminuyeron a causa de hipertrofia pancreática. Reátegui et al. (2015) al incluir 0, 7 y 14 % de torta de sachá inchi precocida en raciones de pollos, encontraron reducción a los 48 días de edad, en la ganancia de peso vivo, consumo de alimento y la conversión alimenticia con el subproducto, independientemente del nivel ( $P < 0.01$ ).

Robles-Huaynate et al. (2014) midieron el efecto de la inclusión 0, 6, 10 y 14 % de torta de sachá inchi en la dieta de aves de postura de la línea Hy Line Brown. Estos autores encontraron disminución del lumen de los espacios sinusoides de los hepatocitos, además de un efecto en los niveles de hematocrito y hemoglobina, lo que evidenció un efecto hepatotóxico en las aves con el mayor porcentaje. Inga et al. (2015) también observaron este último efecto en pollos de

la línea Cobb 500 por el consumo de dietas con inclusión de torta de sachá inchi. En los casos anteriores, los autores atribuyen la presentación de estas evidencias patológicas al efecto deletéreo de glucósidos u otros metabolitos secundarios, presentes en la fuente.

Por otra parte, Reátegui et al. (2015) determinaron el perfil bioquímico de pollos de engorde con tres niveles de inclusión de torta de sachá inchi, 0, 7, 14 % en la ración. No hubo efecto en los perfiles de hemoglobina, albúmina, proteína sérica, pero sí en los niveles de hematocrito y transaminasas. No obstante, los resultados mencionados se encontraron dentro de sus parámetros normales. Tampoco observaron efecto en el peso relativo de los órganos estudiados que fueron hígado, páncreas, bolsa, pulmón y bazo.

Paredes et al. (2015) evaluaron los efectos de la torta de sachá inchi precocida en la estructura histológica del hígado, íleon y el nivel de proteína total en sangre de pollos broilers con 6 % de inclusión. Concluyeron que a este nivel no se afecta la cantidad de proteína total en sangre, sin embargo, produce efectos considerables en el tejido hepático consistente en una megalocitosis, así como la proliferación de canalículos biliares.

En conejos (*Oryctolagus cuniculus*) existen varias investigaciones con granos de sachá inchi. Valdivieso (2015) la utilizó en forma de harina en varios niveles de inclusión (0, 2, 4 y 6 %), en la alimentación de conejos neozelandés del destete hasta el inicio de la vida reproductiva. El autor reportó que con la inclusión del 6 % de harina de sachá inchi incrementaron los rendimientos productivos, lo que se reflejó en una reducción de los costos y una mayor rentabilidad. Se obtuvieron los mejores pesos finales (3.13 kg), ganancia de peso total (2.35 kg), menor consumo de alimento total (8.80 kg.MS<sup>-1</sup>); eficiente conversión alimenticia (3.78); peso a la canal (1.62 kg), rendimiento a la canal (51.73 %) y disminución del costo.kg<sup>-1</sup> de ganancia de peso (1.18 USD). Díaz (2016) enfatizó que se enriquece la carne de conejo con ácidos grasos  $\omega$ -3 mediante el uso de la torta de semilla de sachá inchi como suplemento en su dieta.

Según Guevara et al. (2016) en cuyes, a los 90 días con la inclusión en la dieta de harina de granos de sachá inchi (0, 2, 4, 6 %), se logró la mayor ganancia de peso (353 g) y mayor peso vivo final (983 g) a las 4 semanas posteriores de iniciado el tratamiento con el 4 %. Díaz et al. (2021) emplearon la torta en dietas peletizadas y extruidas para la especie y no observaron diferencias en los indicadores productivos peso vivo y consumo de alimentos entre las formas de presentación del alimento. Además, se observaron altos valores de digestibilidad fecal aparente de nutrientes (materia seca, proteína bruta, fibra bruta y extracto etéreo).

Miranda y Guerrero (2015) plantearon que la torta de sachá inchi es un alimento de uso potencial en la alimentación de las tilapias y otros peces. Estos autores investigaron el efecto de la torta en el comportamiento productivo de juveniles de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). Los animales se alimentaron con dietas en las que se incluyó la torta en los niveles de 0, 5, 10 y 20 % como sustituto parcial de la harina de pescado. Concluyeron que hasta 10 %, no se afecta el comportamiento productivo, en términos de ganancia de peso, tasa específica de crecimiento, tasa de eficiencia proteica e índice hepatosomático.

Vera (2020) refiere que el mejor tratamiento en la alimentación de pacú (*Piaractus brachypomus*), fue el 20 % de torta de sachá inchi. Los peces se cultivaron en estanques naturales y obtuvieron un peso de 231.81 g con una talla de 36.55 cm y un factor de conversión de 2.85. Khen et al. (2022) sustituyeron la harina de pescado por sachá inchi en tilapias del Nilo (29 y 54 %). Los resultados mostraron que no causó diferencias en el crecimiento ni en los índices somáticos (hematocrito y conteo de células rojas). Sin embargo, mejoró la hemoglobina y las células blancas con la oleaginosa en la ración. Además, incrementó la calidad

nutricional al aumentar el contenido de ácidos grasos  $\omega^3$ . Araujo-Dairiki et al. (2018) y Khieokhajokhet et al. (2021) también reportaron beneficios productivos en estudios con juveniles de tambaqui (*Colossoma macropomum*) y matrinxã (*Brycon amazonicus*) y tilapia híbrida (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*), respectivamente, al incluir diferentes niveles de torta de sachá inchi.

De los resultados hasta aquí expuestos, se puede observar que la torta de sachá inchi puede emplearse en la alimentación de animales monogástricos. Sin embargo, son contradictorios los resultados que se obtuvieron en los diferentes estudios realizados, en cuanto a los porcentajes de inclusión en las raciones, lo que está relacionado con la forma de suministrar el alimento, ya sea en forma de harina o de torta e incluso ésta última, dependiendo de los métodos que se empleen en su obtención. De ahí la necesidad de continuar profundizando en los estudios de su empleo en la alimentación del pollo de ceba.

## **1.2. Métodos de obtención de tortas de oleaginosas**

Existen dos métodos que se emplean tradicionalmente para la extracción del aceite de las oleaginosas: con presión mecánica (caliente: 100 °C y frío: 50-60 °C) y con solventes. El término torta se refiere al subproducto que se obtiene directamente del primer procedimiento, mientras que el de harina se usa cuando se utiliza el segundo (Ancuta y Sonia, 2020). Aunque según Arrutia et al. (2020) existe cierta ambigüedad en ambos términos.

Los solventes que se emplean tradicionalmente en el proceso son orgánicos: hexano y n-hexano. Sin embargo, su uso trae daños a la salud, seguridad y preocupaciones medioambientales. Por estas razones, independientemente de su alta eficiencia de extracción, no sólo son dañinos y tóxicos, sino que también conducen a la contaminación del aire (Mwaurah et al., 2019). En los últimos años, se han propuesto métodos modernos conocidos como técnicas

verdes: presión líquida, pulsaciones por campo eléctrico, alta presión hidrostática y descargas eléctricas con alto voltaje. Estos son más rápidos y consumen menos solventes (Mwaurah et al., 2019).

Existen diferencias en la composición química de las tortas conforme el método de procesamiento que se emplee. Según Mannucci et al. (2019), el contenido de proteína de las tortas resultantes de la extracción en frío es menor en comparación con las que emplean altas temperaturas. El contenido de grasas se encuentra en el rango de 6-7 %, en las que se obtienen por presión mecánica, y cuando la extracción es por solventes menos del 1 %.

Las tortas son materiales seguros ya que son subproductos que se obtienen sin gran procesamiento. Sin embargo, si se almacenan inapropiadamente, pueden perder su calidad (cambian de color y olor). Tarek-Tilistyák et al. (2014) observaron que la actividad del agua se mantiene estable durante cuatro meses, tiempo durante el cual no crecen bacterias y hongos. Sin embargo, cambian las concentraciones de los macronutrientes de nueces ya que disminuyen después de un mes y no se afectan los de lino (*Linum usitatissimum*). Son variables los resultados en este sentido de ahí que se necesiten futuras investigaciones para determinar cuáles son los mejores métodos de conservación para cada torta de oleaginosas.

### **1.3. Principales limitaciones del empleo de tortas de oleaginosas en la alimentación de las aves**

Los subproductos que se generan de la obtención de aceite, a partir de semillas de oleaginosas, son las fuentes de aminoácidos más utilizadas en la actualidad para las dietas de animales monogástricos (Arrutia et al., 2020). Su empleo con este fin, además, posee la ventaja de que reduce los grandes volúmenes que se producen. Por esta razón, se contribuye a reducir el impacto negativo de su acumulación en el medio ambiente (Ancuta y Sonia, 2020). Sin embargo, el uso en la alimentación animal va a estar limitada, entre otras, por la presencia de fibra dietética y de metabolitos secundarios, los que se abordan a continuación.

#### **1.3.1. Fibra dietética. Concepto y clasificación**

Las paredes celulares de las plantas son las fuentes principales de fibra dietética (FD) en la mayoría de los alimentos. Se define como un grupo de polímeros carbohidratos (oligosacáridos y polisacáridos) que no se hidrolizan (digieren y absorben) en el intestino delgado por las enzimas digestivas (Ancuta y Sonia, 2020). En esta categoría se incluyen componentes insolubles (celulosa, hemicelulosa, lignina), solubles (gomas, sustancias pécticas y mucilagos), inulina y carbohidratos resistentes (Maphosa y Jideani, 2015).

Es importante tener en cuenta también que la FD no es una parte aislada del vegetal o una simple suma de compuestos aislados. Para Savón (2014), es una unidad biológica que según el tipo de planta o alimento, variará la presencia o proporción en que éstos se combinan entre sí, con sus propiedades intrínsecas. De esta manera, influyen en la fisiología digestiva de los animales que la consuman.

De forma general, se han establecido diferentes clasificaciones de la FD. Según su composición química se puede dividir en tres fracciones (Jha y Berrocoso, 2015):

- Fracción que se degrada de forma rápida y total, formada principalmente por pectina.
- Fracción que se degrada lentamente y de modo parcial, la cual está formada por celulosa y hemicelulosa.
- Fracción de difícil degradación, formada por lignina.

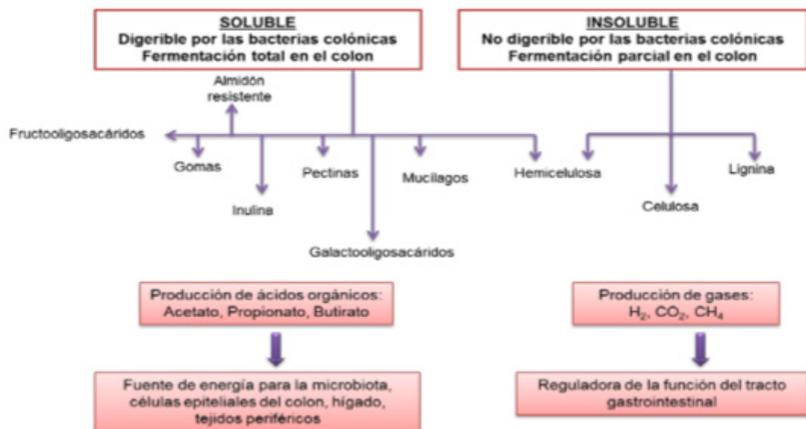
Desde el punto de vista de la fermentación en el intestino grueso, Vilcanqui-Pérez y Vilchez-Perales (2017) la clasificaron en:

- Poco fermentables: fibras ricas en celulosa y lignina que son bastante resistentes a la degradación bacteriana del colon y se expulsan por las heces de forma casi intacta. Muy fermentables: fibras ricas en hemicelulosas (soluble e insoluble), pectinas o almidón resistente. Su degradación es rápida y completa en el colon.

En las especies monogástricas, se asumen los conceptos de fibra dietética soluble (FDS) y fibra dietética insoluble (FDI), de acuerdo al grado de solubilidad en agua (Hua et al., 2019). Estas fracciones se caracterizan por tener efectos fisiológicos diferentes (figura 2). Por esta razón, constituye una necesidad conocer sus componentes cualitativa y cuantitativamente para predecir desórdenes nutricionales y de salud.

## Figura 2.

Clasificación de la fibra dietética de acuerdo a su solubilidad y principales efectos fisiológicos.



**Fuente:** Elaboración propia a partir de lo planteado por Hua et al. (2019).

### 1.3.1.1. Propiedades funcionales de la fibra dietética

Las propiedades fisiológicas de la fibra dietética dependen de una compleja combinación de atributos físicos, químicos y estructurales (Nevara et al., 2021). De manera general, las principales propiedades de la FD con repercusiones nutricionales son la capacidad de hidratación, la viscosidad, la habilidad para absorber compuestos orgánicos y la fermentabilidad.

Las propiedades de hidratación incluyen la capacidad de adsorción del agua (CAA), capacidad de retención del agua (CRA) y la capacidad de hinchamiento (Niknam et al., 2018). Estas determinan en gran medida el destino de la fibra dietética en el tracto digestivo y representan algunos de los efectos fisiológicos. Según Lopez et al. (2013), las fuentes de fibra de tipo soluble son las que tienen mejores propiedades de hidratación por el alto contenido de pectinas. Sin embargo, no es el único factor que influye sobre esta propiedad, pues también dependen del área específica de superficie, porosidad, densidad, tamaño de partículas y la microestructura de la fibra.

Las fibras dietéticas solubles en agua son los constituyentes primarios que incrementan la viscosidad. Existen otros factores como la temperatura, el pH y la concentración de fibra que influyen en esta propiedad (Dhingra et al., 2012). Esta juega un rol importante en los efectos fisiológicos y bioquímicos,

puesto que al formar una estructura tridimensional, reduce el contacto físico entre las enzimas digestivas y los nutrientes que son arrastrados por la materia fecal sin ser digeridos y absorbidos a través del intestino (Vilcanqui-Pérez y Vílchez-Perales, 2017).

La capacidad de adsorción de grasa es otra de las propiedades importantes de la fibra dietética rica en ácidos urónicos y compuestos fenólicos (TejadaOrtigoza et al., 2020). Tienen la capacidad de secuestrar e incluso unirse químicamente a los ácidos biliares, mecanismo que se involucra con su acción hipocolesterolémica. Sin embargo, las condiciones ambientales (tiempo de exposición, pH), las formas físicas, químicas, las propiedades de superficie y la naturaleza de los ácidos biliares también influyen en la capacidad de adsorción. La FD también tiene la capacidad de adsorber a la glucosa y reducir la digestibilidad del almidón, lo que puede ser evaluado mediante pruebas *in vitro* (Ma y Mu, 2016). La lignina, pectina y galactomananos son las fibras con mayor capacidad para unirse a las moléculas orgánicas (Villarroel et al., 2003).

En las especies monogástricas, la degradación de la fibra dietética se limita a la fermentación microbiana que ocurre en el intestino grueso. A partir de ella se producen ácidos grasos de cadena corta que disminuyen el pH del contenido intestinal y promueven el crecimiento de bacterias beneficiosas (Jha y Berrocoso, 2015). Al absorberse, se utilizan para cubrir parte de los requerimientos de la energía de mantenimiento en el animal (Urriola et al., 2013). En las aves, la contribución del aporte es baja con respecto a las necesidades totales (Slominski, 2018). La velocidad de fermentación en el intestino posterior está influenciada por la composición y las características físicas, el grado de lignificación, el tamaño de las partículas y el tiempo de tránsito de la fibra dietética (Jha y Berrocoso, 2015).

La magnitud con que la FD ejerce varios efectos fisiológicos, a lo largo del tracto gastrointestinal de las aves, depende de la forma física y naturaleza química (fuente y procedencia), tipo de fibra de que se trate, procesamiento a que se sometió el alimento, además de la adaptación, características y categoría del animal (edad y peso vivo). En la tabla 2 se muestran las propiedades físicas y diferentes efectos relacionados con el tracto gastrointestinal (TGI).

**Tabla 2.**

*Propiedades físicas de la fibra dietética y efectos relacionados con el tracto gastrointestinal.*

Propiedad física	Efecto en el tracto gastrointestinal	Efecto sistémico
Capacidad de adsorción de agua y viscosidad	Vaciamiento gástrico lento; cambios en el mezclado del alimento; alteración de la actividad de las enzimas digestivas: estimula la velocidad de pasaje	Digestión lenta, especialmente de proteínas y lípidos; reducción del colesterol plasmático; respuesta glicemiantes
Volumen	Distensión gástrica: cambios en el mezclaje y la difusión	Disminuye el consumo de alimentos
Adsorción de compuestos (ej. sales biliares, polifenoles y minerales)	Incremento en la excreción de ácidos biliares y otros compuestos; retención de polifenoles hasta el intestino grueso	Colesterol en sangre; fermentación de los polifenoles
Fermentabilidad	Incremento en la biomasa microbiana y productos finales de la fermentación; induce la selección de microorganismos específicos	Energía para colonocitos; influencia la saciedad; mezclaje fecal; resistencia a la colonización de patógenos

**Fuente:** Williams et al. (2019)

Por lo anteriormente expuesto, se puede inferir que es muy importante la caracterización físico-química de las fuentes alternativas de alimentos como las tortas de oleaginosas. En dependencia de su procedencia y su nivel de inclusión en las raciones para aves, podrían modularse las funciones fisiológicas del TGI.

En un estudio realizado por Wang et al. (2018a), con sachá inchi, se reportó que el contenido de fibra dietética de las semillas es 72.4 % insoluble y 9.0 % soluble. Sin embargo, estos autores señalaron que la información en tal sentido es limitada. Por esta razón, se necesitan estudios que permitan profundizar en el conocimiento de dicha fracción, así como en sus propiedades físicas.

### 1.3.2. Metabolitos secundarios. Clasificación

Los metabolitos secundarios se definen como compuestos químicos resultantes del metabolismo de diversas especies vegetales, que se generan como mecanismo de defensa para protegerse de plagas, bacterias patógenas y microbios fúngicos (Kadam et al., 2021). Estos causan diferentes efectos en los animales que los consumen y pueden aparecer en cualquier parte de la planta incluyendo los frutos y sus raíces.

Según Erdaw y Beyene (2018) los metabolitos secundarios se pueden clasificar en tres categorías principales, basados en la descripción de sus estructuras químicas, en sus efectos biológicos y en su habilidad para resistir los tratamientos con calor. En el primer caso, se agrupan en:

1. Proteínas: inhibidores de proteasas y hemaglutininas (*lectinas*)
2. Glicósidos: glucosinolatos, cianógenos, saponinas y factores estrogénicos
3. Fenoles: gósipol y taninos
4. Diversos: donde se agrupan el resto de las estructuras.

Según sus efectos biológicos, se agrupan en:

1. Digestión y utilización de las proteínas: inhibidores de proteasas, taninos y hemaglutininas (*lectinas*).
2. Utilización de minerales: ácido fítico.
3. Anti-vitaminas y diversos: mimosina, cianógenos y factores estrogénicos.

Considerando su resistencia al calor, Mihrete (2019) planteó que se pueden dividir en dos clasificaciones notables:

1. Sensibles a temperaturas: Proteínas como, por ejemplo, lectinas e inhibidores de proteasas.
2. Estables o resistentes a temperaturas y que incorporan, entre muchos otros, mezclas polifenólicas (principalmente taninos condensados), aminoácidos no proteicos y gomas de galactomanano.

#### 1.3.2.1. Mecanismos fisiológicos en los que inciden los metabolitos secundarios en aves

Los tipos de metabolitos secundarios presentes en las tortas de oleaginosas son varios (Woyengo et al., 2017; Gupta et al., 2018 y Arrutia et al., 2020). La tabla 3 muestra un resumen de los principales y algunos de sus efectos. En dependencia de la concentración, estructura química y biodisponibilidad de estos

compuestos, así como de la especie animal, estado nutricional, sexo y procesos digestivos de la especie, pueden tener efectos beneficiosos o antinutricionales en el animal (Ojha et al., 2014).

Los inhibidores de proteasas se unen a las enzimas digestivas tripsina y quimotripsina en el tracto gastrointestinal y forman compuestos inactivos, los que reducen la digestibilidad de los aminoácidos. De esta manera, ocurre un mecanismo de retroalimentación que incrementa la secreción de estas enzimas en el tracto gastrointestinal, lo que requiere del aumento de la actividad metabólica y, como consecuencia del peso del páncreas (Mihrete, 2019). Así, pueden reducir la digestibilidad de los nutrientes y la velocidad de crecimiento de las aves, ya que se hace mayor el gasto energético a expensas del crecimiento (Woyengo et al., 2017).

**Tabla 3.**

*Principales metabolitos secundarios en tortas de oleaginosas y su efecto en el animal.*

Tipo	Torta de oleaginosa	Efecto
Sinapina	Colza/canola	Color oscuro, sabor indeseable, indigestibilidad, bajo valor nutricional
Ácido fítico	Colza/canola, sésamo, girasol, soya, maní, cáñamo	Disminuye la biodisponibilidad de aminoácidos y la absorción y digestión de proteínas y carbohidratos. Disminuye la disponibilidad de calcio y magnesio por formar quelatos
Taninos	Soya, sésamo, girasol, maní, colza, cáñamo	Astringente, inhibe la absorción de proteínas, desbalance de aminoácidos
Saponinas	Soya, girasol y cáñamo	Hemólisis, interfiere en los ácidos biliares, vitaminas liposolubles, colesterol y lípidos dietarios
Glucosinolatos	Colza/canola, cáñamo	Reduce el consumo de alimentos, daña la función de la tiroides, aumento del hígado
Glicósidos cianogénicos	Cáñamo, lino	Deficiencia de piridoxina (B6)
Ácido clorogénico	Girasol	Indigestibilidad de la proteína, altera las propiedades organolépticas, la estabilidad y el tiempo de almacenamiento del alimento
Inhibidores de tripsina	Soya, girasol, sésamo, maní, cáñamo, lino	Reduce la digestibilidad de la proteína

**Fuente:** Ancuta y Sonia (2020)

Las saponinas son glicósidos compuestos por una aglicona soluble en lípidos que se compone de un esteroide o de una estructura triterpenoide asocia-

da a depósitos de azúcares solubles en agua que varían en su tipo y cantidad (Mihrete, 2019). Son compuestos que se encuentran en la superficie activa de las membranas por lo que median el transporte (Jithender et al., 2019). Algunas forman estructuras insolubles y se sabe que se unen a miscelas que incluyen ácidos biliares y colesterol.

Durante la digestión, las saponinas forman cianuro de hidrógeno, lo que causa toxicidad. Este se une e inactiva varias metalo-enzimas, como la citocromo C oxidasa, que está involucrada en el metabolismo del oxígeno y puede causar hipoxia (Petrikovics et al., 2015). Además, se detoxifica por el hígado y los riñones, de ahí que su consumo excesivo puede causar aumento y necrosis de ambos órganos. En aves, deben emplearse niveles por debajo de  $3 \text{ mg.kg}^{-1}$  en la dieta (Woyengo et al., 2017), ya que pueden afectar adversamente el comportamiento productivo y la utilización de nutrientes.

Los compuestos fenólicos se clasifican en dependencia de su esqueleto estructural. Su naturaleza varía desde moléculas simples, como los ácidos fenólicos, hasta compuestos de naturaleza polimérica, como las proantocianidinas (Scull, 2018). En los sistemas biológicos se informan indistintamente efectos beneficiosos (Piñeiro-Vázquez et al., 2015) y perjudiciales (Addisu, 2016). Según Motta et al. (2013), los alimentos ricos en compuestos fenólicos pueden actuar como antioxidantes, antimicrobianos y antivirales.

Varias investigaciones observaron impactos negativos de los polifenoles en el comportamiento productivo de las aves cuando se adicionan a las dietas en altas concentraciones (Mateos et al., 2019). El efecto se atribuye a una disminución de la digestión de las grasas y la proteína a través de dos mecanismos: por unión a las sales biliares o por inactivación de las enzimas digestivas o incluso ambos. Según You et al. (2011) y Yilmazer-Musa et al. (2012), los polifenoles inhiben la actividad de  $\alpha$ -glucosidasa,  $\alpha$ -amilasa y lipasas pancreáticas. La reducción en estas actividades se atribuye a que los polifenoles del alimento se unen con las proteínas endógenas y forman complejos insolubles. También se observó reducción de algunos elementos traza como hierro, zinc y cobre (Abdel-Moneim et al., 2020).

El ácido fítico se presenta principalmente en las semillas oleaginosas en forma de fitato de calcio, magnesio o potasio. Estos forman complejos con las proteínas y así disminuyen su funcionalidad. Además, intervienen en la absorción de los minerales del alimento (Jithender et al., 2019).

Según Sá et al. (2021), el proceso de extracción de aceite en las semillas de oleaginosas elimina algunos metabolitos secundarios. Los autores plan-

tearon, además, que esto no excluye que existan diferencias intrínsecas entre ellas, debido al clima, el tipo de suelo, el sitio de producción, las prácticas culturales, entre otras.

En la torta de sachá inchi se reportan saponinas y taninos en concentraciones de 1 062.10 y 6.35 mg. 100 g<sup>-1</sup> de muestra seca, respectivamente, los que son superiores a los de la semilla (Ruiz et al., 2013). El contenido de fenoles totales en 16 cultivares varía de 64.6 a 80.0 mg equivalente de ácido gálico. 100 g<sup>-1</sup> de muestra seca (Chirinos et al., 2013). Según Wang et al. (2018a), la concentración de estos últimos puede variar dependiendo del tratamiento térmico al que se procese la semilla.

#### **1.4. Digestibilidad de alimentos para animales monogástricos**

Según McDonald et al. (2006) y Osorio-Carmona et al. (2012), la digestibilidad del alimento es la capacidad de un principio inmediato (nutriente, aminoácido en particular, o a un conjunto de compuestos agrupados en los términos del sistema de análisis proximal, o sistema Weende) de ser asimilado o absorbido por un animal, y que no se excreta en las heces. Se mide como la diferencia entre el total del alimento ingerido y la cantidad de heces totales que se producen en un tiempo determinado en base seca (Atchade et al., 2019):

##### **Digestibilidad (%)= \*100**

La determinación de la digestibilidad permite viabilizar la inclusión de una gran variedad de productos y subproductos de la agroindustria en raciones para la alimentación animal (Parsons, 2020). Ordóñez et al. (2015) consideraron que la combinación de conocimientos sobre la composición química y la digestibilidad de un alimento a utilizar en la formulación de una ración, permite precisar los cálculos de su contribución en términos de nutrientes y de energía y, de igual manera, estimar la proporción no digerible que será eliminada con las heces. Al no considerar los aspectos anteriormente citados, se puede subvalorar o sobrevalorar el valor nutritivo de un alimento y así cometer errores al balancear la dieta, con efecto directo en la salud y el desempeño de los animales que la consumen (Secombe y Lester, 2012).

Cuando no se tiene en cuenta en el estudio de digestibilidad, las secreciones endógenas y las transformaciones que tienen lugar durante la digestión, y que se pueden excretar por vía fecal, se denomina digestibilidad aparente. Las formas de medir este indicador en cualquier especie animal pueden dividirse en aquellas que se hacen in vivo, o sea, con la participación de los

animales y las denominadas *in vitro*, que simulan la digestión en condiciones de laboratorio, sin la participación directa de los animales. Estas últimas son menos costosas, requieren menos tiempo para su realización, y favorecen mejor control de las condiciones experimentales. Sin embargo, para que sean eficientes, deben ser fácilmente reproducibles y estar altamente correlacionadas con indicadores *in vivo* (Kasprzak et al., 2016).

Domínguez et al. (2009) especifican que según el lugar de colecta de la muestra se determina el tipo de digestibilidad: “Digestibilidad ileal” cuando se obtiene la muestra antes de la válvula ileocecal y “Digestibilidad fecal” cuando se colectan las heces.

#### **1.4.1. Determinación de la digestibilidad ileal de aminoácidos**

Parsons (2020) manifestó que existen varios métodos: desde el uso de pollos colostomizados, donde las heces y la orina se colectan separadamente, hasta los que involucran el animal intacto, donde se utiliza la excreta (heces + orina). Sin embargo, estos tienen como desventaja el uso de procedimientos quirúrgicos que, además de ser costosos, consumen tiempo. Además, los aminoácidos (AA) dietarios pueden sufrir cambios en su tránsito por el intestino grueso, degradándose o sintetizándose por acción de la biota microbiana (Gilbert et al., 2018), por lo que pudieran sobreestimarse los valores de digestibilidad.

Ravindran y Bryden (1999) propusieron un método que involucra el sacrificio de los animales, a partir del cual se colecta el contenido ileal desde el divertículo de Meckel hasta la unión íleo-cecal. De esta manera, el estudio de la digestibilidad ileal de AA mide la digestibilidad de origen enzimático que se lleva a cabo en el intestino delgado (Ravindran y Abdollahi, 2021).

Durante la digestión de la ingesta existe una continua entrada de proteínas endógenas, que se secretan en forma de enzimas digestivas, bilis, desprendimiento de la mucosa y decamación de enterocitos en la luz del intestino. El aporte es copioso y se estima que puede ser hasta cuatro o cinco veces mayor que la cantidad de proteínas que se ingieren (Ravindran, 2021). Estas se mezclan con las de origen dietético, se digieren y los AA, resultantes se absorben, lo que interfiere en su digestibilidad. La porción endógena no absorbida, que pasa más allá del íleon, se pierde fundamentalmente para el animal y se conoce como pérdidas inevitables y obligatorias (Cerrate et al., 2018).

Por esta razón, muchos laboratorios en la actualidad expresan o calculan los valores como digestibilidad ileal estandarizada de AA donde las pérdidas endógenas se estiman a partir de una dieta libre de nitrógeno. La ventaja de

este ensayo es que no requiere cirugía y su mayor desventaja es su alto costo y consumo de tiempo (Parsons, 2020).

Cuando los valores de digestibilidad se calculan sin tomar en cuenta las pérdidas endógenas, el coeficiente de digestibilidad se conoce como digestibilidad ileal aparente. Sin embargo, si se corrige para pérdidas endógenas basales y específicas, esta digestibilidad se conoce como digestibilidad ileal verdadera (true ileal digestibility). Una de las limitantes de esta metodología es su complejidad ya que es difícil y variable medir las pérdidas específicas del alimento de forma rutinaria (Stein et al., 2007).

Para el estudio de la digestibilidad ileal de AA, se requiere del uso de marcadores dietarios. Estos deben tener como características que sean inertes, totalmente indigeribles y con una tasa de evacuación igual a la del contenido estomacal, así como que se puedan determinar fácilmente en el laboratorio (Kim et al., 2020; Roza et al., 2021). Además, no debe afectar la palatabilidad de la dieta, secretarse, digerirse o metabolizarse en su paso por el tracto digestivo, ni modificar la microbiota del tracto digestivo o causarle algún daño al animal (Prawirodigdo et al., 2019). Los cálculos se realizan con la siguiente ecuación utilizada por (Castro et al., 2020 y Nalle y Ravindran, 2021):

$$\text{Digestibilidad ileal, \%} = \frac{(\text{aminoácido o PB/marcador})_d - (\text{aminoácido o PB/marcador})_i}{(\text{aminoácido o PB/marcador})_d}$$

Donde: D A= Digestibilidad ileal aparente; M d= Concentración del marcador en la dieta (%); N f= Concentración del nutriente en la digesta ileal (%); Nd = Concentración del nutriente en la dieta (%); M f= Concentración del marcador en la digesta ileal (%).

Los marcadores más empleados para mezclar con los alimentos son el cromo en forma de óxido de cromo (Cr2O3), el titanio (TiO2) y la ceniza ácido insoluble (Wang et al., 2018b). En estudios realizados por Monforte-Braga et al. (2006), donde se compararon los dos primeros, se observó que el TiO2 es más conveniente para este tipo de estudios para aves debido a que el cromo presenta problemas con el recobrado y la digestibilidad ileal de AA que se obtuvieron al analizar maíz, sorgo, gluten de maíz, cebada de trigo y harina de soya, pescado y de carne y hueso, fueron mayores y menos variables cuando se empleó el titanio.

### **1.4.2. Métodos para determinar la retención fecal aparente de nutrientes en aves**

Al excretar conjuntamente las heces y la orina, es particularmente difícil determinar la digestibilidad de los nutrientes y, por este motivo, en la alimentación de aves se utiliza el término retención fecal aparente de nutrientes (Choi et al., 2013; Siegerstetter et al., 2018). Para la determinación de esta, existen dos métodos posibles: el método de recolección total, consistente en la recolección cuantitativa de las heces emitidas que corresponden a uno o muchos alimentos, y el método con indicador, desarrollado para obviar los problemas de la recolección cuantitativa cuando se usa un marcador (Mutucumarana et al., 2014).

El método de recolección total puede usarse para evaluar diferentes alimentos, ya que cuantifica los nutrientes que aporta la dieta y se excretan en las heces, y por diferencia obtener el porcentaje de nutrientes que asimila el organismo (Smeets et al., 2015). El proceso de recolección de las heces se debe realizar en dos sesiones (mañana y tarde) y cuidar que las excretas no se contaminen con plumas. Las principales desventajas de este método son la necesidad de tomar la totalidad del material fecal que se excreta y que no todos los elementos excretados correspondan a los incorporados por la ración diaria de alimento (Yuesheng, 2008; Dourado et al., 2010). Además, se hace necesario tener en cuenta el empleo de un número significativo de animales, instalaciones apropiadas y mayor periodo de trabajo.

El método con indicador presenta como ventaja que no se necesita de una recolección total, por lo que disminuye el volumen de muestras a manipular y se pueden determinar eficientemente los indicadores digestivos con disminución de los costos (Moss et al., 2018). Se debe tener presente el tiempo de recolección para garantizar la representatividad de la muestra, número de recolecciones y su recuperación en las excretas, ya que el marcador debe aumentar su concentración desde cero hasta hacerse constante (Kim et al., 2020).

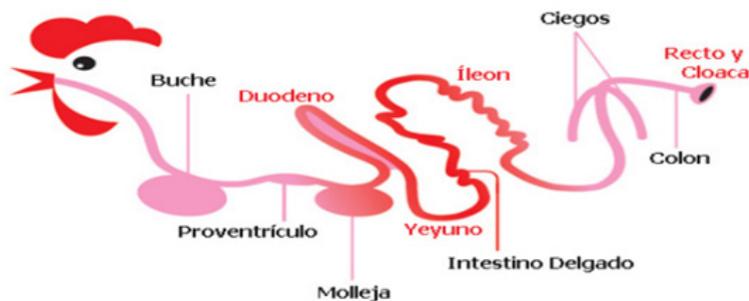
### **1.5. Adaptaciones en el funcionamiento del tracto digestivo de las aves**

El tracto digestivo de las aves actuales se adaptó a los cambios que se derivan de la cría intensiva por número de huevos en las gallinas ponedoras y ganancia de peso para los pollos. En el caso de estos últimos, un animal de 30 días de edad consume alrededor de 10 % de su peso vivo por día y el tracto digestivo tiene por tanto que procesar algo más de 7 g de alimento por

hora (Ravindran y Abdollahi, 2021). En la figura 3 se muestran los órganos del tracto gastrointestinal de las aves.

### Figura 3.

Órganos del tracto digestivo de las aves.



Fuente. (Ravindran y Abdollahi 2021)

El buche posee el papel principal como órgano de almacenamiento en condiciones de alimentación discontinua y no está implicado en la regulación del consumo (Svihus et al., 2013). Svihus (2014) planteó que cuando la alimentación es *ad libitum* se reduce su uso ya que comen cantidades pequeñas cada media hora. Aunque se necesita más información, esto indica que se adaptan a un hábito *by-pass* a diferencia de cuando se adaptan a alimentación intermitente, donde tienden a un almacenamiento transitorio de cantidades significativas de alimento.

En las aves, el estómago consta de dos compartimientos: el proventrículo o glandular y la molleja o muscular. El primero, secreta mucus, ácido clorhídrico y pepsinógeno, mientras que el segundo tiene una función mecánica y es el sitio de la proteólisis gástrica (Denbow, 2015). Esto se debe a que el tiempo medio de retención en ambos compartimientos se estima entre 30 y 60 minutos (Svihus, 2014).

La molleja posee capas de músculo bien desarrolladas que generan contracciones peristálticas vigorosas e incrementa los reflujos dentro del tracto digestivo, re-exponiendo la digesta al ácido clorhídrico y la pepsina, lo que facilita su mezclaje con las enzimas digestivas (Abdollahi et al., 2019). Además, posee gran capacidad para retener selectivamente partículas largas y duras mientras que deja pasar las pequeñas y solubles muy rápidamente. Es por ello, que cuando se emplean materiales fibrosos insolubles en la alimentación generalmente aumenta su peso (Tejeda y Kim, 2021).

El intestino delgado se divide en duodeno, yeyuno e íleon. Sin embargo, existe un lazo que diferencia al primero y los otros dos, aunque no están visiblemente demarcados, frecuentemente se utiliza el divertículo de Meckel para separarlos. En este órgano es donde se lleva a cabo la verdadera digestión del alimento (Reece y Trampel, 2015). En él convergen las secreciones pancreáticas y biliares, provenientes del páncreas e hígado, respectivamente. Además, las células intestinales que secretan mucus y enzimas contribuyen al proceso de digestión.

La bilis que produce el hígado está compuesta por ácidos biliares y sales, fosfolípidos, colesterol, pigmentos, agua y electrolitos (Tancharoenrat et al., 2014). Esta es necesaria para la digestión de los lípidos. El páncreas secreta enzimas como tripsina, quimotripsina, amilasa y lipasa. Su constitución cambia en respuesta al consumo de alimento y a la composición de la dieta (Ravindran y Abdollahi, 2021). Finalmente, las enzimas responsables del último paso de la digestión de carbohidratos y proteínas, que ocurre en la membrana del enterocito, son glucosidasas, peptidasas y fosfatasas (Denbow, 2015).

Otra particularidad del aparato digestivo de las aves es la presencia de dos ciegos que se encuentran en la unión del íleon con el colon en forma de sacos (Elling-Staats et al., 2021). El tipo de material que entra al ciego son partículas finamente molidas y/o moléculas solubles, de bajo peso molecular, no viscosas, de origen ileal y renal (Svihus, 2014). Existen movimientos antiperistálticos del colon que transportan material hasta este compartimiento. Otra función importante es la absorción de agua y electrolitos (Angel et al., 2013).

El tracto gastrointestinal aviar está colonizado por 10 billones de microorganismos que contribuyen al funcionamiento armónico y normal del organismo. El microbioma cecal es único y dinámico (Elling-Staats et al., 2021). Según Binek et al. (2017), en los pollos existen al menos 13 tipos diferentes de bacterias que se identificaron, donde el 90 % está representado por firmicutes, *bacteroidetes* y *proteobacteria*. Aproximadamente 900 especies de microorganismos pertenecen a 117 géneros. Los más numerosos son *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Lactobacillus* y *Bacteroides*. Ellos juegan un importante papel en los procesos de digestión y absorción y en el mantenimiento de un buen estado de salud del organismo en general (Zajac et al., 2021).

Producto del proceso de fermentación microbiana dentro del ciego, se generan ácidos grasos de cadena corta: principalmente acetato y adicionalmente, propionato y butirato. Estos contribuyen a cubrir entre 11-18 % de la energía necesaria para el metabolismo basal aviar, son reguladores del siste-

ma inmune y la proliferación celular (Adebowale et al., 2019). Además, el butirato ejerce su función como fuente de energía para los colonocitos y también se transporta a la circulación periférica, donde actúa en diferentes órganos y tejidos. Son moléculas señalizadoras y regulan diferentes procesos biológicos, que incluyen la integridad del tracto digestivo y la reducción de la población de bacterias patogénicas.

El colon une al íleon con la cloaca, donde convergen los aparatos reproductivo y digestivo. En él ocurre la absorción de agua y electrolitos que contribuyen al equilibrio hidroelectrolítico del ave (Sperandio, 2013).

La velocidad de pasaje o tiempo de retención influyen la digestión y absorción de nutrientes. Cuando es baja (menor de 240-273 minutos), existe mayor permanencia de la digesta en el tracto gastrointestinal, por lo tanto, mayor tiempo de contacto entre las enzimas digestivas y el sustrato, así como productos de digestión (Svihus e Itani, 2019). Sin embargo, cuando se emplea fibra insoluble, es más rápida, incrementa la viscosidad y, subsecuentemente, disminuye la digestibilidad de los nutrientes e incluso la de los aminoácidos (Hanafiah et al., 2020).

El conocimiento de las características adaptativas del sistema digestivo aviar es esencial. Permite explicar las respuestas productivas de los animales y la incidencia que sobre su salud pueda tener el uso de cualquier nuevo alimento.

De los aspectos revisados en la literatura, se pudo constatar que la sachá inchi, posee características nutritivas que permita su inclusión en las dietas destinadas a la alimentación animal. Sin embargo, escasean los estudios donde se aborde la relación entre los procesos fisiológicos y productivos de su empleo, así como la factibilidad económica que le permitan de manera integral valorar su propuesta para la alimentación avícola.

Sacha inchi (***Plukenetia volubilis***)  
su aporte nutricional y económico en la  
**PRODUCCIÓN ANIMAL**

## **Capítulo 2**

Metodología utilizada para elaborar la  
torta de sacha inchi



## 2.1. Introducción del capítulo



La principal finalidad del sachá inchi. (*Plukenetia volubilis* L), su principal finalidad es la obtención del aceite, que genera un subproducto rico en proteínas denominado “torta”. Este residuo tiene un potencial en la industria alimentaria, pero presenta compuestos antinutricionales que impiden su aprovechamiento correctamente, para ello es necesario emplear procesos adecuados que incrementen la calidad de sus proteínas, Alvarado (2014) y Mercado et al. (2015), mencionan que estos factores pueden ser eliminados en los procesos de obtención de aislados y concentrados proteicos.

Aquino (2015), en su investigación “Optimización del proceso de extracción de las proteínas de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), obtuvo aislados proteicos optimizando los parámetros de la extracción alcalina y la extracción enzimática asistida a partir de la torta desgrasada de sachá inchi, logrando por el método de extracción alcalina un rendimiento máximo de 30.2 g de proteína solubles/100 g de proteína total y por el método de extracción enzimática asistida obtuvo un rendimiento máximo de 44.8 g de proteínas soluble/100 g de proteína total.

Así mismo, Alvarado (2014), en su estudio denominado “Obtención, caracterización fisicoquímica, caracterización electroforética y digestibilidad del aislado proteico del residuo agroindustrial de *Plukenetia volubilis* (sachá inchi)”, concluye que se puede usar los residuos agroindustriales del sachá inchi para la producción de aislados proteicos, los cuales podrían ser utilizados como suplementos de otros alimentos como bebidas para deportistas,

embutidos, salchichas, sopas y productos deshidratados. El aislado proteico obtenido tiene coloración beige claro, no presenta olor, ni sabor y posee una textura muy fina. Muestra un contenido de proteínas de 94.2 % y 3.35 % de humedad, absorción de agua máxima de 2.35 ml de agua/g de aislado proteico y absorción de aceite máxima de 1.43 ml de agua/g de aislado proteico. Además de la caracterización de proteínas por solubilidad, se determinó la presencia de cuatro tipos de proteínas: albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas.

Del mismo modo, Mercado et al. (2015), en su investigación titulada “Protein isolated from cake of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) and evaluation of its techno-functionals properties”, evaluaron las propiedades tecno-funcionales del aislado proteico a partir de la torta de sacha inchi obteniendo: solubilidad (máxima a 99.4 % a pH 11 y mínima a 18.7 % a pH 6), capacidad de absorción de aceite (1.39 g de aceite/g aislado proteico), capacidad de emulsificación (59.1 %), capacidad de formación de espuma (55 % a 1 % concentración de aislado proteico y pH 8), 3 estabilidad de espuma (33.7 % a 1 % concentración de aislado proteico a pH 8 y 120 min). Las propiedades tecno-funcionales con valores bajos fueron: capacidad de gelificación (15 %) y capacidad de retención de agua (1.84 g agua/g aislado proteico).

El cultivo del Sacha inchi se realizó en la zona de San Vicente provincia de Manabí, Ecuador. Se sembró en suelo limo arcilloso y época lluviosa (enero-abril de 2018) cuyo promedio de precipitaciones oscila entre los 700 y 1 200 mm. Se realizaron actividades de deshierbe y control de malezas durante su establecimiento. La semilla se recolectó a los 8 meses de sembrada.

La elaboración de la torta se llevó a cabo en la planta de Triomega, que se localiza en el cantón San Vicente. Las semillas se descascararon parcialmente y se limpiaron mediante ventilación y zarandeo para eliminar impurezas. La extracción del aceite se realizó con la ayuda de una prensa cilindro extractor, a temperatura de 75 °C. Posteriormente, se realizó una re-extracción y la temperatura se elevó hasta 102 °C. Este procedimiento garantiza el 95 % de extracción del aceite.

La torta resultante, procedente del mismo lote, se obtuvo en forma de pellets (figura 5 A), con diámetro inferior a 3 mm. Se dejó enfriar y se almacenó en sacos de nailon, separados del suelo por pallets, con el propósito de evitar la humedad. Se mantuvo bajo techo en nave ventilada durante 22 días. Transcurrido este tiempo, los pellets se molieron en molino de cuchillas artesanal (figura 5 B). La torta en forma de harina, se empleó en la elaboración de las dietas experimentales.

**Figura 4.**

A. Torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en forma de pellets, procedente de la extracción de aceite. B. Torta de sachá inchi en forma de harina.



**Fuente:** Los autores

Debido al alza de los precios de las fuentes proteicas en el mercado internacional, se necesitan alternativas menos costosas. Las tortas de oleaginosas, en la actualidad, incrementan su disponibilidad para la alimentación animal (Woyengo et al., 2016). Sin embargo, para su introducción se hace necesario el estudio de sus características químicas, la cual comprende, entre otras, su composición bromatológica.

Como fuentes alternativas de alimentos poseen, al menos, dos desventajas que limitan la inclusión en las formulaciones: el contenido de fibra y la presencia de metabolitos secundarios (Drazbo et al., 2019). Con respecto a la primera, se necesita del conocimiento de su calidad nutritiva que incluye no sólo la composición química, sino también las propiedades físicas. Estas permiten predecir sus efectos en las funciones gastrointestinales y metabólicas del organismo animal (Mudgil y Barak, 2013).

La torta de sachá inchi es un subproducto de la extracción de aceite a partir de la semilla. En Ecuador se producen volúmenes grandes, lo que permitiría su empleo en la alimentación animal. Sin embargo, existen diferencias en cuanto al método de procesamiento (Benítez et al., 2018), lo que da como resultado variaciones en la composición química y calidad en el residuo. Es por ello que el objetivo del presente capítulo fue determinar la composición química y las propiedades físicas de la fracción fibrosa de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.).

Se recolectaron cinco muestras del centro de acopio de la planta Triomega que se describe en este capítulo. Todas fueron del mismo lote y se tomaron de cinco sacos diferentes. Para ello, se esparció su contenido en una superficie limpia y plana, de manera aleatoria. Se siguió el procedimiento de las cuatro puntas y el centro para conformar una mezcla de aproximadamente 1 kg. Estas se enviaron al laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Ecuador, para los análisis químicos y a la Unidad Central de Laboratorios (UCELAB) del Instituto de Ciencia Animal, Cuba, para la determinación de las propiedades físicas.

La composición química de la torta de sachá inchi se determinó siguiendo los procedimientos descritos a continuación.

## 2.2. Determinaciones químicas

Se determinaron los contenidos de materia seca (MS), proteína bruta (PB), extracto etéreo (EE), cenizas y fibra bruta (FB), a partir de la metodología descrita por la AOAC (2019). La fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa y lignina se determinaron según Van Soest et al., (1991).

### 2.2.1. Animales y tratamientos

Se utilizaron pollos de ceba machos de 1 día de edad de la línea Cobb 500 (Cobb500, 2015). Se alojaron en jaulas (figura 6 A) para los experimentos de digestibilidad ileal y retención fecal aparente de nutrientes, en tanto para el estudio de indicadores productivos y morfométricos se criaron en piso (figura 6 B). Desde su llegada y durante los tres primeros días dispusieron de iluminación las 24 horas. Para ello se utilizaron bombillas de 100 watts. A partir de este periodo, se restó una hora sin luz hasta los 42 días de edad. Los animales se sometieron a las dietas experimentales en los periodos de inicio, crecimiento y acabado (1-21, 22-35 y 36-42 días de edad, respectivamente).

### Figura 5.

*Alojamiento de los pollos de ceba Cobb 500 en jaulas.*



**Fuente:** Los autores

Los tratamientos consistieron en cuatro dietas, las cuales se formularon según los requerimientos establecidos por la Cobb 500 (2015) para esta categoría de aves (tablas 4-6). La torta de sachá inchi sustituyó a la torta de soya en 10, 20 y 30 % respecto al control donde no se utilizó. Durante este período los animales también dispusieron de agua a libre voluntad, que fue tratada con hipoclorito de sodio al 0.1 %.

Los lotes de pollos se vacunaron contra Marek y Bronquitis en la planta de incubación. Se aplicó la vacuna contra Gumboro a los 7 y 14 días de nacidos y Newcastle a los 7 y 21 (primera y segunda dosis, respectivamente). Para el sacrificio de los animales se empleó el método de desangrado por la vena yugular (Sánchez, 1990).

### 2.2.2. Análisis estadísticos

Se utilizó diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos que consistieron en las cuatro dietas experimentales. Las repeticiones fueron diferentes para cada experimento y se describen en cada capítulo. Para el análisis de los resultados se utilizó el paquete estadístico computarizado INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2012). Los valores medios se compararon mediante la dócima de Duncan (1955) para  $p < 0.05$ , en los casos necesarios.

#### Tabla 4.

*Dietas experimentales correspondientes al período de inicio (1-21 días de edad).*

Ingredientes (%)	Nivel de sustitución por sachá inchi, %			
	0	10	20	30
Harina de maíz	55.50	55.52	55.55	55.75
Torta de soya (44%)	37.50	34.20	31.00	27.50
Torta de sachá inchi	0	3.75	7.50	11.25
Polvillo de arroz	1.50	1.50	1.50	1.50
Aceite de palma	1.50	1.00	0.45	0
Biofos <sup>1</sup>	1.40	1.40	1.30	1.30
Carbonato de calcio	1.40	1.43	1.50	1.50
Premezcla minero-vitáminica <sup>2</sup>	1.20	1.20	1.20	1.20
Composición calculada (%)				
PB	21.78	21.84	21.95	21.93
EM (MJ/kg)	12.76	12.76	12.75	12.76

FB	3.83	3.88	3.94	3.99
Ca	0.89	0.91	0.92	0.93
P	0.41	0.42	0.42	0.43

<sup>1</sup>Calcio: 18 %, Fósforo: 21 % <sup>2</sup>Composición: vitam. A, 8 000 UI; vitam. D<sub>3</sub>, 16 000 UI; vitam. E, 6 400 UI; vitam. K<sub>3</sub>, 190 mg; vitam. B<sub>1</sub>, 127 mg; vitam. B<sub>2</sub>, 317 mg; vit. B<sub>3</sub>, 1 700 mg; vitam. B<sub>5</sub>, 500 mg; vitam. B<sub>6</sub>, 190 mg; vitam. B<sub>9</sub>, 32 000 mg; biotina, 1 900 mg; vitam. B<sub>12</sub>, 825 mg; yodo, 95 mg; manganeso, 5 000 mg; hierro, 1 900 mg; cobre, 190 mg; cobalto, 12 600 mg; selenio, 5 700 mg; zinc, 1 100 mg; metionina, 320 mg; Lisina, 190 mg; treonina, 80 mg; enzimas, 36 mg; aditivos, 36 mg; zinc orgánico, 25 mg; anticoccidial, 36 mg; promotor de crecimiento, 14 mg; atrapador de micotoxinas, 100 mg; colina, 1 000mg, emulsionante, 42 mg.

**Fuente:** Los autores

**Tabla 5.**

*Diets experimentales correspondientes al período de crecimiento (22-35 días de edad).*

Ingredientes (%)	Nivel de sustitución por sachá inchi, %			
	0	10	20	30
Harina de maíz	60.00	60.50	58.90	58.26
Torta de soya (44 %)	32.54	29.40	26.49	24.00
Torta de sachá inchi	0	3.25	6.58	9.76
Polvillo de arroz	2.70	2.70	4.20	4.20
Aceite de palma	0.85	0.30	0	0
Biofos <sup>1</sup>	1.45	1.40	1.33	1.25
Carbonato de calcio	1.26	1.25	1.30	1.33
Premezcla minero-vitamí- nica <sup>2</sup>	1.20	1.20	1.20	1.20
Composición calculada (%)				
PB	20.06	20.03	20.16	20.29
EM (MJ/kg)	12.85	12.85	12.85	12.92
FB	3.68	3.72	3.88	3.94
Ca	0.84	0.83	0.84	0.84
P	0.42	0.42	0.42	0.42

<sup>1</sup>Calcio: 18 %, Fósforo: 21 % <sup>2</sup>Composición: vitam. A, 8 000 UI; vitam. D<sub>3</sub>, 16 000 UI; vitam. E, 6 400 UI; vitam. K<sub>3</sub>, 190 mg; vitam. B<sub>1</sub>, 127 mg; vitam. B<sub>2</sub>, 317 mg; vit. B<sub>3</sub>, 1 700 mg; vitam. B<sub>5</sub>, 500 mg; vitam. B<sub>6</sub>, 190 mg; vitam. B<sub>9</sub>, 32 000 mg;

biotina, 1 900 mg; vitam. B<sub>12</sub>, 825 mg; yodo, 95 mg; manganeso, 5 000 mg; hierro, 1 900 mg; cobre, 190 mg; cobalto, 12 600 mg; selenio, 5 700 mg; zinc, 1 100 mg; metionina, 320 mg; Lisina, 190 mg; treonina, 80 mg; enzimas, 36 mg; aditivos, 36 mg; zinc orgánico, 25 mg; anticoccidial, 36 mg; promotor de crecimiento, 14 mg; atrapador de micotoxinas, 100 mg; colina, 1 000 mg, emulsionante, 42 mg.

**Fuente:** Los autores

**Tabla 6.**

*Diets experimentales correspondientes al período de finalización (36-42 días de edad).*

Ingredientes (%)	Nivel de sustitución por sachá inchi, %			
	0	10	20	30
Harina de maíz	62.60	63.00	62.93	62.80
Torta de soya (44 %)	29.[1]0	26.16	23.75	21.32
Torta de sachá inchi	0	2.91	5.82	8.73
Polvillo de arroz	2.10	2.10	2.10	2.10
Aceite de palma	2.55	2.[2]0	1.80	1.50
Biofos 1	1.30	1.25	1.20	1.15
Carbonato de calcio	1.15	1.18	1.20	1.20
Premezcla minero-vitamínica <sup>2</sup>	1.20	1.20	1.20	1.20
Composición calculada (%)				
PB	18.64	18.54	18.65	18.75
EM (MJ/kg)	13.36	13.39	13.38	13.40
FB	3.43	3.45	3.51	3.56
Ca	0.76	0.77	0.77	0.77
P	0.38	0.38	0.38	0.38

Calcio: 18 %, Fósforo: 21 % Composición: vitam. A, 9 900 UI; vitam. D3, 2 000 UI; vitam. E, 8 UI; vitam. K<sub>3</sub>, 2.4 mg; vitam. B<sub>1</sub>, 1.6 mg; vitam. B<sub>2</sub>, 4 mg; vit. B<sub>3</sub>, 22 mg; vitam. B<sub>5</sub>, 6.3 mg; vitam. B<sub>6</sub>, 2.4 mg; vitam. B<sub>9</sub>, 400 mg; biotina, 24 mg; vitam. B<sub>12</sub>, 10 mg; yodo, 1 mg; manganeso, 63 mg; hierro, 24 mg; cobre, 2.4 mg; cobalto, 160 mg; selenio, 72 mg; zinc, 40 mg; metionina, 215 mg; Lisina, 70 mg; enzimas, 15 mg; anticoccidial, 4.5 mg; promotor de crecimiento, 140 mg; atrapador de micotoxinas, 190 mg; colina, 18 mg, excipientes, 170 mg

**Fuente:** Los autores

## 2.3. Composición química y propiedades físicas de la fracción fibrosa de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

Las propiedades físicas se determinaron según las técnicas propuestas por Savón et al. (1999). Para la determinación del volumen de empaçado y solubilidad las muestras se pasaron por tamiz de 0.8 mm, se llevaron a estufa a 60 °C por 12 horas.

Determinación del volumen de empaçado: se colocó un gramo de muestra en un tubo de centrífuga graduado. Luego, durante 20 minutos se centrifugó a 3 000 rpm y, por último, se midió el volumen ocupado por la muestra después de la centrifugación.

Determinación de la solubilidad: a dos gramos de la muestra seca se le añadieron 60 mL de agua destilada. Se mantuvieron en reposo por una hora. Posteriormente, se filtraron y se secaron en estufa a 60 °C por 12 horas. La diferencia entre el peso de la muestra seca al inicio y al final del análisis representó el porcentaje de la fracción que se solubilizó en el agua.

La capacidad de adsorción de agua (CAA) se determinó por el método gravimétrico a través de la siguiente ecuación:

$$CAA \left( \frac{g}{g} \right) = \frac{(\text{peso muestra húmeda} - \text{peso muestra seca})}{\text{peso muestra seca}}$$

Se determinó cualitativamente el contenido de compuestos secundarios según la metodología de Miranda y Cuellar (2000).

### Análisis estadístico

Se utilizó la estadística descriptiva para el análisis de la composición físico-química. Se emplearon los estadígrafos de posición (media, desviación estándar, coeficiente de variación y mínimo y máximo). Se empleó el Software estadístico descrito en este capítulo para procesar los datos experimentales.

#### 2.3.1 Resultados y discusión

La composición química y las propiedades físicas de la fracción fibrosa de la torta de sachá inchi, se muestra en la tabla 7. Los resultados se encuentran en el rango reportado por Vásquez (2016) y Vásquez et al. (2017) en subproductos de sachá inchi.

**Tabla 7.**

*Composición química y propiedades físicas de la fracción fibrosa de la torta de sachu inchi (*Plukenetia volubilis* L.).*

INDICADORES (%)	MEDIA	DE ±	CV, %	MÍNIMO	MÁXIMO
MS	89.24	0.40	0.45	88.63	89.68
CENIZA	4.89	0.21	4.29	4.56	5.08
EE	9.05	1.06	11.77	7.94	10.68
PB	41.49	0.35	0.84	40.90	41.80
FB	7.63	1.77	23.15	5.83	10.27
FDN	16.64	1.54	9.24	15.32	18.41
FDA	12.70	1.96	15.43	9.95	15.03
LIGNINA	1.25	0.20	15.90	1.03	1.50
HEMICELULOSA	3.94	0.92	23.39	3.01	5.37
Solubilidad (%)	7.96	0.94	11.85	6.99	9.18
Volumen (mL/g)	3.92	0.20	22.59	3.72	4.22
CAA (g/g)	2.16	0.49	5.13	1.30	2.50

**Fuente:** Los autores

Los valores de materia seca (MS) fueron elevados, lo que indica bajo contenido de humedad en la torta. Este análisis se considera importante cuando se utilizan alimentos alternativos en la alimentación animal, ya que según Sánchez et al., (2020) del alto contenido del indicador, depende que no se modifique la calidad nutricional.

El contenido de cenizas es bajo si se compara con tortas de soya, colza y girasol (6.8, 5.6-7, 5.7-7.5 %, respectivamente) (Arrutia et al., 2020). Según Serrapica et al., (2019) para las tortas de oleaginosas emergentes hay dos características importantes: el contenido mineral y de humedad (menos de 100 g.kg<sup>-1</sup> de MS) que permiten el almacenamiento y la transportación fácil y no contribuyen a que se afecte el contenido energético.

La fracción extracto etéreo (EE) o grasa cuantifica los lípidos, carotenos, pigmentos de elevado número de carbonos en su molécula y otros compuestos afines y suele considerarse como la fracción energética de la muestra (Herrera et al., 1986). Los tenores fueron superiores al encontrado por Betancourth (2013) (6.9 %) y Ruiz et al., (2013) (7.8 %) en tortas de dos especies de sachu inchi.

Las variaciones entre los resultados del indicador EE puede deberse a los métodos de extracción que se emplearon, lo cual fue reportado por Benítez et al., (2018). En este estudio se utilizó el prensado en caliente, sin embargo, los autores antes mencionados trabajaron la extracción con solventes y el prensado en frío. Según Oryschak et al., (2020a), con el primer procedimiento, solubilizan muchos de los lípidos remanentes y con el segundo, aunque se aprecia mayor calidad del aceite, la concentración es menor si se compara con la extracción en caliente. De ahí que en el presente estudio se observe mayor cantidad de grasa y por ende de energía, lo que contribuye a mejorar el valor nutricional en la torta de sachá inchi.

En términos de concentración de proteína, los resultados mostraron niveles altos del indicador. Si se compara esta fuente con las tradicionales como la soya (42 %) (Terrien, 2017), los resultados muestran el potencial del subproducto como fuente alta en proteína para la formulación del alimento y la nutrición animal.

En la literatura científica existen, en muchos casos, similitudes en la composición de proteínas para las tortas de oleaginosas. Sin embargo, en otros, se reportan una disparidad de resultados. Gomes et al., (2021) realizaron un estudio de varias tortas de oleaginosas y reportaron los valores más elevados de proteína bruta para las semillas de calabaza (*Cucurbita moschata*) y lino marrón (*Linum usitatissimum*) (40.9 y 35.3 %, respectivamente) y los menores para uva (*Vitis labrusca*) (9.9 %). Se conoce que la composición del material vegetal, puede variar en dependencia del clima, el sitio de producción, el tipo de suelo, las prácticas culturales e incluso del proceso de extracción del aceite (García-Rebollar et al., 2016).

Según WHO (2004), una fuente oleaginosa que contenga más de 6 g/100 g<sup>-1</sup> de fibra bruta (FB) se considera alta en fibra. Si se toma en consideración lo anterior, el indicador en la torta de sachá inchi presentó valores moderados al compararlo con el fruto completo (17.7 %) y la cáscara (76.5 %) (Rodríguez, 2020).

Con respecto al fraccionamiento fibroso, los tenores de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina en el presente estudio, son bajos. En diferentes tortas de oleaginosas que provienen de especies vegetales ya sea, de climas tropicales como templados, se reportaron valores superiores para FDN y FDA que oscilan de 19 a 52 y 13 a 42 %, respectivamente. Tal es el caso de amarula (*Sclerocarya birrea*), macadamia (*Integrifolia*) y baobab (*Adansonia digitate l.*) en África (Solomon, 2018) y canola de

dos especies diferentes: (*Brassica [B.] napus*) y (*Brassica juncea*) en Canadá (Oryschak et al., 2020b). Por otra parte, Martínez et al., (2013) y Arias et al., (2016) obtuvieron en granos crudos de soya y en el fruto completo de palmito, respectivamente, mayor porcentaje de ambos indicadores (36.40 y 20.71 % y 72.55 y 55.84 %, en ese mismo orden).

Las dos comparaciones anteriores llevan a suponer que existen al menos dos factores que influyen en la composición de carbohidratos en sachá inchi. El primero se relaciona con la genética propia de la planta, que se afecta directamente por el clima donde se cultiva, y la segunda con la forma de presentación, ya sea en harina, al moler directamente la semilla, o en el subproducto resultante de la extracción del aceite.

Con relación a la lignina, según Oraby y Ramadan (2015), posee efecto inhibitorio en la utilización óptima del alimento debido a los fuertes enlaces covalentes que establece con los polisacáridos de la pared celular, tales como celulosa y hemicelulosa. Estos imponen una barrera a su completa degradación, de manera que mientras menos esté presente en el alimento será mejor para el proceso de digestión.

Es escasa la información disponible de la torta de sachá inchi en relación con el estudio de las fracciones fibrosas en la literatura que se consultó. Es por ello que su estudio es de gran utilidad para proponerla como fuente alternativa de alimentos.

Las propiedades físicas de la torta que se evaluó, mostraron poca solubilidad, es voluminosa y presenta baja capacidad de adsorción de agua. Alvarado (2014) y Breña (2018) reportaron en aislados proteicos de torta de sachá inchi y *Lupinus mutabilis* Sweet valores similares a los encontrados en la presente investigación. Esto se puede deber a la relación de los diferentes compuestos químicos en la torta.

Como se observa en la tabla 7, los valores de lignina fueron bajos y quizás dentro de las hemicelulosas predominen las insolubles, componentes que según Potty (1996) forman parte de la fracción no soluble de la fibra y las encargadas, además, de la regulación de la función del tracto gastrointestinal de animales monogástricos. Según Hua et al., (2019), la fibra dietética insoluble promueve la peristalsis, incrementa el volumen fecal, interfiere en la digestibilidad de los nutrientes y absorbe y elimina grasa, determinados metales y otras sustancias tóxicas.

Wang et al., (2018a) reportaron que en las semillas de sachá inchi la fibra dietética insoluble representaba el 72.4 % y la soluble el 9.0 %. Los resultados

de las propiedades físicas coinciden, además, con los reportados por Savón et al., (2012) que señalaron una relación inversa entre el volumen fibroso y la solubilidad. Además, están en correspondencia con los de Wrolstad (2012) que planteó que la fibra dietética no soluble se caracteriza por una menor capacidad de retención de agua tal, y como se observó en el presente estudio.

Mudgil (2017) planteó que la capacidad de adsorción de agua no es más que la capacidad que tiene la fibra de hincharse y retener agua en su matriz fibrosa, la cual se relaciona con el contenido fibroso y depende de las proporciones relativas de los polisacáridos que la componen. La hemicelulosa posee mayor poder higroscópico que la celulosa, y es casi nulo en la lignina (González et al., 2007). Ello explica el comportamiento de este indicador en la torta de sachá inchi que mostró bajos contenidos de hemicelulosa y lignina.

En la torta de Sachá inchi en estudio, se encontró presencia muy abundante de alcaloides, saponinas y grupos  $\alpha$  amino. En menor cuantía se observaron taninos, flavonoides y triterpenos (tabla 8). Ruiz et al., (2013) reportaron en esta oleaginosa valores bajos de taninos y saponinas con respecto a los de la torta de soya. Por su parte, Wang et al., (2018a) encontraron igual comportamiento de los polifenoles totales si se comparan con nueces brasileñas, anacardos, avellanas, cacahuets y pistachos.

Los resultados anteriores coinciden con los de Srichamnong et al., (2018). Estos autores reportaron en las semillas y las hojas de sachá inchi alcaloides, saponinas y lectinas. Sin embargo, las concentraciones fueron relativamente bajas. Plantearon que aunque no contribuían a que aparecieran efectos adversos se necesitaban estudios adicionales para ganar en claridad acerca de los niveles seguros de consumo de la oleaginosa en animales. Esta recomendación está relacionada con que dichos metabolitos secundarios pueden ser tóxicos para el tracto gastrointestinal, al interferir en la absorción de nutrientes, el sistema renal e inducir hemólisis. Dolan et al., (2010) también encontraron estos factores en otras nueces que pertenecen a la familia de las Euforbiáceas (África y Barbados).

**Tabla 8.**

*Análisis cualitativo de compuestos secundarios presentes en la torta de sachá inchi.*

Compuestos secundarios	Resultados
Taninos	+
Alcaloides	+++
Flavonoides	+
Saponinas	+++
Triterpenos	+
Antocianidinas	-
Coumarinas	-
Quinonas	-
Grupos amino	+++
Mucílagos	-

(-) ausente, (+) presente, (++) abundante, (+++) muy abundante

**Fuente:** Los autores

## 2.4. Conclusiones del capítulo

La determinación de la composición química de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evidencia que posee elevado contenido de proteína y extracto etéreo.

Se observan en la torta de sachá inchi bajos tenores de fibra de naturaleza insoluble, con alta voluminosidad y presencia aceptable de metabolitos secundarios.

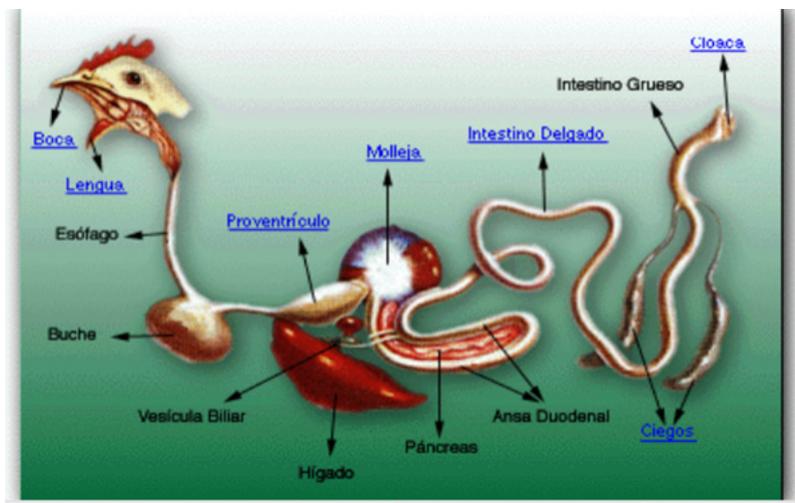
# Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) su aporte nutricional y económico en la **PRODUCCIÓN ANIMAL**

## Capítulo 3

Indicadores fisiológicos de pollos de ceba que consumen torta de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.)



### 3.1. Introducción del capítulo



Cuando se quieren incluir alimentos alternativos en la alimentación animal, no basta con el conocimiento de las concentraciones de nutrientes, sino que se hace necesario, además, el estudio de su disponibilidad. Se conoce que se establecen relaciones entre los diferentes compuestos o que las estructuras químicas en las que se encuentran, no permiten que sean degradados o absorbidos en su totalidad en el tracto gastrointestinal del animal que los consume (Adedokun et al., 2011; Atchade et al., 2019).

Los resultados que se obtuvieron en el capítulo II, demuestran que la torta de sachá inchi posee altos porcentajes de proteína bruta, por lo que se hace necesario el estudio de la digestibilidad ileal de aminoácidos, ya que se conoce que en las aves el intestino delgado es donde ocurre la mayor absorción de estas biomoléculas y que los microorganismos presentes en los ciegos alteran significativamente su composición (Kong y Adeola, 2011). Además, el ingrediente presentó características químicas aceptables por lo cual es de gran utilidad el estudio de la retención fecal del resto de los nutrientes.

Como se planteó con anterioridad, las aves modifican su tracto gastrointestinal en respuesta adaptativa a la presencia de diferentes alimentos (Mtei et al., 2019). Estos cambios son la respuesta fisiológica del animal a las propiedades físico químicas del ingrediente y que influyen en la utilización de sus nutrientes (Manyeula et al., 2020). De ahí la necesidad de su estudio.

En la literatura científica disponible, existen muy pocos trabajos donde se aborden aspectos de fisiología digestiva de la torta de sachá inchi en aves. Es por ello que los objetivos del presente capítulo fueron:

- Estudiar la digestibilidad ileal aparente de la proteína y aminoácidos esenciales en dietas para pollos de ceba donde se sustituye soya por torta de sachá inchi.
- Determinar la retención fecal aparente de nutrientes en dietas de pollos de ceba donde se sustituye soya por torta de sachá inchi.
- Evaluar el efecto de la sustitución en la dieta de torta de soya por torta de sachá inchi en indicadores morfométricos y hematológicos de pollos de ceba.

### **3.2. Digestibilidad ileal aparente de la proteína y aminoácidos esenciales en dietas de pollos de ceba donde se sustituye soya (*Glycine max*) por torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.)**

#### **Animales y dietas**

Se utilizaron 36 pollos de ceba de la línea descrita en el capítulo II con edad de 21 días, y con peso vivo inicial promedio de  $940 \pm 1.3$  g. Los animales se alojaron en jaulas individuales de alambre galvanizado de 40 x 40 x 80 cm de manera aleatoria (figura 6 A). Cada una contó con un comedero circular de barro y dos bebederos manuales de plástico con capacidad de 600 mL.

Los tratamientos experimentales se señalan en el capítulo II. Las dietas fueron isoproteicas e isoenergéticas. Se utilizó dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) como marcador en la dieta a razón de  $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  de alimento (Short et al., 1996).

#### **Procedimiento experimental**

Las aves se adaptaron a las jaulas y al consumo de las dietas durante siete días. Luego de este período, durante cuatro días, se suministraron 200 g de alimento diario, que se distribuyeron en dos raciones: mañana y tarde.

Todos los animales se sacrificaron a los 32 días de edad por el método descrito en el acápite II.3. Se abrió la cavidad abdominal para localizar el íleon, que se definió como la porción del intestino delgado que se extiende desde el divertículo de Meckel hasta la unión íleo-cecal.

Se extrajo el contenido ileal manualmente, deslizando los dedos índice y pulgar a lo largo del íleon y se depositó en placas Petri (Sebastian et al., 1997). Se tomó como una repetición, el contenido de tres pollos. Las muestras se

almacenaron a -20 °C hasta su procesamiento. Posteriormente, se trasladaron al laboratorio donde se realizaron los análisis de PB, aminoácidos y TiO<sub>2</sub>.

### 3.2.1. Análisis químicos

La determinación de TiO<sub>2</sub> se realizó mediante el método colorimétrico descrito por Short *et al.* (1996). Se establecieron los aminoácidos lisina, metionina, treonina y triptófano. El análisis se realizó por cromatografía líquida de alta presión (HPLC) en el laboratorio de análisis y aseguramiento de la calidad Multianalityca Cía. Ltda. (Quito, Ecuador).

El cálculo de la digestibilidad ileal aparente de la PB y cada aminoácido esencial, se llevó a cabo al tomar en consideración su concentración y la del marcador tanto en la dieta como en la muestra ileal. En la tabla 9 se muestra el resultado de la determinación química de la PB (nitrógeno x 6.25) y la concentración de aminoácidos de las dietas experimentales. Los análisis se realizaron por duplicado.

**Tabla 9.**

*Análisis químico de las dietas experimentales para los cálculos de la digestibilidad ileal.*

Análisis químico* (%)	Nivel de sustitución de soya por sachá inchi en la dieta, %			
	0	10	20	30
PB	17.93	17.25	17.13	17.21
Lisina	1.33	2.19	2.17	2.02
Meteonina	0.16	0.26	0.28	0.26
Treonina	1.90	1.90	1.91	1.91
Triptófano	0.091	0.098	0.107	0.087

\*Base seca

**Fuente:** Los autores

Para el cálculo se utilizó la ecuación propuesta por Castro et al., (2020):

$$\text{Digestibilidad ileal, \%} = \frac{(\text{aminoácido o PB/marcador})_d - (\text{aminoácido o PB/marcador})_i}{(\text{aminoácido o PB/marcador})_d}$$

donde:

(Aminoácido o PB /marcador) d = razón de aminoácido o PB y marcador en la dieta

(Aminoácido o PB /marcador) i= razón de aminoácido o PB y marcador en la digesta ileal

## Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Cada una contempló el contenido ileal de tres animales. El análisis estadístico se realizó de acuerdo con lo descrito en el acápite II.4.

### 3.2.2. Resultados y discusión

En la tabla 10 se observa la digestibilidad ileal aparente de la proteína y los aminoácidos en pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de la soya en la ración. La digestibilidad de la proteína se redujo a partir del 20 % de sustitución de torta de sachá inchi. La causa de esta disminución se podría atribuir al incremento en la tasa de pasaje por la presencia de fibra insoluble en el ingrediente, previamente discutido en el capítulo II. Según Williams et al., (2019), los efectos fisiológicos de la fibra dietética en el tracto gastrointestinal de las aves, dependen de una compleja combinación de atributos que incluyen, entre otros, las propiedades físicas y la combinación de las estructuras químicas según la fuente de que se trate.

#### Tabla 10.

*Digestibilidad ileal aparente de la proteína y los aminoácidos en pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de soya en la dieta.*

Indicadores (%)	Nivel de sustitución de soya por sachá inchi en la dieta, %				E.E ±	p-valor
	0	10	20	30		
	PB	85.56 <sup>a</sup>	82.81 <sup>a</sup>	73.39 <sup>b</sup>		
Lisina	71.34 <sup>a</sup>	70.76 <sup>a</sup>	67.68 <sup>a</sup>	59.70 <sup>b</sup>	1.92	0.0091
Metionina	86.39 <sup>a</sup>	81.93 <sup>ab</sup>	78.16 <sup>b</sup>	76.83 <sup>b</sup>	1.69	0.0159
Treonina	88.62 <sup>a</sup>	83.53 <sup>ab</sup>	80.57 <sup>b</sup>	70.42 <sup>c</sup>	2.11	0.0018
Triptófano	65.59	57.91	51.44	47.38	6.14	0.2478

<sup>a,b</sup> Valores con letras diferentes dentro de la misma fila difieren significativamente  $p < 0.05$  (Duncan, 1955)

Rochell et al., (2012) plantearon que la velocidad de pasaje del alimento a través del tracto gastrointestinal influye en la utilización de nutrientes porque determina el tiempo disponible para la interacción de estos con las enzimas digestivas, las superficies absorbentes y las poblaciones microbianas. Cuando ocurre una aceleración del tránsito del quimo por el intestino, como consecuencia de las características físicas de la fibra del ingrediente, disminuye

el tiempo disponible para la digestión y la absorción de proteínas, por lo que restringe su utilización por el animal (Hakim et al., 2020).

En la lisina no hubo diferencias entre los tratamientos control y la sustitución de soya por 10 y 20 % de torta de sachá inchi. Los resultados se encuentran en el rango reportado por Kasprzak et al., (2016) y Woyengo et al., (2016) para las tortas de colza (*Brassica napus*) y camelina (*Camelina sativa*), respectivamente. Sin embargo, con el 30 % disminuyó el indicador.

El comportamiento en la lisina con el mayor nivel, puede relacionarse con que su biodisponibilidad se reduzca por la alta temperatura de extracción de aceite que se empleó en el presente estudio para la obtención de la torta de sachá inchi. Según Zhang et al., (2020) el aminoácido es susceptible al tratamiento térmico, lo que reduce su contenido. Por otra parte, es el primer aminoácido limitante para pollos de ceba y se involucra en ciertos estados en la reacción de Maillard debido a los grupos  $\epsilon$ -amino que son altamente reactivos (Ullah et al., 2017). La extracción con altas temperaturas resulta en la formación de complejos entre los azúcares y el aminoácido que son indigestibles por las enzimas del tracto gastrointestinal del animal.

La metionina se reduce a partir del 20 % de sustitución de soya por torta de sachá inchi. Es un aminoácido azufrado y esencial, precursor de la cisteína. Posee efecto antioxidante ya que a partir de él se sintetizan compuestos bioactivos como el glutatión (GSH) y la taurina (Tau) (Estévez et al., 2020). El mismo es hidrófobo, por lo que tiene repulsión por el agua y puede formar conglomerados (Nelson et al., 2021). Esta propiedad podría influir en la creación de una barrera física a su absorción en el intestino delgado y como consecuencia se reduce su digestibilidad.

La treonina difirió entre el control, 20 y 30 % de sachá inchi en sustitución de la soya con valores que descendieron en ese mismo orden. Este resultado puede explicarse por la alta presencia del aminoácido en la mucina. Aunque existen muchos factores fisiológicos que influyen en el nivel y la velocidad de degradación de la glicoproteína, Thompson y Applegate (2006) reportaron que la presencia del alimento en el tracto gastrointestinal es importante para ello. Al parecer, a partir del 20 % de sustitución de soya por torta de sachá inchi aumenta su producción y por ello pudiera disminuir la digestibilidad del aminoácido.

Según Lien et al., (2001) y Montagne et al., (2004), la treonina se encuentra entre 28 a 33 % del total de aminoácidos en la mucina. Esta glicoproteína representa el principal componente del mucus que cubre el epitelio del tracto

gastrointestinal, de ahí que su impacto en la concentración y el perfil de pérdidas basales de aminoácidos endógenos sea importante (Salgado, 2017). Esto se debe a que la mucina se secreta y renueva constantemente y su alta proporción no se digiere en la porción distal del intestino delgado (Adedokun et al., 2011).

La digestibilidad no sólo se afecta por los aminoácidos indigeridos y no absorbidos de origen dietético, sino que también contribuyen los de origen endógeno que no se absorben. Los valores de las secreciones endógenas dependen del método de determinación y de la edad de las aves (Adedokun et al., 2008). En el estudio presente no se cuantificaron las pérdidas endógenas de aminoácidos. Sin embargo, según Parsons (2020) en ingredientes altos en proteína, tales como la soya, las diferencias entre valores aparentes y estandarizados son bajos, lo cual se debe a que las pérdidas endógenas relativas al total de aminoácidos consumidos son mucho más pequeñas. Quizás esto ocurra con la torta de sachá inchi, que es alta en PB (capítulo II), aspectos que deberán estudiarse posteriormente.

De manera general, la digestibilidad para lisina, metionina y treonina es aceptable. Según Toghyani et al., (2015) existe una correlación negativa entre el contenido de fibra detergente neutro y la digestibilidad ileal aparente de aminoácidos, lo cual demostraron en soya y colza. En el capítulo II se reportó bajo contenido de FDN para la torta de sachá inchi, lo que pudo influir en este resultado.

El resultado es importante para estimar la cantidad de aminoácidos que se encuentran disponibles para ser utilizados por el animal. Wu (2014) señaló que en las aves se acepta el uso de la digestibilidad ileal de aminoácidos para la formulación de las dietas. Sin embargo, según Ravindran (2016), a diferencia de otras especies monogástricas en la industria avícola no existe un consenso acerca de formular con valores corregidos en función de las pérdidas endógenas de aminoácidos. En todo caso, los resultados son novedosos ya que constituyen los primeros estudios en pollos de ceba al sustituir la soya por torta de sachá inchi.

No se encontraron diferencias entre tratamientos para la digestibilidad ileal del triptófano. Este se considera el tercer aminoácido limitante en las dietas de aves (Bai et al., 2017). Además de ser importante en la biosíntesis de proteína, al igual que otros, participa en la optimización de la productividad del animal, el sistema inmune, estatus antioxidante y en la calidad de la carne (Fouad et al., 2021). Los valores son bajos si se comparan con los de torta

de algodón (75 %) y canola (78 %) (Ravindran et al., 2006). Los resultados indican que posiblemente ocurra un efecto adverso por las condiciones de procesamiento de la torta que influyen en la digestibilidad de este aminoácido.

Por otra parte, es válido señalar que el error estándar del triptófano es muy elevado si se compara con el resto de los aminoácidos que se estudiaron. Esto puede deberse al hecho de que el aminoácido se determina por hidrólisis alcalina y no ácida, como los restantes (Çevikkalp et al., 2016). De esta manera puede haber pérdidas que conducen a inexactitudes en su determinación, de ahí el comportamiento observado.

Los cambios observados en la digestibilidad ileal aparente de aminoácidos pueden ser consecuencia, además, de variaciones en la secreción y en la actividad de las enzimas pancreáticas. Se conoce acerca de la especificidad de las proteasas, en dependencia del aminoácido que se encuentre en el sitio de rompimiento de la molécula proteica (Bautista et al., 2002; Vizovišek et al., 2018) de ahí que el efecto que tiene la cantidad de proteína bruta en la digestibilidad aparente sea distinto para cada uno.

Otro factor que pudo contribuir a la disminución de la digestibilidad de los aminoácidos fueron los metabolitos secundarios en el ingrediente. Ruiz et al., (2013) reportaron en la torta de sachá inchi saponinas y taninos en concentraciones de 1 062.10 y 6.35 mg.100 g<sup>-1</sup> de muestra seca, respectivamente. Estos fueron apreciados en el estudio cualitativo que se realizó en el capítulo II de la investigación.

Según Zentek y Goodarzi Borojeni (2020), dichos compuestos pueden formar complejos con las proteínas y los carbohidratos estructurales y alterar el metabolismo de los nutrientes ya que inhiben la actividad de las enzimas digestivas e influyen en la absorción por medio de su acción astringente. Su presencia cambia la viscosidad y la velocidad de pasaje de la digesta ileal, lo que influye en la secreción de mucina y en el recambio de las células epiteliales. De esta manera incrementa la secreción endógena y, como consecuencia, disminuye la digestibilidad ileal (Perttilä et al., 2021).

El presente trabajo permitió determinar la digestibilidad ileal de la proteína y los aminoácidos esenciales en pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi. Los resultados revisten gran importancia, debido a la poca información disponible en relación con el uso de este material en la alimentación de la especie.

### 3.3. Retención fecal aparente de nutrientes en pollos de ceba alimentados con torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en sustitución de soya (*Glycine max*) en la ración

#### Animales y dietas

Se utilizaron los mismos animales y condiciones de alojamiento descritos en el acápite II.2. Los tratamientos experimentales se detallaron en el capítulo II.

#### Procedimiento experimental

Durante siete días las aves se adaptaron a las jaulas y al consumo de las dietas. Después de vencido el período, durante cuatro días se suministraron 200 g de alimento diario, distribuidos en dos raciones: mañana y tarde. Se controló oferta y rechazo para determinar el consumo diario. Se colectaron, además, cuantitativamente las excretas, las que se almacenaron en congelación a -20 °C hasta el momento de su análisis.

Las heces se descongelaron, mezclaron y homogenizaron para conformar una mezcla de los cuatro días. Se llevaron a estufa por 72 horas a 60 °C. Posteriormente, se molieron en molino a tamaño de partícula de 1 mm y se analizaron químicamente en el laboratorio de Bromatología en la Universidad Técnica de Manabí (Ecuador).

#### Análisis químicos

A las excretas y al alimento se les determinaron MS, PB, EE y FDN, según lo descrito en el acápite II.2. En la tabla 11 se muestra el análisis bromatológico de las dietas experimentales para los cálculos de la retención fecal aparente de nutrientes.

**Tabla 11.**

*Análisis químico de las dietas experimentales para los cálculos de la retención fecal aparente de nutrientes.*

Análisis químico* (%)	Nivel de sustitución de soya por sachá inchi en la dieta, %			
	0	10	20	30
MS	87.73	88.33	88.90	88.17
PB	17.93	19.25	17.13	17.21
EE	3.90	3.36	3.85	3.95
FDN	58.58	53.54	53.49	54.05

\*Base seca

**Fuente:** Los autores

## Retención fecal aparente de nutrientes

Se determinó la retención fecal aparente de nutrientes mediante el método indirecto con el empleo de  $TiO_2$  como marcador en las dietas. Se empleó la ecuación propuesta por Oryschak et al., (2020a):

*Retención fecal aparente, %*

$$= \left( 1 - \left( \frac{\% \text{ marcador alimento}}{\% \text{ marcador heces}} \right) * \left( \frac{\% \text{ nutriente heces}}{\% \text{ nutriente alimento}} \right) \right) * 100$$

## Diseño experimental y análisis estadístico

Para todos los datos se aplicó análisis de varianza simple de acuerdo con un diseño completamente aleatorizado y ocho repeticiones, donde el animal constituyó la unidad experimental. El paquete estadístico y la estimación de las diferencias entre las medias se realizaron según lo descrito en el acápite II.3.1

### 3.3.1. Resultados y discusión

La tabla 12 muestra la retención fecal aparente de nutrientes. No se observaron diferencias entre tratamientos para la materia seca y los valores son altos.

Similar comportamiento observó Bryan et al., (2017) al evaluar subproductos de la extracción de aceite de canola. Este resultado indica que los pollos pueden digerir y absorber los nutrientes provenientes de las tortas de oleaginosas.

### Tabla 12.

*Retención fecal aparente de nutrientes en pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de la soya de la dieta.*

Indicadores (%)	Nivel de sustitución de soya por sachá inchi en la dieta, %				E.E ±	p-valor
	0	10	20	30		
MS	87.14	85.89	85.01	84.69	0.88	0.2216
N	69.09 <sup>a</sup>	63.32 <sup>a</sup>	52.28 <sup>b</sup>	47.64 <sup>b</sup>	3.67	0.0010
EE	80.11 <sup>a</sup>	69.98 <sup>b</sup>	71.87 <sup>b</sup>	73.51 <sup>b</sup>	2.07	0.0102
FDN	68.12 <sup>a</sup>	54.51 <sup>b</sup>	41.02 <sup>c</sup>	52.05 <sup>b</sup>	3.14	<0.0001

<sup>a,b,c</sup> Valores con letras diferentes dentro de la misma fila difieren significativamente  $p < 0.05$  (Duncan, 1955)

Se redujo el nitrógeno en los tratamientos donde se sustituyó el 20 y 30 % de la soya por torta de sachá inchi. Comportamiento similar obtuvo Tamburawa et al., (2018) cuando incluyeron 22.5 y 30 % de torta de algodón tostada. Estos autores atribuyeron las diferencias a la presencia de fibra bruta en el ingrediente (13.32 %) que aumentó en la medida en que fue mayor el porcentaje de inclusión. Sin embargo, en el presente estudio se obtuvieron bajos tenores del indicador (FB: 7.63 %).

Existen diversos factores que influyen en la digestibilidad de los nutrientes. Entre ellos se pueden señalar: el alimento en estudio, el nivel de sustitución o inclusión del mismo en la ración, el procesamiento a que sea sometido el ingrediente, edad del animal, peso vivo, estado fisiológico, entre otros (Atchade et al., 2019). La observación anterior, permite plantear que la explicación en el presente estudio está relacionada con que a partir del 20 % de sustitución de la torta de sachá inchi en la dieta, varía la proporción de metabolitos secundarios presentes de forma tal que reduce la retención del nitrógeno.

Previamente, en el capítulo II se discutió acerca de la presencia de taninos en el ingrediente. Según Kasprzak et al., (2016), una de las características principales de las proteínas es su capacidad de acoplarse con los taninos y formar complejos indigestibles. El efecto antinutricional de estos compuestos fenólicos se basa en la formación de complejos insolubles y resistentes a la digestión enzimática o en la interacción de estos con las enzimas digestivas (pepsina y tripsina), lo que interfiere en la digestibilidad de los sustratos presentes en la dieta y provoca su paso directo a las heces (Onainor et al., 2018; Zajac et al., 2021).

Day et al., (2022) plantearon que las características estructurales de la fracción proteica pueden influir en la digestibilidad de la PB. Según estos autores, las globulinas y glutelinas, son resistentes al ataque por las enzimas digestivas. De esta manera, contribuyen a la menor degradabilidad en el tracto digestivo de las aves. Al escapar a la digestión en el intestino, contribuye a la proteína en las heces, de ahí que se reduzcan los valores. Wang et al., (2018a) reportaron que las albúminas en la torta de sachá inchi (después del proceso de extracción de aceite con hexano) eran las más abundantes (43.7 %), seguidas de las glutelinas (31.9 %), globulinas (27.3 %) y las prolaminas (3.0 %). Quizás estas fracciones se encuentren también elevadas en la torta de sachá inchi que se empleó en el presente estudio, lo que influyó en la reducción de la digestibilidad que se observó. Esta hipótesis necesita confirmarse en estudios posteriores.

Otro aspecto que pudiera influir en la disminución de la digestibilidad de la fracción nitrogenada está relacionado con las características físicas de la fibra. En el capítulo II se discutió acerca de la insolubilidad de esta fracción en la torta, lo que se puede asociar con la obtención de una elevada concentración de proteína endógena en las heces.

Según Chen et al., (2015), la fibra insoluble incrementa el flujo de nutrientes no digeribles por el animal, a las partes más bajas del intestino, que puede estimular la actividad microbiana y, adicionalmente, provocar incrementos en los procesos decamativos de la mucosa. De esta manera se podría elevar la excreción de proteína en las heces y, como consecuencia, reducir los valores de digestibilidad.

Según Ravindran et al., (1999), el estudio de la retención fecal aparente del nitrógeno, sobreestima la disponibilidad del contenido proteico de la dieta. Esto se debe a que el metabolismo del N dietético y endógeno está influenciado por la degradación del nutriente que realiza la población microbiana cecal. No obstante, existen evidencias que sugieren actividad microbiana a nivel del intestino delgado, hecho que se sustenta por los reflujos que ocurren en el sistema digestivo de las aves (Elling-Staats et al., 2021).

Con relación a la retención fecal aparente de la fracción lipídica, se observó reducción con la sustitución de la soya por torta de sachá inchi con respecto al control, lo que indica que la presencia del ingrediente, y no su nivel de inclusión, es el responsable de este comportamiento (tabla 12). Los resultados concuerdan con los de Zajac et al., (2020) al evaluar otras semillas oleaginosas como sésamo (*Camelina sativa* L. Crantz), lino (*Linum* L.) y girasol (*Helianthus* L.).

Los autores anteriores asociaron el efecto con alto contenido de polisacáridos no amiláceos en forma soluble (~46 %) e insoluble (~54 %). Aunque la primera fracción se encuentra en menor cuantía con respecto a la segunda, sus valores son elevados, lo que incrementa la viscosidad de la digesta y, por consiguiente, se reduce la digestibilidad de todos los nutrientes, particularmente de los lípidos. El mecanismo por el cual esto ocurre está relacionado con el aumento del espesor de la capa de agua que han de traspasar los solutos para alcanzar la membrana del enterocito, o sea, forman una barrera entre la enzima y el sustrato con un efecto antinutriente, pues disminuye la absorción de glucosa, lípidos y aminoácidos.

Los valores de retención del EE para todos los tratamientos fueron elevados, por lo que se puede afirmar que el aceite residual, después de la ex-

tracción que se le realizó a la oleaginosa, posee alta calidad, de ahí que se observe mayor eficiencia de utilización de estos nutrientes en el pollo de ceba. Avazkhanloo et al., (2020) observaron similar comportamiento al incluir harina de semillas de lino en la ración de pollos de ceba. Según los autores, esto ocurre por el aumento de la actividad de la lipasa, que trae como resultado mejora en la emulsificación y la hidrólisis de los lípidos dietéticos, la formación de micelas y su transporte a la superficie epitelial.

La retención fecal aparente de la FDN fue menor en los tratamientos donde se sustituyó la soya por torta de sachá inchi en relación con el control. El 20 % mostró el valor más bajo y el 10 y 30 % los intermedios (tabla 12). Leung *et al.* (2018) reportaron valores del indicador similares para soya (55.40 %) y avena (59.40 %) y superiores para lino (61.20 %).

La explicación de las diferencias anteriores está relacionada con la naturaleza física de la fibra de cada ingrediente. En lino, prima la fibra soluble que puede ser digerida por fermentación cecal a diferencia de soya y avena y la torta de sachá inchi, cuya naturaleza es más insoluble. Según Williams et al., (2019), el consumo de fibra dietética insoluble limita la utilización microbiana de la fibra, incrementa la masa fecal y acelera la velocidad de pasaje intestinal, y de esta forma contribuye a la menor utilización digestiva de la fracción fibrosa por el animal.

Según Kasprzak et al., (2017), además de la variedad de oleaginosa que se emplee en los estudios con animales, el método de extracción de aceite, ya sea mecánico o térmico, influye en la digestibilidad de los nutrientes. El empleo de solventes involucra calor que provoca la ruptura de la pared celular seguido de presión. El procesamiento en frío es menos eficiente ya que la semilla no se somete a altas temperaturas previo a la extracción y el aceite se extrae sólo mecánicamente. De esta manera, algunas células de la semilla no se rompen durante el proceso y no se hidrolizan los polisacáridos no amiláceos de las paredes celulares, por lo que quedan nutrientes encapsulados dentro de las células para el proceso de digestión (Woyengo et al., 2016). La diferencia en relación con el presente estudio puede deberse al contenido de nutrientes encapsulados por la pared celular entre las diferentes tortas.

Conocidas las características químicas y el valor nutritivo de la torta de sachá inchi, a través de la digestibilidad ileal y retención fecal aparente de nutrientes, es necesario la determinación de su efecto en la morfología digestiva e indicadores hematológicos de pollos de ceba, aspectos que se abordarán en el siguiente trabajo experimental. De esta forma, se pudiera recomendar

su utilización en sustitución de la soya, ingrediente más costoso de las dietas para aves y que sea una alternativa atractiva para pequeños y medianos productores.

### **3.4. Efecto de la sustitución en la dieta de torta de soya (*Glycine max*) por torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en indicadores morfométricos y hematológicos de pollos de engorde.**

#### **Animales y dietas**

Se utilizaron 24 pollos de ceba machos (híbrido Cobb 500) de un día de edad que se distribuyeron en cuatro tratamientos previamente descritos en el capítulo II. Los animales se sometieron a las dietas experimentales desde 1 hasta 42 días de edad. El sistema de crianza fue trifásico y la composición de ingredientes, así como el aporte de nutrientes, se describió en el capítulo II. Se alojaron en piso con cama de cáscara de arroz (*Oryza sativa*).

#### **Procedimiento experimental**

A los 42 días, los animales se pesaron e individualmente y se sacrificaron al transcurrir dos horas y treinta minutos después de la ingestión de alimento. Se empleó el método de sacrificio descrito en el capítulo II. Posteriormente, se abrió la cavidad abdominal y se extrajeron los órganos accesorios (hígado y páncreas) y el tubo digestivo. Este último se dividió para su análisis en proventrículo, molleja, intestino delgado (duodeno, yeyuno, íleon), ciegos y porción final (colon y recto).

Los órganos digestivos se pesaron llenos y vacíos (se eliminó el contenido digestivo desplazando los dedos índice y pulgar para vaciarlos) en una balanza técnica marca Sartorius (Alemania). Después de este procedimiento se midieron con cinta métrica el intestino delgado y grueso (ciegos y colon+recto).

Para el análisis estadístico, los pesos se expresaron como relativos al peso vivo ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  PV).

#### **Determinación de indicadores hematológicos**

De la vena yugular, se tomaron muestras de 1 mL de sangre en tubos con heparina sódica. Estos se llevaron al laboratorio Cruz Vital, Ecuador, para la determinación de hematocrito (Ht) y hemoglobina (Hb). Se empleó el método de citometría de flujo por fluorescencia, con equipo Sysmex XN 55 - 550.

## Métodos estadísticos

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos y seis repeticiones, donde el animal constituyó la unidad experimental. El paquete estadístico y la estimación de las diferencias entre las medias se realizaron según lo descrito en el acápite II.4.

### 3.4.1. Resultados y discusión

En la tabla 13 se muestran los pesos relativos de las diferentes secciones del TGI lleno, de pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de la soya en la ración. De todos los indicadores que se estudiaron, solo se observaron diferencias en el buche y en la porción colon+recto. Según Mtei et al., (2019) el TGI de las aves es flexible anatómica y fisiológicamente, lo que les permite adaptarse mejor a diversas circunstancias alimenticias.

**Tabla 13.**

*Indicadores morfológicos del tracto gastrointestinal lleno de pollos de ceba que consumen dietas donde se sustituye soya por torta sachá inchi.*

Indicadores (g.kg <sup>-1</sup> PV)	Nivel de sustitución de soya por sachá inchi en la dieta, %				E.E ±	p-valor
	0	10	20	30		
PV (kg)	2.99	3.20	3.09	3.02	0.07	0.1688
TGI completo	89.49	82.38	83.57	82.65	2.31	0.1327
Buche	2.54 <sup>b</sup>	3.78 <sup>a</sup>	3.24 <sup>ab</sup>	3.28 <sup>ab</sup>	0.26	0.0279
Proventrículo	3.96	4.17	4.09	4.23	0.22	0.8326
Molleja	20.56	21.95	22.43	24.00	1.17	0.2514
I. delgado*	24.30	25.60	25.23	25.47	1.07	0.8243
Ciegos	5.57	5.44	6.25	5.46	0.54	0.6911
Colon+recto	7.16 <sup>a</sup>	6.32 <sup>a</sup>	4.16 <sup>b</sup>	3.89 <sup>b</sup>	0.65	0.0039

<sup>a,b</sup> Letras diferentes dentro de la misma fila difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) (Duncan, 1955). \*Intestino delgado

El buche fue menor en el tratamiento control en relación con la sustitución del 10 % de soya por torta de sachá inchi. El resto de los tratamientos no difirieron entre sí (tabla 13). Sin embargo, vacío no mostró diferencias entre tratamientos (tabla 14). Es probable que la presencia del alimento en el momento de la determinación sea el responsable de este comportamiento. Según Svihus (2014), esta sección contiene esfínteres voluntarios para el ingreso y salida de los alimentos, por lo que actúa como reservorio o depósito temporal

del mismo, para la humectación, el reblandecimiento e inicio de la digestión. Su función es la de regular la repleción gástrica y el paso de los alimentos al estómago glandular o proventrículo.

**Tabla 14.**

*Indicadores morfométricos del tracto gastrointestinal vacío de pollos de ceba que consumen dietas donde se sustituye soya por torta sachá inchi.*

Indicadores (g.kg-1 PV)	Nivel de sustitución de soya por sachá inchi en la dieta, %				E.E ±	pvalor
	0	10	20	30		
TGI completo	46.13	43.86	48.01	48.11	1.60	
Buche	2.26	3.04	2.84	2.72	0.26	
Proventrículo	3.70	3.75	3.91	3.87	0.17	
Ciegos	2.35	2.51	2.44	2.66	0.22	
Colon+recto	4.11 <sup>a</sup>	3.74 <sup>ab</sup>	3.10 <sup>b</sup>	3.08 <sup>b</sup>	0.28	

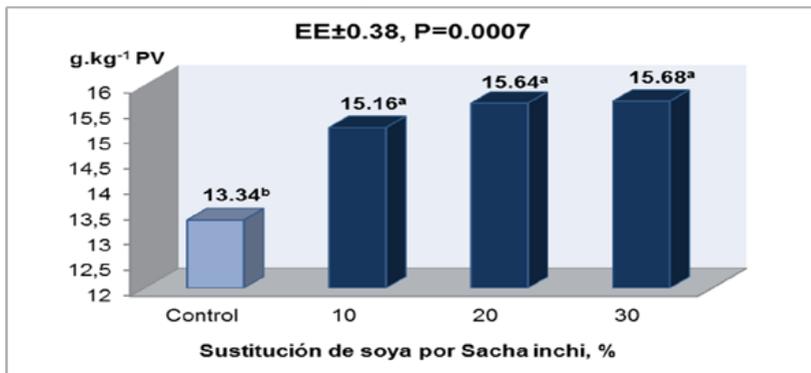
<sup>a,b</sup> Letras diferentes dentro de la misma fila difieren significativamente (p < 0.05) (Duncan, 1955).

La porción colon+recto difirió entre tratamientos tanto llena (tabla 13) como vacía (tabla 14). En ambos casos se redujo su peso relativo a partir del 20 % de sustitución de soya por la torta de sachá inchi. Quizás con los niveles más elevados del ingrediente, debido a la presencia de fibra insoluble y al aumento de la velocidad de pasaje del quimo por el órgano, no desarrolle tan eficazmente su función. Según Denbow (2015), la sección es de pequeña longitud y el tiempo de paso de los alimentos es breve, por lo que debe ser muy eficiente en la absorción de nutrientes y agua.

Se observó aumento del peso relativo de la molleja vacía en todos los tratamientos en los que se utilizó torta de sachá inchi con respecto al control (figura 7). Según Abdollahi et al., (2019), las aves que se alimentan con ingredientes que poseen cantidades moderadas de fibra aumentan la musculatura, tamaño y peso de la molleja. Los resultados no coinciden con los reportados por Manyeula et al., (2020) en pollos de ceba nativos de Sudáfrica con el empleo del subproducto de la extracción del aceite de canola hasta 17.5 % en la etapa de crecimiento.

### Figura 6.

Peso relativo de la molleja vacía en pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de la soya en la ración.



Fuente: Los autores

Las diferencias entre estudios están relacionadas con el tiempo de consumo de las dietas experimentales, así como los niveles de sustitución de la soya por las diferentes tortas de oleaginosas. En el presente experimento, a diferencia del anterior, los animales estuvieron desde el primer día de nacidos hasta los 42 días de edad consumiendo los diferentes tratamientos, y se sustituyó hasta el 30 % del ingrediente en cada una de las fases de crecimiento.

En el capítulo II se reportó la presencia de fibra insoluble en la torta de sachá inchi, la cual quizás sea la responsable del efecto observado. Scholey et al., (2020) obtuvieron comportamiento similar con la inclusión de avena (*Avena sativa*) con diferentes porcentajes de cáscara en la ración de pollos de ceba y plantearon que durante su tránsito por el TGI la fibra se hincha en grado variable, incrementa la voluminosidad y peso del quimo y que el efecto varía en función de las características de esta fibra.

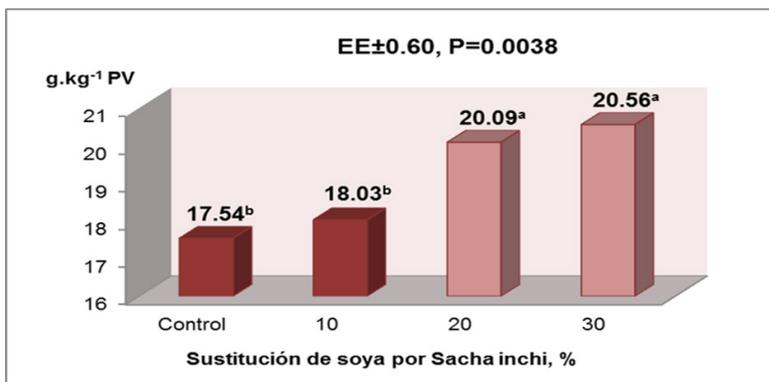
La molleja, además de ser un órgano triturador en las aves, actúa como filtro para retener o permitir el paso de las partículas al duodeno en función de sus características. Las partículas groseras se retienen hasta que alcanzan un tamaño crítico que lo determina el diámetro del píloro (Almeida et al., 2016). En el capítulo II se observó alta voluminosidad en la torta de sachá inchi, por lo que quizás el tamaño medio de partículas fue elevado. Esto indicaría mayor tiempo de permanencia en el órgano y con ello mayor actividad gástrica para realizar la trituración mecánica del alimento, lo cual pudo influir en el aumento de su talla.

El peso del intestino delgado vacío fue mayor a partir del 20 % de sustitución de torta de Sacha inchi (figura 8). Efecto similar reportaron Payvastegan et al., (2017) en pollos de ceba que se alimentaron con torta de canola. Las aves ajustan la liberación de enzimas y modifican la velocidad de tránsito del contenido digestivo a fin de maximizar la digestión de los alimentos y la absorción de los nutrientes, lo que pudiera inducir una mayor función del intestino delgado para degradar el alimento, de ahí que aumente su peso relativo (Manyeula et al., 2020).

Si se tiene en cuenta la naturaleza insoluble de la fibra de la torta de sachachi, el aumento del peso relativo del intestino delgado pudiera deberse a la voluminosidad de las dietas, que es mayor a partir del 20 % de sustitución. Por esta razón, el órgano debe incrementar su capacidad digestiva a partir de la estimulación de los diferentes mecanismos involucrados en el proceso, como son la digestión luminal y la del borde de la mucosa, lo que incidiría en el comportamiento que se observó en el indicador. En este órgano desembocan las secreciones biliares provenientes del hígado y la vesícula biliar, el páncreas que segrega el jugo pancreático y, además, en las paredes intestinales existen otras glándulas tubulares, posiblemente homólogas a las glándulas de Brünner de los mamíferos, que segregan mucus y las glándulas de Lieberkühn, que segregan jugo intestinal (Denbow, 2015). Sería interesante, en estudios posteriores, analizar las actividades de las enzimas involucradas en el proceso con el fin de verificar estas relaciones.

### Figura 7.

*Peso relativo del intestino delgado vacío en pollos de ceba que consumen torta de sachachi en sustitución de la soya en la ración.*



Fuente: Los autores

Por otro lado, las aves poseen características adaptativas que les permiten realizar un mayor aprovechamiento del alimento. Esta puede ser otra de las razones del aumento observado en la molleja y en el intestino delgado de las aves que consumen torta de sachá inchi. Según Angel et al., (2013), aun con una elevada velocidad de tránsito intestinal, producto de su pequeño tamaño corporal, los pollos poseen reflujos intestinales que siguen un patrón contráctil, totalmente único, que incluye un período de antiperistalsis. Estos movimientos trasladan los contenidos del recto al ciego, del íleon al duodeno, del duodeno al estómago muscular. Como resultado, se atrasa el tránsito a través del tracto, se re-expone la digesta intestinal a las secreciones gástricas e incrementa el trabajo de los órganos para garantizar mejor aprovechamiento del alimento.

Las longitudes de las diferentes secciones no mostraron diferencias entre tratamientos (tabla 15). En la literatura científica que se consultó no se encontraron resultados donde se estudiaran estos indicadores, por lo cual constituye uno de los primeros trabajos realizados de esta naturaleza. Los resultados se corresponden con lo observado para cada órgano lleno y vacío en las tablas 13 y 14, respectivamente. Sin embargo, llama la atención la no detección de diferencias con respecto al intestino delgado, aspectos que deberán estudiarse a profundidad en trabajos posteriores.

**Tabla 15.**

*Longitudes de las diferentes secciones del TGI vacío de pollos de ceba que consumen dieta donde se sustituye soya por torta de sachá inchi.*

Longitudes (cm)	Nivel de sustitución de soya por sachá inchi en la dieta, %				E.E ±	p-valor
	0	10	20	30		
I. delgado*	146.67	154.92	154.83	156.00	3.10	0.1550
Ciego derecho	10.33	9.00	8.92	9.42	0.41	0.0891
Ciego izquierdo	10.50	10.00	9.83	10.00	0.69	0.9104
Colon+recto	8.83	9.00	10.83	9.33	0.70	0.2002

<sup>a,b</sup> Letras diferentes dentro de la misma fila difieren significativamente ( $p < 0.05$ ) (Duncan, 1955). \*Intestino delgado

En la tabla 16 se observan los datos relacionados con los pesos de los órganos accesorios. Es muy probable que con la sustitución de soya por torta de sachá inchi en la ración hasta 30 %, no incremente las funciones espe-

cificas del páncreas y del hígado en la liberación de enzimas para digerir y absorber los nutrientes y en la excreción de bilis y el metabolismo celular, respectivamente. Como consecuencia, los valores de los indicadores no difieran del control. Estos resultados concuerdan con los reportados por otros autores al estudiar, en diferentes especies avícolas, tortas de oleaginosas (Drazbo et al., 2019; Manyeula et al., 2020).

**Tabla 16.**

*Efecto de la sustitución de soya por torta de sachá inchi en el peso relativo de los órganos accesorios.*

Órgano (g.kg <sup>-1</sup> PV)	Nivel de sustitución de soya por sachá inchi en la dieta, %				E.E ±	P-valor
	0	10	20	30		
Hígado	16.90	16.59	16.64		0.55	0.4694
Páncreas	1.54	1.44	1.54	1.36	0.11	0.5605

**Fuente:** Los autores

No se observaron diferencias entre tratamientos en los indicadores hematológicos (tabla 17). Tanto el hematocrito como la hemoglobina se encuentran en el rango reportado por Talebi et al., (2005) y Scanes (2015a) como fisiológico normal para la especie (Ht: 30-40% y Hb: 7-13 g.dL<sup>-1</sup>, respectivamente). Ambos indicadores se relacionan con el estado nutricional del animal (Augustine et al., 2020).

**Tabla 17.**

*Indicadores hematológicos en pollos de ceba que consumen dietas donde se sustituye soya por torta sachá inchi.*

Indicador	Nivel de sustitución de soya por sachá inchi en la dieta, %				E.E ±	P-valor
	0	10	20	30		
Hb (g.dL <sup>-1</sup> )	13.15	12.18	13.30	12.48	0.52	0.3981
Ht (%)	39.50	36.25	40.00	37.50	1.65	0.3787

**Fuente:** Los autores

El resultado anterior sugiere suministro adecuado de nutrientes del material testado y que la sangre de las aves posee una capacidad apreciable de transportación de oxígeno, que no se afecta cuando varían los niveles de la torta de sachá inchi. Zajac et al., (2020) plantearon que es muy importante el

estudio de las características sanguíneas, en el caso de uso de fuentes alternativas de alimentos. Su análisis sirve como matriz biológica para la valoración del adecuado suministro de elementos y su transformación en el organismo. Su contenido es el resultado de un balance dinámico de la demanda, cantidad suplementada y biodisponibilidad.

Desde el punto de vista práctico los resultados del presente estudio demostraron que la sustitución de soya por torta de sachá inchi constituye una fuente alternativa de alimentos, que no representa daño para la fisiología digestiva de los pollos de ceba. De ahí la necesidad de seguir profundizando en estudios relacionados con la productividad animal, así como los beneficios económicos de su empleo.

### **3.5. Conclusiones del capítulo**

La sustitución de 30 % de soya por torta de sachá inchi afecta negativamente las digestibilidades ileales aparentes de la proteína y los aminoácidos lisina, metionina y treonina en pollos de ceba.

La presencia de torta de sachá inchi en la ración de pollos de ceba provoca reducción de la retención fecal aparente del EE y la FDN.

Al suministrar dietas a pollos de ceba, donde se sustituye soya por torta de sachá inchi hasta el 30 %, aumenta el peso de los órganos digestivos relacionados con la digestión mecánica y enzimática del tracto gastrointestinal y no se alteran los indicadores hematológicos.

# Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) su aporte nutricional y económico en la **PRODUCCIÓN ANIMAL**

## Capítulo 4

Indicadores productivos y beneficio económico de la sustitución de soya (*Glycine Max*) por torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis L.*) en la dieta de pollos de engorde



#### 4.1. Introducción del capítulo



En la alimentación de pollos, las materias primas proteicas y energéticas que conforman la dieta, son los componentes más costosos (maíz, trigo, soya). Por ello, también incrementan los costos de producción de estos animales (Ahiwe et al., 2018). Además, compiten con la alimentación humana, de ahí que su disponibilidad en el mercado internacional sea inconstante (Yadav et al., 2019). Estas dos razones conllevan a la búsqueda de fuentes menos costosas, eficientes y localmente disponibles que beneficien la industria aviar.

Las tortas de oleaginosas, entre las que se incluye la de sachá inchi, tiene potencial para emplearse en las dietas de los pollos. En los capítulos III y IV se demostró que posee calidad nutricional adecuada y que modifica la fisiología digestiva sin efectos negativos en los animales. Sin embargo, existe limitada información de su óptimo nivel de sustitución en la ración y su efecto en el comportamiento biológico. Según Yadav y Jha (2021), existen múltiples factores que intervienen en los sistemas alternativos de alimentación, que incluyen las condiciones agro-climáticas, el sistema de crianza, así como las técnicas de procesamiento a que se someta el subproducto.

El conocimiento del beneficio económico de su empleo en la alimentación de estos animales, se hace necesario para proponerse a pequeños y medianos productores. En la literatura científica disponible se encontraron trabajos escasos que evalúen el comportamiento biológico de pollos de ceba que se alimenten con torta de sachá inchi en la ración. La mayoría de los trabajos co-

responden a tesis de titulación en diferentes carreras universitarias, fundamentalmente en Perú y Ecuador. Es por ello que el objetivo del presente capítulo fue evaluar indicadores productivos y el beneficio económico de la sustitución en la dieta de pollos de engorde de la soya (*Glycine max*) por torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.).

### **Animales, dietas y manejo**

Se utilizaron 240 pollos machos de engorde, con un día de edad, hasta los 42 días. Se alojaron en una caseta rústica de madera, para lo cual se emplearon caña guadua (*Guadua angustifolia*) y palma aceitera africana (*Elaeis guineensis*) (troncos y hojas para el techo) (figura 6 B). Se construyeron 24 compartimentos con dimensiones de 2 m de ancho por 1 m de largo, los cuales incluían un bebedero y un comedero (Petking, China). Las aves fueron criadas en piso, según lo descrito en el capítulo II. El material de la cama que se empleó fue cáscara de arroz (*Oryza sativa*), la cual se colocó a una altura de 10 cm. Antes de la entrada de los animales se trató con bactericida Fultrex (1 mL por cada litro de agua) y durante la crianza se mantuvo seca y con ventilación adecuada.

Durante la primera semana se les brindó alimento y agua a voluntad a los animales, acorde a los procesos técnicos que se deben realizar en la crianza del híbrido. A los siete días de edad se distribuyeron al azar 10 pollos por compartimento y la oferta de alimento se realizó *ad libitum*. Las aves se vacunaron según lo descrito en el capítulo II.

Se utilizaron cuatro tratamientos, que se detallaron previamente en el capítulo II donde se informó la procedencia de la torta de sachá inchi. Las formulaciones de las dietas, así como los aportes, se describen en las tablas 4 a la 6 del citado capítulo. Se empleó un sistema de alimentación trifásico: inicio, crecimiento-engorde y finalización (0-21, 22-35 y 36-42 días de edad, respectivamente).

### **4.2. Indicadores productivos**

Semanalmente, se pesaron los animales y se determinó el consumo de alimento a partir de la oferta y el rechazo. Se utilizó balanza digital (Cas PR-PLUS – 30, China) para el pesaje de alimento y animales. Durante el período de experimentación se registraron las muertes por tratamiento para el cálculo de la mortalidad. Con los datos que se obtuvieron, se calcularon la ganancia (peso al final y al inicio de la semana) y la conversión alimenticia como:

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

Al concluir el experimento se sacrificaron todos los animales por tratamiento. Se evisceraron y se les eliminaron las patas y las plumas. Las canales se pesaron en balanza digital (Cas PRPLUS – 30, China) para determinar el peso total de carne en canal por tratamiento.

### **Análisis económico**

Se calculó el costo de cada tratamiento, según etapa de crianza (Anexo 1). Para ello, se emplearon los precios de las materias primas que aparecen en el Anexo 2, según las Empresas comerciales “MAISHA” y “DISAVIMO” (Portoviejo, Ecuador) para los macroingredientes y núcleos y minerales, respectivamente. En el caso de la torta de sachá inchi, se tomó como valor 267 USD/t (Núñez et al., 2021).

Para determinar el beneficio/costo de los tratamientos se realizó un análisis de presupuestos parciales (CIMMYT, 1988). Las fichas de costo, según tratamientos experimentales, se presentan en el Anexo 3. Como moneda se utilizó el dólar estadounidense (USD). Para el cálculo del kg de carne se fijó como precio unitario 2.20 USD, valor de venta en el mercado ecuatoriano. Los indicadores económicos ingreso bruto total, utilidad neta total, relación beneficio costo, rentabilidad y costo de producción, se calcularon por las siguientes ecuaciones:

*Ingreso bruto total, USD = Producción total de carne en canal \* Precio unitario*  
*Utilidad Neta Total, USD = Ingreso bruto total – Total de costo de producción*

$$\text{Relación Beneficio/Costo} = \frac{\text{Ingreso Bruto Total}}{\text{Total de costo de producción}}$$

*Rentabilidad, % = (Utilidad Neta Total/Total de costo de producción) \*100*

$$\text{Costo de producción por unidad, USD/kg} = \frac{\text{Total de costo de producción}}{\text{Producción total de carne en canal}}$$

### **Análisis estadístico**

Para el análisis de los indicadores productivos de las diferentes etapas de alimentación y la crianza completa, se utilizó diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos y seis repeticiones que incluyeron 10 animales cada una. El peso al inicio de las aves, se consideró como covariable, sin embargo, no tuvo efecto significativo en las variables que se estudiaron. El procesamiento estadístico se describió en el capítulo II. En el caso de la mortalidad

se realizó comparación de proporciones chi-cuadrado y se aplicó dócima de Fisher y Yates (1958) para  $p < 0.05$ .

### 4.3. Resultados y discusión

La tabla 18 muestra los resultados de los indicadores productivos de pollos de ceba cuando se sustituye soya por torta de sachá inchi en la dieta. En los primeros 21 días de crianza se observó que el consumo de alimentos difirió entre tratamientos y fue mayor donde se sustituyó el 30 % de soya por torta de sachá inchi con respecto al control, con valores intermedios para el 10 y 20 %.

El resto de los indicadores no se modificaron.

**Tabla 18.**

*Indicadores productivos de pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de la soya según las diferentes etapas de crianza.*

	Nivel de sustitución de soya por sachá inchi en la dieta, %				E.E ±	p-valor
	0	10	20	30		
	Peso vivo inicial	41.70	41.70	41.63		
Período inicial (0-21 días)						
Peso vivo final	449.23	464.30	459.47	464.63	12.41	0.8002
Ganancia de peso	407.53	422.60	417.83	422.80	12.43	0.8032
Consumo de alimento	863.95 <sup>c</sup>	935.29 <sup>a</sup>	935.44 <sup>a</sup>	945.96 <sup>b</sup>	1.85	<0.0001
Conversión alimenticia <sup>1</sup>	2.13	2.22	2.25	2.25	0.07	0.5361
Período crecimiento-engorde (22-35 días)						
Peso vivo final	1694.00 <sup>c</sup>		1801.33 <sup>ab</sup>	1751.33 <sup>bc</sup>	34.39	0.0086
Ganancia de peso	1244.77 <sup>b</sup>		1341.87 <sup>ab</sup>	1286.70 <sup>b</sup>	34.47	0.0147
Consumo de alimento	1926.73 <sup>d</sup>		2038.05 <sup>b</sup>	2009.20 <sup>c</sup>	3.30	<0.0001
Conversión alimenticia <sup>1</sup>	1.55	1.48	1.52	1.57	0.04	0.4266
Período finalización (3642 días)						
Peso vivo final	2474.67 <sup>b</sup>		2552.33 <sup>b</sup>	2513.33 <sup>b</sup>	37.39	0.0015

Ganancia de peso	780.67	830.67	751.00	762.00	35.70	0.4241
Consumo de alimento	1401.83 <sup>c</sup>		1422.17 <sup>b</sup>	1424.00 <sup>b</sup>	2.78	
Conversión alimenticia <sup>1</sup>	1.80	1.82	1.88	1.95	0.09	0.6194

A, b, c, d Medias con letras distintas en la misma fila, difieren a  $p < 0.05$  (Duncan, 195)<sup>1</sup> Consumo/ganancia

Es posible que la mayor presencia del subproducto en la dieta, unido a las características físicas de su fibra dietética, puedan explicar las diferencias que se observaron en el consumo de alimentos. Al analizar los diferentes tratamientos en la etapa de inicio, la sustitución del 30 % de soya por torta de sachá inchi, implica que esté presente en 11.25 % a diferencia del 10 y 20 % que representan 3.75 y 7.50 %, respectivamente. Según Gorski et al., (2017) existen diversos factores que inciden en el consumo voluntario, los que se pueden clasificar en extrínsecos e intrínsecos. Entre los primeros se encuentran los físicos y metabólicos y en los segundos la dieta, que unido a otros elementos, se relacionan con el vaciamiento gástrico, la velocidad de tránsito y la dilución energética (Williams et al., 2019). A esto se suma, además, que durante los primeros días de vida, los pollitos son poco eficientes para digerir los nutrientes, ya que no producen las cantidades suficientes de jugos digestivos, enzimas y ácidos biliares, capacidad que no se estabiliza hasta los 10 a 14 días de edad (Leeson, 2016).

En el periodo de crecimiento-engorde, el peso vivo, la ganancia y el consumo fueron mayores con la sustitución del 10 % de soya por torta de sachá inchi en relación con el control. El 20 y 30 % presentaron valores intermedios. En los resultados puede estar influyendo la voluminosidad del subproducto previamente discutida en el capítulo III, que por un efecto mecánico (Abdollahi et al., 2019), impidan que el animal consuma mayor cantidad de alimento cuando se sustituyen los mayores porcentajes. No obstante, en los tres tratamientos experimentales, el consumo fue mayor al control. Quizás los niveles moderados de extracto etéreo en la torta de sachá inchi pudieran ser los responsables de esta observación.

Con respecto a la ganancia de peso, se comprobó un comportamiento lógico, independientemente del empleo de la torta de sachá inchi. De las tres etapas de crianza se apreció que los mayores valores de este indicador fueron en la de crecimiento. Según Safari et al., (2021), en este periodo es donde

ocurre un aumento cuantitativo del peso vivo por unidad de tiempo, ya que en ella se concentra el desarrollo esquelético muscular y el intestinal del pollo.

En la etapa de finalización se encontraron diferencias entre tratamientos para el peso final y el consumo, el cual fue superior con la sustitución del 10 % de soya por torta de sachá inchi con respecto al resto de los tratamientos (tabla 18). Los resultados muestran que con el menor porcentaje mejora la biodisponibilidad, digestión, absorción y utilización de los nutrientes por el ave, lo que guarda relación con los estudios fisiológicos previos que se discutieron en el capítulo III.

En la literatura existen resultados inconsistentes relacionados con el efecto de tortas de oleaginosas en el consumo de alimentos de pollos de ceba. Orczewska-Dudek y Pietras (2019) no encontraron diferencias en el indicador, mientras que Oryschak et al., (2020a) reportaron reducción al incluir camelina (*Camelina sativa*) al 15 %. Yadav y Jha (2021) por el contrario, observaron aumento con macadamia (*Macadamia integrifolia*) hasta el 20 %.

Los subproductos contienen compuestos secundarios que afectan adversamente el consumo voluntario como sinapina, taninos condensados, entre otros. Su composición varía con el origen de la semilla así como por el resultado de la extracción de aceite y su posterior procesamiento (Oryschak et al., 2020a). Además, la presencia de fibra insoluble causa aumento del indicador ya que el alimento pasa a través del intestino delgado sin digerirse, por su baja capacidad de absorción de agua y aumento en la velocidad de pasaje (Jha et al., 2019). Al parecer la sustitución de soya por torta de sachá inchi, donde está presente la combinación de ambos atributos, influye en el aumento del consumo.

La conversión alimenticia no mostró diferencias entre tratamientos para los tres periodos de crianza. Resultados similares obtuvieron Orczewska-Dudek y Pietras (2019) cuando incluyeron la torta de camelina al 10 % en pollos de engorde. Según Jiménez-Moreno et al., (2016), los pollos después de un proceso de adaptación al alimento pueden llegar a mejorar su aprovechamiento. Este comportamiento se puede fundamentar, además, porque las tortas de oleaginosas poseen determinados porcentajes de extracto étereo, lo que según Ly et al., (2016) puede contribuir a incrementar la densidad energética de la dieta y compensar el efecto diluyente de los dos principales inconvenientes que poseen: la presencia de fibra y de metabolitos secundarios.

Cuando las dietas balanceadas isoproteicas e isoenergéticas se proveen a los animales, en algunas ocasiones, se hace difícil obtener diferentes efectos que se expresen en indicadores básicos, como el peso corporal o el consumo de alimento diario (Ashraf et al., 2019). Sin embargo, la composición saludable de las

grasas en las semillas de oleaginosas como camelina, lino, girasol y sacha inchi (Niu et al., 2014; Wang et al., 2018a), pueden probablemente estimular al organismo a viar a intensificar el crecimiento y desarrollo de los tejidos y los órganos.

La tabla 19 muestra el comportamiento biológico de pollos de ceba para la crianza completa. Se observó que la sustitución de soya por torta de sacha inchi en la ración de pollos de ceba al 10%, aumentó el peso vivo final y la ganancia con respecto al control y al resto de los tratamientos, que no difirieron entre sí. El consumo de alimentos fue diferente entre todas las dietas probadas, donde se favorecieron las que tuvieron el subproducto en la formulación, sin embargo, la conversión no difirió. Todos los indicadores, no obstante, se encuentran en el rango reportado para el híbrido que se estudió (Cobb500, 2015), por lo que es factible la inclusión del subproducto hasta el 30 % en la dieta de estos animales.

Existen evidencias de la posibilidad de sustituir en altos porcentajes a la soya por algunas tortas de oleaginosas en la alimentación de pollos de engorde. Son ejemplos los trabajos de Nwosu *et al.* (2020) y Yadav *et al.* (2022) con el 25 % de sésamo (*Sesamum indicum* L.) y mostaza (*Brassica carinata*) hasta el 19 %, respectivamente, donde no se afecta el comportamiento. Urge y Ashnie (2012) sustituyeron el 25 % de la fuente tradicional de proteínas (soya) por canola sin ningún impacto negativo en los indicadores peso vivo, consumo de alimento y conversión y fue económicamente más ventajosa que cuando se empleó solamente la soya.

**Tabla 19.**

*Indicadores de comportamiento productivo de pollos de ceba que consumen torta de sacha inchi en sustitución de la soya para la crianza completa (1-42 días de edad).*

Indicadores (g.ave <sup>-1</sup> )	Nivel de sustitución de soya por sacha inchi en la dieta, %				E.E ±	p-valor
	0		30			
	0	10	20	30		
Peso vivo inicio	41.70	41.70	41.63	41.83	0.16	0.8425
Peso vivo final	2474.67 <sup>b</sup>	2708.33 <sup>a</sup>	2552.33 <sup>b</sup>	2513.33 <sup>b</sup>	37.39	0.0015
Ganancia de peso	2432.97 <sup>b</sup>	2666.63 <sup>a</sup>	2510.70 <sup>b</sup>	2471.50 <sup>b</sup>	37.36	0.0015
Consumo de alimento	4192.51 <sup>d</sup>	4520.72 <sup>a</sup>	4395.66 <sup>b</sup>	4379.15 <sup>c</sup>	4.83	
Conversión alimenticia <sup>1</sup>	1.72	1.70	1.75	1.77	0.03	0.1885

a, b, c, d Medias con letras distintas en la misma fila, difieren a p<0.05 (Duncan, 1955), <sup>1</sup>Consumo/ganancia

No se observó retardo en el crecimiento, probablemente debido al desarrollo de una microbiota intestinal bien balanceada. Según Jha et al., (2019), la fermentación de la fibra en el intestino grueso favorece el desarrollo microbiano. Esta provee energía al animal a partir de la producción de sus metabolitos (ácidos grasos volátiles). Adicionalmente, el alto contenido lipídico que se observó en el capítulo III, así como su alta digestibilidad, contribuyeron al resultado.

Los resultados de la presente investigación fueron superiores a los reportados por Reátegui (2009), quien al utilizar 40 % de torta de sachu inchi en pollos parrilleros, obtuvo ganancias de 2 144 g a los 45 días. Veloz (2014) empleó la oleaginosa en forma de harina en la crianza de pollos de ceba y reportó valores para el indicador de 1 601.25 g a los 49 días. Así mismo, Ramírez (2011) sustituyó el 25 y 50 % de soya en la ración por este subproducto y los pollos a los 45 días de edad alcanzaron ganancias de 1 576.8 y 1 352.7 g, respectivamente.

Las diferencias entre los resultados que se presentan en la investigación presente y los reportados en el párrafo anterior, pudieran estar asociados a varios factores. Primero, cuando se emplea esta oleaginosa en forma de harina su composición química varía con respecto a la torta. Según Ancuta y Sonia (2020), en ello influyen factores como el genotipo, tipo de suelo, condiciones climáticas, prácticas agrícolas y los métodos de procesamiento, lo que se discutió anteriormente.

Otro aspecto que resulta importante señalar son los sistemas de alojamiento para las aves. Los autores que se mencionaron con anterioridad, utilizaron jaulas durante el periodo de investigación, sin embargo, en el estudio que se presenta los animales se criaron en piso con cama de cáscara de arroz. En la literatura consultada son disímiles los resultados que se reportan en cuanto a las ventajas y desventajas de uno u otro sistema de crianza.

Darwish et al., (2017) encontraron mayores pesos corporales, ganancia y consumo de alimentos en pollos cuando se comparaban piso y jaula y no se observaban diferencias para conversión, y algunos indicadores sanguíneos e inmunidad. De Jong et al., (2016) y Soliman y Hassan (2020) reportaron que es necesario mantener la higiene y el manejo adecuado del sistema para que existan las condiciones óptimas de bienestar animal. Los resultados previamente analizados de los indicadores sanguíneos en el capítulo IV, así como los de comportamiento biológico que se observan en el capítulo presente, llevan a suponer que este sistema es adecuado para los pollos de ceba que consumen dietas donde se sustituye soya por torta de sachu inchi.

Cabe señalar que las variaciones ambientales también pudieron haber influido como factores extrínsecos, correspondientes al manejo. Según Zajac et al., (2021), los factores medioambientales adversos tienen gran impacto en el desarrollo del intestino en el primer período de crianza y de esta manera muestra un efecto desfavorable en el comportamiento y la eficiencia de utilización del alimento. En Perú existen gran variedad de climas, a diferencia de Ecuador que es tropical y varía con la altitud y la región.

La presencia de fibra insoluble en la torta de sachu inchi (capítulo III) puede relacionarse con los resultados del comportamiento productivo. Estudios previos demostraron que el rendimiento de pollos de ceba no se afecta cuando en la dieta se incluyen fuentes con concentraciones moderadas de fibra insoluble, sino que lo que ocurre es una disminución de nutrientes de la dieta (Jha et al., 2019; Yadav y Jha, 2021).

Existe una amplia variabilidad en los resultados al evaluar el efecto de las tortas de oleaginosas en el comportamiento productivo de pollos de ceba. Las variaciones pueden estar relacionadas con el contenido y naturaleza de los metabolitos secundarios. Drazbo et al., (2019) plantearon que una de las causas puede estar asociada al nivel de inclusión o sustitución del ingrediente en la ración. Payvastegan et al., (2017) informaron que el consumo de alimentos no se modificó al incrementar el contenido de canola en la dieta, sin embargo, disminuía la ganancia de peso. Onainor et al., (2018) utilizaron sésamo y en su estudio evidenciaron que el comportamiento de los indicadores productivos se redujo. La explicación de los resultados con ambas tortas en la ración está relacionada con que en la primera fuente se encontraron elevados niveles de glucosinolatos y en la segunda de oxalatos y ácido fítico.

Por otra parte, en las tortas de oleaginosas varía la cantidad de aceite residual, que depende del método de extracción que se emplee (Benítez et al., 2018). Además, su composición en esta fracción puede estar relacionada con la época de cosecha de la semilla y hasta el método de conservación del subproducto (García-Rebollar et al., 2016). Todos estos aspectos determinan la calidad del producto final, que evidentemente influye en los resultados del comportamiento productivo de los animales.

La mortalidad fue baja y no mostró diferencias entre tratamientos (Tabla 20). Las aves finalizaron con un estado sanitario satisfactorio, lo que se puede relacionar con los indicadores hematológicos previamente discutidos en el capítulo III.

Parveen et al., (2016) obtuvieron un comportamiento similar al suplementar pollos de ceba con semillas de lino sometidas a procesamiento con altas temperaturas.

**Tabla 20.**

*Mortalidad en pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de la soya en la dieta.*

Tratamientos	No. muertes	%	E. E± Significación
Control	2	3.33	
<b>Nivel de sustitución de soya por sachá inchi en la dieta, %</b>			2.02 p >0.05
10	1	1.67	
20	2	3.33	
30	1	1.67	

**Fuente:** Los autores

Gong et al., (2019) señalan que el tracto gastrointestinal está colonizado por gran diversidad de microorganismos que ejercen un impacto significativo en la salud y consecuentemente con el comportamiento productivo a través de su influencia en la fisiología digestiva y el sistema inmune. Celi et al., (2017) plantean que una óptima funcionalidad del tracto digestivo es esencial para una producción animal sostenible, además de la salud. Ambos criterios resultan importantes para determinar el comportamiento animal (crecimiento y carne en el caso de los pollos de ceba).

Por otra parte, en el capítulo III se discutió acerca de la presencia de metabolitos secundarios en moderadas cantidades en la torta de sachá inchi. Los resultados obtenidos en este estudio corroboran que el subproducto no resulta tóxico para los pollos de ceba y la propuesta de niveles de sustitución de soya hasta 30 % resulta adecuada. Por tal razón, se puede considerar una fuente alternativa de alimentos para las aves disponible a nivel local en Ecuador.

En la tabla 21 se muestran indicadores económicos a partir del análisis de la producción total de carne en canal y el costo de producción de los tratamientos. Se observó que al sustituir la soya por torta de sachá inchi, las mejoras económicas fueron superiores con respecto al control. El 10 % fue el que sobresalió entre ellos para todos los indicadores que se estudiaron. Además, coinciden con los resultados de comportamiento previamente discutidos.

**Tabla 21.**

*Indicadores económicos a partir de la producción total de carne en canal al sustituir soya por torta de sachá inchi en la crianza de pollos de ceba.*

Indicadores	Nivel de sustitución de soya por sachá inchi en la dieta, %			
	0	10	20	30
Producción total de carne en canal, kg	143.49	159.77	148.00	148.27
Ingreso Bruto Total, USD	315.68	351.50	325.64	326.19
Utilidad Neta Total, USD	79.79	107.41	91.48	93.69

**Fuente:** Los autores

La producción total de carne fue mejor en los tratamientos experimentales. Se observó aumento de 16.28, 4.51 y 4.78 kg para los tratamientos 10, 20 y 30 % de sustitución de soya por torta de sachá inchi, respectivamente. Es evidente que el peso vivo final así como la ganancia de peso que se observó en la tabla 19, donde sobresalió el 10 % de torta de sachá inchi estuvieron directamente relacionados con esta observación. Según Tóthová et al., (2017), las concentraciones de proteínas en sangre, tanto cualitativas como cuantitativas influyen en el consumo de alimento, así como con los cambios metabólicos y la condición corporal durante el crecimiento.

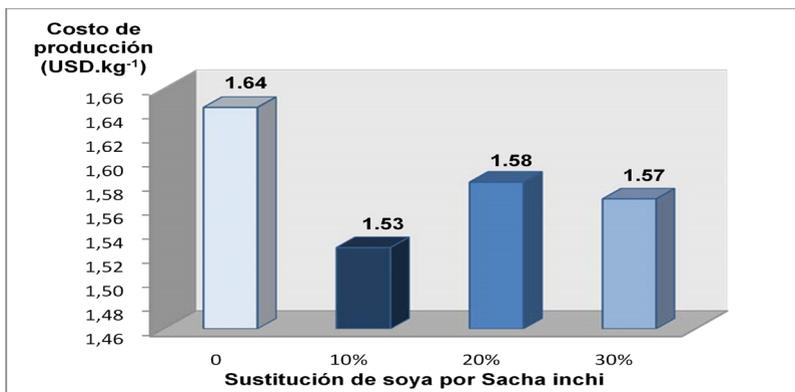
La explicación a lo expresado anteriormente está relacionada con que en los pollos de ceba, en muy corto período de tiempo, se incrementa la masa corporal y la cantidad de músculo (Tóthová et al., 2019). La intensidad del depósito de las proteínas en este tejido puede influir en la concentración de proteínas en la sangre, así como su composición (Scanes, 2015b). En este caso, es posible que el uso de la torta de sachá inchi en la ración incremente el proceso de acumulación de masa corporal, e influya positivamente en el sistema inmunológico del animal, aspectos que deberán profundizarse y corroborarse en estudios posteriores.

El resultado, además, se puede relacionar con la digestibilidad ileal de los aminoácidos, discutido en el capítulo IV. La lisina es uno de los aminoácidos responsables de la síntesis de proteína en el músculo (Drazbo et al., 2019). Según Estévez et al., (2020), la metionina está relacionado con el crecimiento muscular. Tanto la GSH y la Tau, derivadas de él, se consideran componentes cruciales de defensa antioxidante intracelular en las fibras musculares.

El costo de producción fue menor cuando se sustituyó la soya por torta de sachá inchi en relación con el control con el valor más bajo para el tratamiento del 10 % (figura 8). Según las fichas que se observan en el Anexo 3, la distribución porcentual de los costos directos recayó en la alimentación (54-56 %). Estos se encuentran en el rango reportado por Núñez-Torres (2017) para todo sistema de producción pecuaria (50-70 %). Las diferencias entre tratamientos oscilan entre 1.47-1.69, 2.80-3.51 y 4.06-5.22 USD por cada 100 kg de alimento con 10, 20 y 30 % de sustitución de soya por torta de sachá inchi, respectivamente, con respecto al control. El aspecto anterior, unido a la producción de carne total en canal, incide en los resultados.

### Figura 8.

*Costo de producción de pollos de ceba que consumen torta de sachá inchi en sustitución de la soya.*



**Fuente:** los autores

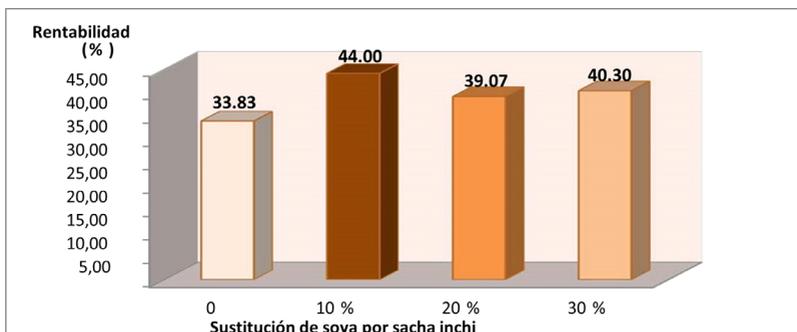
Shehu et al., (2021) reportaron mejorías en el costo de producción cuando emplearon torta de maní. Del mismo modo, Mohammed et al., (2020) encontraron que al incluir torta de girasol en las dietas de pollos de ceba, no se afectó el comportamiento productivo ni el rendimiento cárnico y se obtuvieron reducciones en los costos. Con respecto a la inclusión de alimentos alternativos en la alimentación de las aves, Peruchena (2004) planteó que su utilización resulta válida solo si se asocia con el nivel de ingreso que pueda generar los precios de venta del producto final (carne y/o huevos) y la relación que existe entre los precios de compra y venta.

La rentabilidad mejoró en 10.17, 5.24 y 6.47 % para los tratamientos 10, 20 y 30 % de sustitución de soya por torta de sachá inchi, respectivamente,

en relación con el control (figura 10). Este indicador representa el beneficio que obtiene el productor con respecto al capital invertido más los costos de producción (Cino et al., 2006).

**Figura 9.**

*Rentabilidad de la crianza de pollos donde se emplea la torta de sachu inchi en sustitución de la soya.*



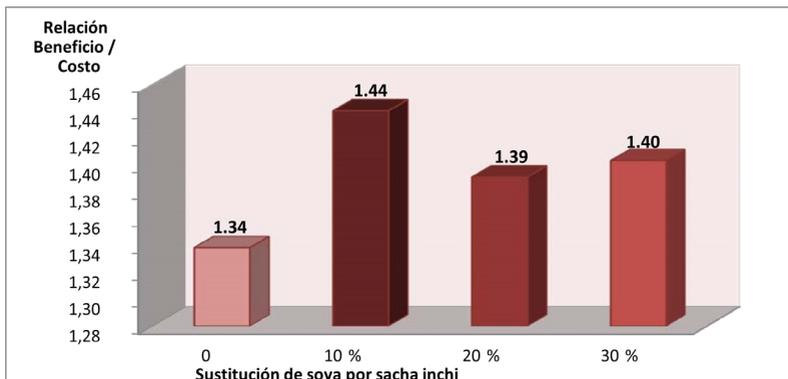
**Fuente:** Los autores

Con la sustitución de la soya por la torta de sachu inchi en la ración se observó un menor nivel de costos, ya que la primera posee elevados precios en el mercado internacional (Yadav y Jha, 2021). El ingrediente que se estudió se produce localmente en Ecuador y se considera un residuo de la extracción de aceite que no se comercializa en el país. Por esta razón, para la crianza de los animales disminuye la inversión. Según Rodríguez et al., (2021), el gobierno ecuatoriano incentiva la producción de sachu inchi ya que se adapta a diferentes condiciones climáticas presentes en el país. Además, posee características nutritivas que la hacen atractiva para su aplicación en la industria, la salud y la alimentación humana y animal.

La figura 11 muestra la relación beneficio/costo cuando se sustituye soya por torta de sachu inchi. Los tratamientos donde se empleó la oleaginosa mostraron mejoría con respecto al control. Según Aguilera (2017) es un indicador que ayuda en la toma de decisiones. Cuando se encuentra por encima de 1, indica que los beneficios son mayores a los costos. En consecuencia, el presente proyecto debe considerarse.

**Figura 10.**

*Relación beneficio/costo con el empleo de torta de sachu inchi en sustitución de la soya.*



**Fuente:** Los autores

En el estudio realizado, todos los tratamientos cumplen dicho supuesto. Aunque con el control por cada dólar gastado durante la crianza se obtuvo una ganancia neta de 0.33, con 10, 20 y 30 % de torta de sachu inchi, fueron superiores los que presentaron un índice de beneficio costo de 0.44, 0.39 y 0.40, respectivamente. Lo anterior demuestra que la propuesta de sustituir la soya por la torta de sachu inchi es factible económicamente.

El análisis productivo y económico evidencia que la torta de sachu inchi puede emplearse en la crianza de pollos de ceba en sustitución de la soya hasta el 30 %. Por esta razón puede proponerse en sistemas alternativos de crianza, lo que sería beneficioso para productores avícolas.

#### **4.4. Conclusiones del capítulo**

Se evidencian mejoras en los indicadores de comportamiento productivo cuando se sustituye el 10 % de la torta de soya por torta de sachu inchi en la dieta de pollos de engorde Cobb 500.

Se demuestra, a través del análisis económico, que todos los tratamientos con torta de Sachu inchi fueron rentables, sobresaliendo el 10 % de sustitución.

## Discusión general

La búsqueda de nuevas fuentes proteicas, para la alimentación animal, a partir de producciones agrícolas económicas y ecológicamente sostenibles, que no compitan con la alimentación humana, constituye uno de los mayores retos que enfrentan productores y especialistas del sector agropecuario en el Ecuador y el trópico. Una de las más atractivas lo constituye el empleo de tortas de oleaginosas.

En los últimos años la producción mundial de dichos subproductos ha aumentado. Según datos de OCDE/FAO (2020), se prevé que la producción mundial de harinas proteicas a partir de semillas de oleaginosas aumentará 1.4 % al año, para llegar a 403 millones de t para 2029. Su uso en la alimentación animal tiene varios beneficios: minimización de desechos, diversificación de productos y tecnologías de procesamiento eficientes y autoeficiencia energética (Setyahadi, 2022).

En Ecuador, en los últimos años, el gobierno incentiva la producción de sachá inchi ya que posee ventajas productivas, industriales y económicas. De la extracción de aceite se genera la torta, que se caracterizó químicamente. Sin embargo, se han realizado pocos estudios del efecto de su inclusión en la fisiología digestiva de los monogástricos, de forma tal que los resultados constituyan una herramienta de trabajo y aporten valor agregado al poderse incluir como ingrediente alimenticio alternativo para los pollos de ceba.

El conocimiento del valor nutritivo de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), su efecto en el comportamiento biológico del pollo de ceba como fuente alternativa de proteína, contribuye a su empleo de forma más eficiente, para la producción avícola.

Se pudo comprobar que las características químicas y propiedades físicas de la torta de sachá inchi, están en correspondencia con el tipo de fuente alternativa. Un aspecto importante es que el procesamiento al que fue sometida durante el proceso de extracción del aceite (prensado con cilindro extractor a temperatura de 75 °C y posterior re-extracción a 102 °C), permitió una concentración de los niveles de PB ya que se obtuvieron valores superiores al 40 %. Estos valores elevados permiten su comparación con los de la torta de *Glicine max* (soya), que se encuentran en un rango de 42 % (Terrien, 2017) y que es la fuente de proteínas por excelencia que se emplea como alimento convencional en la alimentación animal.

El procesamiento también permitió que en la torta existieran moderadas cantidades de EE. La presencia de grasas contribuye al aporte energético de

las raciones y permite la reducción de polvo en las mezclas. Además, facilita que no se desperdicien los nutrientes que aparecen en la formulación y el consumo de alimentos. Tal fue el caso que aumentó este indicador productivo en todas las etapas de crianza.

Otro de los aspectos a destacar fue el contenido fibroso. La torta presentó bajo contenido de FDN, FDA, hemicelulosa y lignina al compararlas con otras fuentes oleaginosas. Sin embargo, constituyen los primeros reportes de estos componentes en el ingrediente, por lo que resultan de gran importancia para estudios posteriores de empleo en alimentación animal. Factores como la genética de la planta y la forma de obtención pudieron influir en los resultados, lo que se debe investigar.

Las características físicas mostraron que es una fuente de fibra insoluble. Esto probablemente repercutió en la velocidad de tránsito intestinal, lo que se reflejó en la disminución de las digestibilidades aparentes ileales de la proteína y los aminoácidos, así como en las retenciones fecales aparentes de los nutrientes que se estudiaron.

Es necesario destacar que la sachá inchi es una fuente voluminosa y presenta baja capacidad de adsorción de agua. Estas características podrían influir en el tiempo medio de retención de la digesta y aunque no se midió este indicador, se evidenció aumento de peso de la molleja, intestino delgado y porción colon+recto, lo que coincide con lo planteado por Abdollahi et al., (2019) de que estas propiedades influyen en el tracto gastrointestinal a través de un efecto mecánico o laxativo.

Al analizar cualitativamente los metabolitos secundarios, la torta es abundante en alcaloides, saponinas y grupos  $\alpha$  amino. Todos ellos influyeron en los resultados fisiológicos del animal. Sin embargo, los niveles que se sustituyeron de la soya, no causaron daños a la salud ni afectaron drásticamente los indicadores de comportamiento productivo.

Los resultados de la composición físico química evidenciaron que la especie es promisoría para la alimentación animal. Por esta razón, se continuaron estudios sobre los efectos en la fisiología digestiva de pollos de ceba, ya que se conoce que el valor nutricional de un ingrediente se determina por su contenido en nutrientes disponibles.

Los índices de digestibilidad ileal aparente de la proteína y los aminoácidos fueron menores con la sustitución de la soya por el 30 % de torta de sachá inchi en la ración de pollos de ceba con respecto al control. Al parecer, con este nivel se combinaron factores como la cantidad de compuestos se-

cundarios, así como la insolubilidad de la fracción fibrosa que influyeron en el resultado.

Los polifenoles, entre ellos los taninos, en el tracto digestivo forman una fina capa insoluble, que desnaturaliza la proteína de la superficie de la membrana mucosa de las paredes del intestino y de esta forma interfieren en la digestión y la absorción de la misma, lo que trae como consecuencia la reducción de la digestibilidad de este nutriente (Mateos et al., 2019). De ahí que sea necesario proyectar estudios en pollos de ceba relacionados con la cuantificación y determinación del efecto de dichos compuestos presentes en el subproducto en la digestibilidad de nutrientes.

El método de obtención de la torta influyó también en la digestibilidad ileal aparente de la proteína y los aminoácidos. La extracción de aceite con altas temperaturas posibilita que ocurra la reacción de Maillard, donde se forman complejos entre los azúcares y el aminoácido, que son indigestibles por las enzimas del tracto gastrointestinal del animal.

La digestibilidad fecal aparente de la proteína disminuyó a partir del 20 % de sustitución de la soya por torta de sachá inchi. Son diversos los factores que influyen en este resultado: las características estructurales de la fracción proteica, las características físicas de la fibra, la presencia de metabolitos secundarios, entre otros. Además, este comportamiento se puede relacionar con el aumento de la proteína microbiana excretada en las heces, ya que la microbiota utiliza la energía y la proteína del alimento para realizar los procesos de síntesis que necesita para su crecimiento. Por otra parte, pudo ocurrir aumento de la actividad erosiva del bolo alimenticio en la mucosa intestinal que favoreció, quizás, los procesos decamativos y esto conllevó a una mayor excreción de proteína endógena.

Según Adebowale et al., (2019), al producirse la fermentación, la biota intestinal anaerobia presente en el ciego utiliza los ingredientes no digeridos por el animal para su propia nutrición y crecimiento. Esto aumenta de forma considerable la diversidad microbiana; de ahí que, con un sustrato adecuado, los microorganismos lleguen a representar hasta un tercio del peso de las heces. Este constituye uno de los mecanismos que hacen que aumente la concentración de proteínas en las heces de manera considerable y de esta manera disminuya la digestibilidad del nutriente.

Los coeficientes de la fracción fibrosa disminuyeron, lo que se puede relacionar con la velocidad de tránsito debido a la presencia de fibra insoluble y al volumen de la torta de sachá inchi. Los ciegos actúan como filtro, por lo

que la utilización microbiana de esta fracción pudo verse limitada y su paso directo a las heces, incrementar la masa fecal. Así mismo, la aceleración de la velocidad de pasaje contribuye a la menor utilización de esta fracción.

Se redujeron las digestibilidades aparentes del extracto etéreo. Las saponinas forman complejos insolubles y se sabe que se unen a micelas que incluyen ácidos biliares y colesterol (Jithender et al., 2019). De esta manera interfieren con los resultados de la fracción lipídica que se observaron al sustituir el ingrediente en la ración.

Los coeficientes de digestibilidad ileal y fecal de nutrientes, en especial la proteína, fueron diferentes. Esto se explica porque la digestibilidad ileal tiene dos ventajas en comparación con el análisis de las excretas. El primero, que la acción de la microbiota modifica la composición de la proteína, y segundo, la excreción conjunta de los aminoácidos y la proteína provenientes de las heces y el sistema urinario (Siegerstetter et al., 2018). A esto se suma que los aminoácidos no se absorben en cantidades significativas después del íleon terminal (Denbow, 2015).

El comportamiento productivo se vio favorecido con la sustitución del 10 % de soya por torta de sachá inchi. En particular aumentó el peso vivo final y la ganancia de peso sin modificaciones de la conversión. Todos estos resultados guardan relación con los hallazgos del valor nutritivo de la torta para los pollos así, como los cambios fisiológicos del tracto gastrointestinal que se observaron.

Es notorio que aunque los niveles de 20 y 30 % no superaron los resultados productivos del 10 %, no difirieron del control, lo que demuestra la posibilidad de su empleo hasta el mayor nivel. El hecho se sustenta en que no se modificaron los indicadores de salud entre tratamientos y la mortalidad fue baja. De esta manera, a pesar de que los factores previamente discutidos hayan influido en la fisiología del animal, no son perjudiciales o tóxicos. Además, no se sobrepasan los umbrales permitidos por el animal para que les cause daño o perjuicio. El análisis económico estuvo en concordancia con los resultados productivos. Se demostró la factibilidad del uso de la torta en la alimentación de pollos Cobb 500.

Los resultados del estudio permitieron el conocimiento de las características físicas y químicas de la torta de sachá inchi. Se aportan, además, datos relacionados con indicadores digestivos, morfométricos y hematológicos en pollos de ceba, así como se demuestra la posibilidad de sustituir hasta 30 % de soya por el ingrediente sin afectar el comportamiento productivo de

los animales y con mejoras económicas. Desde el punto de vista práctico, los resultados de la investigación constituyen una herramienta de trabajo que permite a avicultores de Ecuador y el trópico, trazar estrategias para sustituir la soya por torta de sachá inchi como alimento alternativo. Esta sustitución le aportará ventajas desde varios puntos de vista.

### **Conclusiones generales**

En los resultados experimentales se comprueba que la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) posee calidad nutricional adecuada para la alimentación de pollos de ceba, dada por su composición química, propiedades físicas de la fracción fibrosa y la presencia no tóxica de metabolitos secundarios.

En los experimentos realizados se demuestra que la sustitución de soya (*Glycine max*) por torta de sachá inchi hasta 10 % en la ración no afecta las digestibilidades ileales aparentes de la proteína y los aminoácidos lisina, metionina y treonina.

En los resultados experimentales se evidencia que el 10 % de sustitución de soya por torta de sachá inchi no influye en la retención fecal aparente del nitrógeno en pollos de ceba, sin embargo, el subproducto incide negativamente en la digestión de las fracciones lipídicas y fibrosas.

En los resultados experimentales se observa aumento de los órganos del tracto gastrointestinal relacionados con la digestión mecánica y enzimática al sustituir la soya por torta de sachá inchi en la dieta de pollos de ceba.

Se puede concluir que se comprueban mejoras productivas y económicas en la crianza de pollos de ceba cuando se sustituye en la dieta el 10 % de torta de soya por torta de sachá inchi.

### **Recomendaciones**

Emplear hasta 30 % de torta de sachá inchi en sustitución de la soya para la crianza de pollos de ceba. Realizar trabajos de investigación relacionados con la velocidad de tránsito en el tracto digestivo y el valor de energía metabolizable de la torta de sachá inchi para pollos de ceba.

Valorar el estudio de la torta de sachá inchi en otras especies y categorías aviares.

Utilizar los resultados de la presente tesis y de otros trabajos realizados en Ecuador y en el área de Centroamérica para conformar un material de estudio que sirva de base y guía a los estudiantes, investigadores y pequeños productores para el mejor uso de esta fuente proteica alternativa en pollos.

Sacha inchi (***Plukenetia volubilis***)  
su aporte nutricional y económico en la  
**PRODUCCIÓN ANIMAL**

*Bibliografía*



- Abbas, M.S., Butt, M.S., Khan, M. R., Sultan, M.S. & Shahid, M. 2020. Nutritional and functional characterization of defatted oilseed protein isolates. *Pak. J. Agri. Sci.* 57(1): 219-228. DOI: 10.21162/PAKJAS/20.6458.
- Abdel-Moneim, E. A.M., Shehata, A.M, Alzahrani, S.O., Shafi, M.E., Mesalam, N.M., Taha, A. E., Swelum, A.A., Arif, M., Fayyaz, M. & Abd ElHack, M.E. 2020. The role of polyphenols in poultry nutrition. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 00: 1–16. DOI: 10.1111/jpn.13455.
- Abdollahi, M.R., Zaefarian, F., Hunt, H., Anwar, M.N., Thomas, D.G. & Ravindran, V. 2019. Wheat particle size, insoluble fibre sources and whole wheat feeding influence gizzard musculature and nutrient utilisation to different extents in broiler chickens. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 103: 146–161. DOI: 10.1111/jpn.13019.
- Addisu, S. 2016. Effect of dietary tannin source feeds on ruminal fermentation and production of cattle; A review. *Online Journal of Animal and Feed Research.* 6(2):45-56. URL: [https://ojafr.com/main/index.php?option=com\\_content&view=article&id=120:volume-6-issue-2-march-2016&catid=36:published&Itemid=126](https://ojafr.com/main/index.php?option=com_content&view=article&id=120:volume-6-issue-2-march-2016&catid=36:published&Itemid=126).
- Adebowale, T. O., Yao, K. & Oso, A. O. 2019. Major cereal carbohydrates in relation to intestinal health of monogastric animals: *A review. Animal Nutrition*, 5: 331-339. DOI: 10.1016/j.aninu.2019.09.001.
- Adedokun, S. A., Adeola, O., Parsons, C. M., Lilburn, M. S. & Applegate, T. J. 2011. Factors affecting endogenous amino acid flow in chickens and the need for consistency in methodology. *Poultry Science.* 90: 1737–1748. DOI: 10.3382/ps.2010-01245.
- Adedokun, S. A., Adeola, O., Parsons, C. M., Lilburn, M. S. & Applegate, T. J. 2008. Standardized ileal amino acid digestibility of plant feedstuffs in broiler chickens and turkey poults using a nitrogen-free or casein diet. *Poultry Science.* 87: 2535-2548. DOI:10.3382/ps.2007-00387.
- Aguilera, A. 2017. El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *CofínHabana.* 12(2): 322-343. URL: <http://www.cofinhab.uh.cu/index.php/RCCF/article/view/245>.
- Ahiwe, E.U., Omede, A.A., Abdallah, M.B. & Iji, P.A. 2018. Managing dietary energy intake by broiler chickens to reduce production costs and improve product quality. *Anim. Husb. Nutr.* 115. DOI: 10.5772/intechopen.76972.
- Alayón, A. N. & Echeverri, I. 2016. Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo):

- ¿una experiencia ancestral desaprovechada? Evidencias clínicas asociadas a su consumo. *Revista chilena de nutrición*. 43(2): 167-171. DOI: 10.4067/S0717-75182016000200009.
- Almeida, M., Martínez, M. & Dihigo, L.E. 2016. Effect of Moringa oleifera forage meal intake on digestive indicators of colostomized broilers. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 50(4): 569-577. URL: <http://cjasience.com/index.php/CJAS/article/view/660>.
- Alvarado, K. D. 2014. Obtención, caracterización fisicoquímica, caracterización electroforética y digestibilidad del aislado proteico del residuo agroindustrial de *Plukenetia volubilis* "(Sacha inchi)". Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Biotecnólogo. Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú. p. 63.
- Álvarez, G. F. & Ríos, T. R. 2007. Estudio de viabilidad económica del cultivo de *Plukenetia volubilis* Linneo "sacha inchi"—departamento de San Martín. Programa de ordenamiento ambiental—POA evaluación económica opciones productivas amazonia peruana. Iquitos, Perú.
- Ancuta, P. & Sonia, A. 2020. Oil Press-Cakes and Meals Valorization through Circular Economy Approaches: *A Review. Appl. Sci.* 10: 7432-7462. DOI: 10.3390/app10217432.
- Angel, R., Woo, S., Li, W. & Jiménez, E. 2013. Velocidad de paso y pH intestinal en aves: implicaciones para la digestión y el uso de enzimas. XXIX Curso de Especialización FEDNA. Department of Animal and Avian Sciences. University of Maryland. Madrid, España. 14p. URL: <https://www.fundacionfedna.org>
- AOAC. 2019. Official Methods of Analysis of AOAC International. Capítulo 4. *Animal Feed*. Volumen 1. Dr. George Latimer, Jr. Editor, 21st ed., p. 1-77. ISBN 9780935584899.
- Aquino, E. M. 2015. Optimización del proceso de extracción de las proteínas de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Universidad Nacional Agraria La Molina. Escuela de Posgrado. Tesis de Maestría en Tecnología de Alimentos. p. 115.
- Araujo-Dairiki, T.B., Chaves, F.C.M. & Dairiki, J.K. 2018. Seeds of sachá inchi (*Plukenetia volubilis*, Euphorbiaceae) as a feed ingredient for juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*, and matrinxã, *Brycon amazonicus* (Characidae). *Acta Amaz.* 48(1): 32-37. DOI: 10.1590/1809-4392201700753.

- Arias, R., Reyes, J. L., Bustamante, D., Jiménez, L., Caro, Y. & Ly, J. 2016. Caracterización química e índices químico-físicos de palmiches artemiseños para cerdos. *Livestock Research for Rural Development*, 28 (3), from <http://www.lrrd.org/lrrd28/3/aria28036.html>
- Arrutia, F., Binnera, E., Williams, P. & Waldron, K. W. 2020. Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements. *Trends in Food Science & Technology*. 100: 88–102. DOI: .1016/j.tifs.2020.03.044.
- Ashraf, M., Ahmad, F., Sindhu, Z.U.D., Asif, A.R., Farooq, U., Khalid, M.F., Muhammad, A. & Sharif, M. 2019. Right choice and proportion can make blend of edible oils a good growth promoter and a potential source for designer meat production in chicken. *Pak. J. Agric. Sci.* 56: 969–975. DOI: 10.21162/PAKJAS/19.7565.
- Atchade, G. S. T., Houndonougbo, F. M., Chrysostome, C. A. A. M. & Mensah, G. A. 2019. Digestibility of feeds in broiler chicken (*Galus linnaeus*, 1758) in Africa: *a review. Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13(2): 1127-1139. DOI: 10.4314/ijbcs.v13i2.43.
- Augustine, C., Igwebuiké, J.U., Kwari, I.D., Adamu, S.B., John, T., Zakaria, A., Ardo, M.U., Katsala, J.G., Obidah, L.U., Maspalma, A.J. Shall, M.P. & Ahmed, S. 2020. Haematological And Biochemical Parameters of Broiler Chickens Fed Processed or Raw Tropical Sickle Pod (*Senna obtusifolia*) *Seed Meal-Based Diets. Life Sci.J.*17 (1): 80 - 89. DOI:10.7537/marslsj170120.12
- Avazkhanloo, M., Shahir, M.H., Khalaji, S. & JafariAnarkooli, I. 2020. Flaxseed extrusion and expansion coupled with enzyme and pelleting changed protein and lipid molecular structure of flaxseed and improved digestive enzymes activity, intestinal morphology, breast muscle fatty acids and performance of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*. 260, Article 114341: DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2019.114341
- Azam, F., Qaisrani, S. N., Khalique, A., Bibi, F., Akram, C. A., Naveed, S. & Pasha, T. N. 2019. Exploring nutritive profile, metabolizable energy, protein, and digestible amino acids contents of indigenous protein sources of different locations for male broilers. *Poultry Science*. 98: 4664–4672. DOI: 10.3382/ps/pez167.
- Bai, M., Liu, H., Xu, K., Oso, A. O., Wu, X., Liu, G., Tossou, M. C., AlDhabi, N. A., Durairandiyana, V., Xi, Q. & Yin, Y. 2017. A review of the immunomodulatory role of dietary tryptophan in livestock and poultry. *Amino Acids*.

49(1): 67-74. DOI: 10.1007/s00726-016-2351-8.

- Balta-Crisólogo, R. A., Rodríguez-Del Castillo, Á. M., Guerrero-Abad, R., Cachi-que, D., Edín, A. P., Arévalo-López, L. & Oscar, L. O. 2015. Absorción y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en suelos ácidos, San Martín, Perú. *1*. 24(2): 2330. DOI: 10.24841/fa.v24i2.68.
- Bautista, N., Cervantes, M., Cuca, M., Pro, A. & Torrentera, N. 2002. Digestibilidad ileal aparente de aminoácidos en dietas de sorgo-pasta de soya con diferentes niveles de proteínas para cerdos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 36: 351-365. ISSN: 2079-3480.
- Benítez, R., Coronell, C. & Martín, J. 2018. Chemical characterization Sachá Inchi (*Plukenetia Volubilis*) seed: Oleaginosa Promising From the Colombian Amazon. *International Journal of Current Science Research and Review*. 1: 11-22. ISSN: 2581-8341. URL: <https://ijcsrr.org/singleview/?id=1224&pid=1044>
- Betancourth L. C. 2013. Aprovechamiento de la torta residual de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) mediante extracción por solventes de su aceite. Tesis para el título de Maestro en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales, Manizales, Colombia. p. 32.
- Binek, M., Cisek, A. A., Rzewuska, M., Chrobak-Chmiel, D., Stefańska, I. & Kizerwetter-Swida, M. 2017. Chicken intestinal microbiome: *Development and function*. *Med. Wet*. 73: 618–625. DOI: 10.21521/mw.5790.
- Breña, D. A. 2018. Obtención de un aislado proteico de torta de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y evaluación de sus propiedades tecno-funcionales. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 112 pp.
- Bryan, D. D.S.L., MacIsaac, J. L., Rathgeber, B. M., McLean, N. L. & Anderson, D. M. 2017. Meal residual oil level and heat treatment after oil extraction affects the nutritive value of expeller-pressed canola meal for broiler chickens. *Can. J. Anim. Sci.* 97: 658–667. DOI: 10.1139/cjas-2015-0207.
- Cárdenas, D. M., Gómez, L.J. & Soto, J.A. 2021. Biological Activity of Sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) and Potential Uses in Human Health: A Review. *Food Technology and Biotechnology*. 59(3): 253-266. DOI: 10.17113/ftb.59.03.21.6683
- Castellón, C. A. C. 2014. Efecto de tres niveles de inclusión de torta de Soya

- (*Glicine max*) en dietas, en la digestibilidad aparente de la proteína en juveniles de *Paralichthys adspersus*. *INFINITUM*. 4(1). DOI: .51431/infinitum.v4i1.409.
- Castro, F. L. S., Tompkins, Y. H., Pazdro, R. & Kim, W. K. 2020. The effects of total sulfur amino acids on the intestinal health status of broilers challenged with *Eimeria* spp. *Poultry Science*. 99: 5027–5036. DOI: 10.1016/j.psj.2020.06.055.
- Celi, P., Cowieson, A.J., Fru-Nji, F., Steinert, R.E., Klünter, A.-M. & Verlh, V. 2017. Gastrointestinal functionality in animal nutrition and health: New opportunities for sustainable animal production. *Animal Feed Science and Technology*. 234: 88–100. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2017.09.012.
- Cerrate, S., Vignale, S.K., Ekmay, R., England, J. & Coon, C. 2018. Effect of dietary nutrients on ileal endogenous losses of threonine, cysteine, methionine, lysine, leucine and protein in broiler chicks. *Animal*. 12:684–691. DOI: 10.1017/S1751731117002166.
- Çevikkalp, S.A., Löker, G.B., Yaman, M. & Amoutzopoulos, B. 2016. A simplified HPLC method for determination of tryptophan in some cereals and legumes, *Food Chemistry*. 193: 26-29. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.02.108.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F., México. p. 10-70.
- Cino, D.M., Castillo, E. & Hernández, J. 2006. Alternativas de ceba vacuna en sistemas silvopastoriles con *Leucaena leucocephala*. Indicadores económicos y financieros. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 40(1): 25-29. ISSN: 2079-3480.
- COBB500. 2015. Suplemento informativo sobre rendimiento y nutrición de pollos de engorde Coob 500. Cobb-Vantres, Estados Unidos. 14. p.
- CONAVE (Corporación Nacional Avícola del Ecuador). 2021. Estadísticas del sector avícola. Disponible en: <https://www.conave.org/estadisticas/>. Fecha de consulta: 6 de enero de 2022.
- Cruz, L. M. 2013. Fenología y rendimiento de cinco accesiones de “sacha inchi” (*Plukenetia volubilis* L.) propagados por enraizamiento de estaquillas en la localidad de Bello Horizonte. Tesis para optar por el título

profesional de Ingeniero Agrónomo. Perú. 70p.

- Chen, L., Gao, L., Liu, L., Ding, Z. & Zhang, H. 2015. Effect of graded levels of fiber from alfalfa meal on apparent and standardized ileal digestibility of amino acids of growing pigs. *Journal of Integrative Agriculture*. 14(12): 2598-2604. DOI: 10.1016/S2095-3119(14)60924-2.
- 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. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.04.078.
- Choi, S. C., Ingale, S. L., Kim, J. S., Park, Y. K., Kwon, I. K. & Chae, B. J. 2013. An antimicrobial peptide-A3: effects on growth performance, nutrient retention, intestinal and faecal microflora and intestinal morphology of broilers. *British Poultry Science*. 54(6): 738-746. DOI: 10.1080/00071668.2013.838746.
- Darwish, A.H., El-Sayiad, Gh. A., El-Maghawry, A.M. & Mahrose, K. M. 2017. Growth performance, carcass traits and some blood parameters of broiler chicks as affected by housing system. *Zagazig J. Agric. Res.* 44(4): 1379-1387. DOI: 10.21608/zjar.2017.52941.
- Day, L., Cakebread, J. A. & Loveday, S. M. 2022. Food proteins from animals and plants: Differences in the nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*. 119: 428-442. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.12.020.
- De Jong, I.C., Hindle, V.A., Butterworth, A., Engel, B., Ferrari, P., Gunnink, H., Perez Moya, T., Tuytens, F.A.M. & Van Reenen, C.G. 2016. Simplifying the Welfare Quality® assessment protocol for broiler chicken welfare. *Anim.* 10(1): 117-127. DOI: 10.1017/S1751731115001706.
- Denbow, D.M. 2015. Gastrointestinal Anatomy and Physiology. Capítulo 14. En: Sturkie's Avian Physiology. 6th Edition. *Edited by: Colin G. Scanes*. p. 337- 366. ISBN978-0-12-407160-5. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-02488-X>.
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H. & Patil, R.T. 2012. Dietary fibre in foods: a review. *J. Food Sci. Technol.* 49(3):255-266. DOI: 10.1007/s13197011-0365-5.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. &

- Robledo, C.W. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Díaz, D. A. 2016. Uso de la torta residual de la semilla de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) como insumo alimenticio en la producción de conejos (*Oryctolagus cuniculus*) de carne y su enriquecimiento con omega-3. Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniera Agroindustrial. Lima, Perú. URI: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/6119>.
- Díaz, M., Rojas, M.A., Hernández, J.E., Linares, J.L., Durand, L.M. & Moscoso, J.E. 2021. Digestibilidad, energía digestible y metabolizable del sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) peletizado y extruido en cuyes (*Cavia porcellus*). *Rev. Inv. Vet. Perú.* 32(5): e19654. DOI: 10.15381/rirep.v32i5.19654.
- Dolan, L. C., Matulka, R. A. & Burdock, G. A. 2010. Naturally occurring food toxins. *Toxins (Basel)*. 2(9): 2289–2332. DOI: 10.3390/toxins2092289.
- Domínguez, A. D. M., Cuevas, A. C., Martínez, A. F., Martínez, B. F., Coello, C. L. & González, E. A. 2009. Efecto de un complejo enzimático en dietas sorgo+ soya sobre la digestibilidad ileal de aminoácidos, energía metabolizable y productividad en pollos. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 47(1): 15-25. URL: <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1491/1486>.
- Dourado, L. R. B., Siqueira, J. C., Sakomura, N. K., Pinheiro, S. R. F., Marcato, S. M., Fernandes, J. B. K. & Silva, J. H. V. 2010. Poultry feed metabolizable energy determination using total or partial excreta collection methods. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 12(2): 129-132. DOI: 10.1590/S1516-635X2010000200010.
- Drazbo, A., Koz-lowski, K., Ognik, K., Zaworska, A. & Jankowski, J. 2019. The effect of raw and fermented rapeseed cake on growth performance, carcass traits, and breast meat quality in turkey. *Poultry Science*. 98:6161–6169. DOI: 10.3382/ps/pez322.
- Duncan, D. B. 1955. Multiple Range and Multiple F Tests. *Biometrics*, 11(1): 1–42, ISSN: 0006-341X. DOI: 10.2307/3001478.
- Elling-Staats, M.L., Gilbert, M.S., Smidt, H. & Kwakkel, R.P. 2021. Caecal protein fermentation in broilers: a review. *World's Poultry Science Journal*. DOI: 10.1080/00439339.2022.2003170.
- Erdaw, M.M & Beyene, W.T. 2018. Anti-nutrients reduce poultry productivity:

- Influence of trypsin inhibitors on pancreas. *Asian J. Poult. Sci.*, 12: 14-24. DOI: 10.3923/ajpsaj.2018.14.24.
- ESPAC. 2021. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Boletín Técnico. Mayo 2021. Disponible en: [www.ecuadorencifras.gob.ec](http://www.ecuadorencifras.gob.ec). Fecha de consulta: 6 de enero de 2022.
- Estévez, M., Geraert, P.A., Liu, R., Delgado, J., Mercier, Y. & Zhang, W. 2020. Sulphur amino acids, muscle redox status and meat quality: More than building blocks – *Invited review. Meat Science*. 163: 108087. DOI: 10.1016/j.meatsci.2020.108087.
- Fisher, R.A. & Yates, F. 1958. Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research. Oliver and Boyd, Edinburg.
- Fouad, A. M., El-Senousey, H. K., Ruan, D., Wang, S., Xia, W. & Zheng, C. 2021. Tryptophan in poultry nutrition: Impacts and mechanisms of action. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 00: 1–8. DOI: 10.1111/jpn.13515.
- García-Rebollar, P., Cámara, L., Lázaro, R. P., Dapoza, C., Pérez Maldonado, R. & Mateos, G. G. 2016. Influence of the origin of the beans on the chemical composition and nutritive value of commercial soybean meals. *Animal Feed Science and Technology*. 221: 245–261. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2016.07.007.
- Gilbert, M.S., Ijssennagger, N., Kies, A.K. & Van Mil, S.W.C. 2018. Protein fermentation in the gut; implications for intestinal dysfunction in humans, pigs, and poultry. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* 315: 159–170. DOI:10.1152/ajpgi.00319.2017.
- Gomes, A., da Silva, D. C., Bertoldo, M. T., Franco, Y. M. & Mattar, B. A. 2021. Oilseed by-products as plant-based protein sources: Amino acid profile and digestibility. *Future Foods*. 3: 1-7. DOI: 10.1016/j.fufo.2021.100023.
- Gong, Y., Yang, H., Wang, X., Xia, W., Lv, W., Xiao, Y. & Zou, X. 2019. Early intervention with cecal fermentation broth regulates the colonization and development of gut microbiota in broiler chickens. *Front. Microbiol.* 10: 1422. DOI: 10.3389/fmicb.2019.01422.
- González, J. M., Jiménez, E., Lázaro, R. & Mateos, G. G. 2007. Effect of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. *Poultry Science*. 86(8): 1 705-1 715. DOI: 10.1093/ps/86.8.1705.
- Gorski, M., Foran, C., Utterback, P. & Parsons, C. M. 2017. Nutritional evalua-

- tion of conventional and increased-protein, reduced-fiber canola meal fed to broiler chickens. *Poultry Science*. 96: 2159–2167. DOI: 10.3382/ps/pew470.
- Guevara, J., Rojas, S., Carcelén, F., Bezada, S. & Arbaiza, T. 2016. Parámetros productivos de cuyes criados con dietas suplementadas con aceite de pescado y semillas de sachá inchi. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 27(4): 715-721. DOI: 10.15381/rivep.v27i4.12560.
- Gupta, A., Sharma, R., Sharma, S. & Singh, B. 2018. Oilseed as potential functional food Ingredient. In *Trends & Prospects in Food Technology, Processing and Preservation*, 1st ed.; Prodyut Kumar, P., Mahawar, M.K., Abobatta, W., Panja, P., Eds.; Today and Tomorrow's Printers and Publishers: *New Delhi, India*. pp. 25–58.
- Hakim, A. H., Zulkifli, I., Farjam, A. S., Awad, E. A., Abdullah, N., Chen, W. L. & Mohamad, R. 2020. Passage time, apparent metabolisable energy and ileal amino acids digestibility of treated palm kernel cake in broilers under the hot and humid tropical climate, Italian *Journal of Animal Science*. 19(1): 194-202. DOI: 10.1080/1828051X.2020.1712266.
- Hanafiah, A., Zulkifli, I., Soleimani, A., Atta, E., Abdullah, N., Chen, W. L. & Mohamad, R. 2020. Passage time, apparent metabolisable energy and ileal amino acids digestibility of treated palm kernel cake in broilers under the hot and humid tropical climate. Italian *Journal of Animal Science*. 19(1): 194-202. DOI: 10.1080/1828051X.2020.1712266.
- Herrera, R.S., González, S., García, M., Ríos, C. & Ojeda, F. 1986. Análisis químico del pasto. Los pastos en Cuba, Tomo I: Producción. Segunda Edición. Editorial Edica. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba. p. 701751.
- Herrera, W., Hernández, C.Y. & Yurany, M. 2010. Potencial industrial de plantas oleaginosas del Caqueta, Amazonia Colombiana. *Ingenierías & Amazonia*. 3(1): 28-39. ISSN 1692-7389. Disponible en: [https://www.uniamazonia.edu.co/revistas/index.php/ingenieriasyamazonia/article/view/68/pdf\\_1](https://www.uniamazonia.edu.co/revistas/index.php/ingenieriasyamazonia/article/view/68/pdf_1)
- Hua, M., Lu, J., Qu, D., Liu, Ch., Zhang, L., Li, Sh., Chen, J. & Sun, Y. 2019. Structure, physicochemical properties and adsorption function of insoluble dietary fiber from ginseng residue: *A potential functional ingredient*. *Food Chemistry*. 286: 522-529. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.114.
- Hurtado, L., Paredes, D. & Robles, R. 2015. Efecto de la torta de sachá inchi

- (*Plukenetia volúbilis*) en el perfil bioquímico sanguíneo e histopatología del hígado de aves de postura. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*. 4(1): 60-66. DOI: 10.22386/ca.v4i1.69.
- Inga, R. R., López, D. P. & Huaynate, R. R. 2015. Determinación del efecto del consumo de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) sobre el perfil bioquímico sanguíneo de pollos de carne. *Folia Amazónica*. 24(2): 31-38. URL: <https://revistas.iiap.gob.pe/index.php/foiaamazonica/article/view/70/119>.
- Jha, R. & Berrocoso, J. D. 2015. Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine. *Animal*. 9(9):1441-1452. DOI: 10.1017/S1751731115000919.
- Jha, R., Fohse, J.M., Tiwari, U.P., Li, L. & Willing, B.P. 2019. Dietary fiber and intestinal health of monogastric animals. *Front. Vet. Sci*. 6: 48. DOI: 10.3389/fvets.2019.00048.
- Jiménez-Moreno, E., de Coca-Sinova, A., Gonzalez-Alvarado, J.M. & Mateos, G.G., 2016. Inclusion of insoluble fiber sources in mash or pellet diets for young broilers. 1. Effects on growth performance and water intake. *Poult. Sci*. 95: 41–52. DOI: 10.3382/ps/pev309.
- Jithender, B., Upendar, K., Nickhil, C. & Rathod, P. J. 2019. Nutritional and anti-nutritional factors present in oil seeds: An overview. *International Journal of Chemical Studies*. 7(6):11591165. URL: <https://www.chemijournal.com/archives/?year=2019&vol=7&issue=6&ArticleId=7726&si=false>.
- Kadam, D.M., Kumar, M. & Kasara, A. 2021. Application of high energy electromagnetic radiations in elimination of anti-nutritional factors from oil-seeds. *LWT-Food Science and Technology*. 151: 112085. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112085
- Kasprzak, M.M., Houdijk, J.G.M., Kightley, S., Olukosi, O.A., White, G.A., Carre, P. & Wiseman, J. 2016. Effects of rapeseed variety and oil extraction method on the content and ileal digestibility of crude protein and amino acids in rapeseed cake and softly processed rapeseed meal fed to broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Tech.* 213: 90-98. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2016.01.002
- Kasprzak, M.M., Houdijk, J.G.M., Olukosi, O.A., Appleyard, H., Kightley, S.P.J., Carre, P. & Wiseman, J. 2017. The influence of oil extraction process of different rapeseed varieties on the ileal digestibility of crude protein and

- amino acids in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*. 227: 68-74. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2017.03.009.
- Khen, B., Aeksiri, N., Wuthijaree, K., Ratanasut, K., Kaneko, G. & Khieokhajonkhet, A. 2022. The impacts of partial replacement of sachá inchi seed on growth performance, fatty acids composition, blood parameters, histological changes, and immune-related gene expression in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Adv. Anim. Vet. Sci.* 10(1): 94-106. DOI: 10.17582/journal.aavs/2022/10.1.94.106.
- Khieokhajonkhet, A., Muichanta, S., Aeksir, N., Ruttarattanamongkol, K., Rojtinakorn, J. & Kaneko, G. 2021. Evaluation of sachá inchi meal as a novel alternative plant protein ingredient for red hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*): Growth performance, feed utilization, blood biochemistry, and histological changes. *Anim. Feed Sci. Technol.* 278: 115004. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2021.115004.
- Kim, B.G., Lee, S.A., Park, K.R. & Stein, H. H. 2020. At least 3 days of adaptation are required before indigestible markers (chromium, titanium, and acid insoluble ash) are stabilized in the ileal digesta of 60-kg pigs, but values for amino acid digestibility are affected by the marker. *Journal of Animal Science*. 98(2): 1–8. DOI:10.1093/jas/skaa027.
- Kodahl N. 2020. ¿Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) - from lost crop of the Incas to part of the solution to global challenges? *Planta*. 251(4): 1-22. DOI: 10.1007/s00425-020-03377-3.
- Kodahl, N. & Sørensen, M. 2021. Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Is an Underutilized Crop with a Great Potential. *Agronomy*. 11: 1066. DOI: 10.3390/agronomy11061066.
- Kong, C. & Adeola, O. 2011. Protein utilization and amino acid digestibility of canola meal in response to phytase in broiler chickens. *Poultry Science*. 90: 1508–1515. DOI: 10.3382/ps.2011-01363.
- Leeson, S. 2016. Recomendaciones nutricionales en piensos prestarter de pollitos. XXXII Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España. p. 133-142. URL: <https://www.fundacionfedna.org>
- Leung, H., Arrazola, A., Torrey, S. & Kiarie E. 2018. Utilization of soy hulls, oat hulls, and flax meal fiber in adult broiler breeder hens. *Poultry Science*. 97(4): 1368–1372. DOI: 10.3382/ps/pex434.
- Lien, K., Sauer, W. & He, J. 2001. Dietary influences on the secretion into and

- degradation of mucin in the digestive tract of monogastric animals and humans. *Journal of Animal and Feed Sciences* 10(2): 223-246. DOI: 10.22358/jafs/67980/2001.
- Linneo, Carolus (1753). Species Plantarum Title page of Species Plantarum by Carolus Linnaeus. The Editors of Encyclopædia Britannica.
- Lopez, J.H., Fernandez, J., Pérez, J.A. & Viuda, M. 2013. Chemical, physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. *Food Res. Int.* 51(2):756763. DOI: 1016/j.foodres.2013.01.055.
- Ly, J., Ayala, L., Grageola, F., Delgado, E., Castro, M., Reyes, J. L. & Caro, Y. 2016. Harina de palmiche (*Roystonea regia* H.B.K. Cook) en cerdos en ceba; digestibilidad ileal y rectal. *Livestock Research for Rural Development*. 28, Article # 210. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd28/11/ly28210.html>.
- Ma, M.M. & Mu, T.H. 2016. Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin. *Food Chem.* 194: 237-246. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.07.095.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ecuador). 2018. Napo: productores de sachá inchi aprenden a industrializar. En: <https://www.agricultura.gob.ec/napo-productores-de-sacha-inchi-aprende-a-industrializar/>. Fecha de Consulta: 10 de enero de 2020.
- Mannucci, A., Castagna, A., Santin, M., Serra, A., Mele, M. & Ranieri, A. 2019. Quality of flaxseed oil cake under different storage conditions. *LWT*. 104: 84–90. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.01.035.
- Manyeula, F., Mlambo, V., Marume, U. & Sebola, N. A. 2020. Partial replacement of soybean products with canola meal in indigenous chicken diets: size of internal organs, carcass characteristics and breast meat quality. *Poultry Science*. 99: 256 –262. DOI: 10.3382/ps/pez470.
- Maphosa, Y. & Jideani, V.A. 2015. Dietary fiber extraction for human nutrition-A review. *Food Rev. Int.* 32: 98–115. DOI: .1080/87559129.2015.1057840.
- Martínez, M., Díaz, M. F., Hernández, Y., Sarmiento, M. & Sierra F. 2013. Sustitución de pasta de soya comercial (*Glycine max*) por harina de frijol de soya germinada y sin germinar en dietas de pollos de engorde. *Live-*

*stock Research for Rural Development*, 25 (7), from <http://www.lrrd.org/lrrd25/7/mart25120.html>

- Mateos, G.G., Cámara, L., de Juan, A.F., Aguirre, L. & Fondevila, G. 2019. Factores antinutricionales de los ingredientes y su impacto en alimentación de aves y porcino. XXXV Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España. p. 113-132. URL: <https://www.fundacionfedna.org>
- Maurer, N.E., Hatta, B., Pascual, G. & Rodríguez, L.E. 2012. Characterization and authentication of a novel vegetable source of omega-3 fatty acids, sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Food Chem.* 134: 11731180. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.02.143.
- McDonald, P., Edwards, R., Greenhalgh, J. & Morgan, C. 2006. Nutrición animal. 6° ed. Zaragoza, Editorial Acribia. 587 p.
- Mihrete, Y. 2019. Review on Anti Nutritional Factors and their Effect on Mineral Absorption. *Acta Scientific Nutritional Health.* 3(2): 84-89. URL: <https://actascientific.com/ASNH-3-2.php>.
- Miranda, M. & Cuellar, A. 2000. Manual de prácticas de laboratorio. Farmacognosia y productos naturales. Facultad de Farmacia y alimentos de la Universidad de La Habana. La Habana, Cuba. p 10.
- Miranda, R. A. & Guerrero, C. E. 2015. Efecto de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) sobre el desempeño productivo de juveniles de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). *Respuestas.* 20(2): 82-92. DOI: 10.22463/0122820X.355.
- Miranda, V. E. & Acuña, F. 2016. Nivel de aceptación al sabor del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) por parte de adultos y niños de la ciudad de Lima *Metropolitana. Científica.* 13(3):199-211. DOI: 10.21142/cient.v13i3.391.
- Mohammed, A. B., Doma, U. D., Bello, K. M., Yusuf, S. Z. & Alhassan, N. M. 2020. Performance and Economics of Production of Broiler Chickens Fed Dietary Levels of Toasted Full Fat Sunflower Seed Meal (*Helianthus annuus*). *Nig. J. Anim. Sci. Tech.* 3 (2): 197 – 205. URL: <http://njast.com.ng/index.php/home/article/view/94/90>.
- Monforte-Braga, G., Sarmiento-Franco, L., Capetillo-Leal, C., SantosRicalde, R. & Segura-Correa, J. 2006. Comparison of two dietary markers in the determination of amino acid digestibility in some foodstuffs for growing broiler chickens. *Interciencia.* 31(12): 876-880. ISSN: 0378-1844.

- Montagne, L., Piel, C. & Lalle`s, J.P. 2004. Effect of Diet on Mucin Kinetics and Composition: Nutrition and Health Implications. *Nutrition Reviews*. 62(3): 105-104. DOI: 10.1301/nr.2004.mar.105-114.
- Moss, A. F., Sydenham, C. J., Khoddami, A., Naranjo, V. D., Liu, S. Y. & Selle, P. H. 2018. Dietary starch influences growth performance, nutrient utilization and digestive dynamics of protein and amino acids in broiler chickens offered low-protein diets. *Animal Feed Science and Technology*. 237: 55-67. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2018.01.001.
- Motta, E.V.S., Pinto, N.C.C., Duque, A.P.N., Mendes, R. F., Bellozi, P.M.Q. & Scio, E. 2013. Atividades antioxidante, antinociceptiva e antiinflamatória das folhas de *Mucuna pruriens* (L.) DC. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*. 15:2. DOI: 10.1590/S1516-05722013000200015.
- Mtei, A.W., Abdollahi, M.R., Schreurs, N., Girish, C.K. & Ravindra, V. 2019. Dietary inclusion of fibrous ingredients and bird type influence apparent ileal digestibility of nutrients and energy utilization. *Poultry Science*. 98: 6702- 6712. DOI: 10.3382/ps/pez383.
- Mudgil, D. & Barak, S. 2013. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 61:1-6. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2013.06.044.
- Mudgil, D. 2017. The Interaction Between Insoluble and Soluble Fiber. Capítulo 3. En: *Dietary Fiber for the Prevention of Cardiovascular Disease*. Academic Press. Edited by: Rodney A. Samaan. p. 35-59. ISBN: 978-0-12805130-6. DOI: 10.1016/B978-0-12-805130-6.00003-3.
- Muñoz, A., Ramos, F., Ortiz, C. A., Castañeda, B., Barnett, E., Yáñez, J. & Cajaleón, D. 2010. Evaluación del contenido de fitoesteroles, compuestos fenólicos y métodos químicos para determinar la actividad antioxidante en semilla de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 76(3): 234-241. ISSN 1810-634X.
- Mutucumarana, R. K., Ravindran, V., Ravindran, G. & Cowieson, A. J. 2014. Measurement of true ileal digestibility and total tract retention of phosphorus in corn and canola meal for broiler chickens. *Poultry Science*. 93(2): 412-419. DOI: 10.3382/ps.2013-03419.
- Mwaurah, P.W., Nitin, S.K., Kumar, K.A., Panghal, A.A., Singh, V.K. & Garg, M.K. 2019. Novel oil extraction technologies: Process conditions, quality parameters, and optimization. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 19(1):3-

20. DOI: 10.1111/1541-4337.12507.

- Nalle, C.L. & Ravindran, V. 2021. Comparison of methodologies to determine the apparent ileal amino acid digestibility of maize, wheat, lupins, and peas for broiler chickens. *Journal of Applied Animal Nutrition*. 9(2): 93-98. DOI: 10.3920/JAAN2021.0005.
- Nelson, D. L., Cox, M. M., Hoskins, A. A. & Lehninger, A. L. 2021. Lehninger Principles of Biochemistry. Capítulo I. Structure and Catalysis. Editado por: W. H. Freeman & Company, c2021. Octava Edición. New York. ISBN: 9781319381493.
- Nevara, G.A., Muhammad, S.K.S., Zawawi, N., Mustapha, N.A. & Karim, R. 2021. Dietary Fiber: Fractionation, Characterization and Potential Sources from Defatted Oilseeds. *Foods*. 10: 754. DOI: 10.3390/foods10040754.
- Niknam, R., Ghanbarzadeh, B., Ayaseh, A. & Rezagholi, F. 2018. The effects of Plantago major seed gum on steady and dynamic oscillatory shear rheology of sunflower oil-in-water emulsions. *J. Texture Stud.* 49: 536-547. DOI: 10.1111/jtxs.12352.
- 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. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.03.007.
- Núñez, J. de J., Muñoz, M.F., Peña, P. L., Arámbula, C. I., Carvajal, J. C. & González, M. S. 2021. Análisis financiero de la cadena productiva de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*, L.) en el departamento Norte de Santander, Colombia. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*. 7(14):1-10. DOI: 0.5377/ribcc.v7i14.12768.
- Núñez-Torres, O.P. 2017. Los costos de la alimentación en la producción pecuaria. *Journal of the Selva Andina Animal Science*. 4(2): 93-94. URL: <http://ucbconocimiento.ucbcb.edu.bo/index.php/JSAAS/article/view/52/29>.
- Nwosu, C.I., Ibrahim, M. U. & Marire, B. N. 2020. Effect of replacing Nigerian brown beniseed cake for soybean cake in diets of broilers. *Nigerian J. Anim. Sci.* 22 (3): 261-270. URL: <https://www.ajol.info/index.php/tjas/article/view/202145>.

OCDE/FAO. 2020. OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas. Estadísticas de la

- OCDE sobre Agricultura (base de datos). DOI: 10.1787/agr-outl-data-en.
- Ojha, M.L., Chadha, N.K., Saini, V.P., Damroy, S. & Sawant, P.B. 2014. Effect of ethanolic extract of *Mucuna pruriens* on growth, metabolism and immunity of *Labeo rohita* (Hamilton, 1822) fingerlings. *International Journal of Fauna and Biological Studies*. 1(5):1-9. URL: <https://www.faunajournal.com/archives/2014.v1.i5.A.37/effect-of-ethanolicextract-of-mucuna-pruriens-on-growth-metabolism-and-immunity-of-labeorohita-hamilton1822-fingerlings>.
- Onainor, E.R., Sorhue, G.U. & Uguru, J.O. 2018. Effect of Processing Method of Sesame (*Sesamum indicum* Linn.) Seeds on the Growth Performance and Nutrient Utilization of Broiler Chicks. *International Journal of Agriculture and Forestry*. 8(1): 10-15. DOI: 10.5923/j.ijaf.20180801.03.
- Oraby, H.F. & Ramadan, M. F. 2015. Impact of suppressing the caffeic acid O-methyl transferase (COMT) gene on lignin, fiber, and seed oil composition in *Brassica napus* transgenic plants. *Eur. Food Res. Technol.* 240(5): 931-938. DOI: 10.1007/s00217-014-2397-3.
- Orczewska-Dudek, S. & Pietras, M. 2019. The Effect of Dietary Camelina sativa Oil or Cake in the Diets of Broiler Chickens on Growth Performance. *Animals*. 9: 734-749. DOI: 10.3390/ani9100734.
- Ordoñez, V. M. G., Luna, N. J. & Vera, Y. C. 2015. Efecto del ultrasonido en la digestibilidad in vitro de las proteínas. *BISTUA Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*. 13(1): 81-91. DOI: 10.24054/01204211.v1.n1.2015.1670.
- Oryschak, M. A., Christianson, C. B. & Beltranena, E. 2020a. Camelina sativa cake for broiler chickens: effects of increasing dietary inclusion on clinical signs of toxicity, feed disappearance, and nutrient digestibility. *Transl. Anim. Sci.* 4: 1263–1277. DOI: 10.1093/tas/txaa029.
- Oryschak, M. A., Smit, M. N. & Beltranena, E. 2020b. *Brassica napus* and *Brassica juncea* extruded-expelled cake and solvent-extracted meal as feedstuffs for laying hens: Lay performance, egg quality, and nutrient digestibility. *Poultry Science*. 99: 350–363. DOI: 10.3382/ps/pez501.
- Osorio-Carmona, E., Giraldo-Carmona, J., & Narváez-Solarte, W. 2012. Metodologías para determinar la digestibilidad de los alimentos utilizados en la alimentación canina. *Vet. Zootec*. 6(1): 87-97. URL: [http://190.15.17.25/vetzootec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=166](http://190.15.17.25/vetzootec/index.php?option=com_content&view=article&id=166).

- Paredes, D., Valencia, T. & Saavedra, H. 2015. Efectos de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) precocida sobre la estructura histológica del hígado, íleon y el nivel de proteína total en sangre de pollos broiler. *Re-  
vIA*. 5(1 y 2): 25-29. ISSN 2224-445X. URL: [https://revistas.unas.edu.pe/  
index.php/revia/article/view/54/41](https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/54/41).
- Parsons, C. M. 2020. Unresolved issues for amino acid digestibility in poultry nutrition. *J. Appl. Poult. Res.* 29:1–10. DOI: 10.1016/j.japr.2019.12.007.
- Parveen, R., Khan, M. I., Anjum, F. M. & Sheikh, M. A. 2016. Investigating potential roles of extruded flaxseed and a-tocopherol acetate supplementation for production of healthier broiler meat. *Br. Poult. Sci.* 57: 566–575. DOI: 10.1080/00071668.2016.1180669.
- Pastuña-Pullutasig, A., López-Hernández, O., Debut, A., Vaca, A., Rodríguez-Leyes, E., Vicente, R. & Tapia-Hernández, F. 2016. Microencapsulation of oil sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) by spray drying. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3): 422-437. DOI: 10.15446/rcciquifa. v45n3.62029.
- Payvastegan, S., Farhoomand, P., Daneshyar, M. & Ghaffari, M. 2017. Evaluation of different levels of canola meal on performance, organ weight, hepatic deiodinase gene expression and thyroid morphology in broiler chickens. *J. Poult. Sci.* 54: 282–291. DOI: 10.2141/jpsa.0160147.
- Perttilä, S., Jalava, T., Rinne, M., Da Silva Viana, G. & Valaja, J. 2021. Apparent and standardised ileal digestibility coefficients of amino acids in wheat, soybean meal and rapeseed meal for broilers. *Agricultural and Food Science*. 30: 63–73. DOI: 10.2398/afsci/94993.
- Peruchena, C.O. 2004. Suplementación de bovinos para la carne sobre pasturas tropicales, aspectos nutricionales, productivos y económicos. Disponible en: <http://www.ecocarnepuh.htm>. Fecha de consulta: 28 de abril de 2020.
- Petrikovics, I., Budai, M., Kovacs, K. & Thompson, D.E., 2015. Past, present and future of cyanide antagonism research: from the early remedies to the current therapies. *World J. Methodol.* 5: 88–100. DOI: 10.5662/wjm. v5.i2.88.
- Piñeiro-Vázquez, A.T., Canul, J.R., Alayón, J.A., Chay, A.J., Ayala, A.J., Aguilar, C.F., Solorio, F.J. & Ku, J.C. 2015. Potential of condensed tannins for the reduction of emissions of enteric methane and their effect on ruminant productivity. *Archivos Medicina Veterinaria*. 47(3): 263-272. DOI:

10.4067/S0301-732X2015000300002.

- Potty, V. H. 1996. Physico chemical aspects, physiological functions, nutritional importance and technological significance of dietary fibers. A critical appraisal. *J. Food Science Technology*. 33: 1-18. ISSN: 0022-1155.
- Prawirodigdo, S., Gannon, N.J., Leury, B.J. & Dunshea, F.R. 2019. Basal diet and indigestible marker influence apparent digestibility of nitrogen and amino acids of cottonseed meal and soybean meal in pigs. *Animal Nutrition Journal*. 5(3): 234-240. DOI: 10.1016/j.aninu.2019.02.001.
- Preciado, J., Alcívar, E., Prado, A. & Guerra, K. 2021. Condiciones de mercado para la demanda nacional del Sacha Inchi en Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*. XXVII (1): 290- 301. DOI: 10.31876/rcs.v27i1.35314.
- ProFound. 2008. Investigación de Mercado: Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Perú. Disponible en: <https://repositorio.promperu.gob.pe/handle/123456789/1417>. Fecha de consulta: 21 de enero de 2022.
- Ramírez, C. 2011. Sustitución parcial de fuentes proteicas por torta de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en la dieta de pollos en Pucallpa. Tesis de Diploma. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa, Perú. Tesis de Grado. 45 p.
- Ravindran, G., Ravindran, V. & Bryden, W. L. 2006. Total and ileal digestible tryptophan contents of feedstuffs for broiler chickens. *J. Sci. Food Agric*. 86: 1132–1137. DOI: 10.1002/jsfa.2478.
- Ravindran, V. & Abdollahi, M.R. 2021. Nutrition and Digestive Physiology of the Broiler Chick: State of the Art and Outlook. *Animals*. 11: 2795. DOI: 10.3390/ani11102795.
- Ravindran, V. & Bryden, W.L. 1999: Amino acid availability in poultry – in vitro and in vivo measurements. *Aust. J. Agric. Res*. 50: 889–908. DOI: 10.1071/AR98174.
- Ravindran, V. 2016. Feed-induced specific ileal endogenous amino acid losses: Measurement and significance in the protein nutrition of monogastric animals. *Anim. Feed Sci. Technol*. 221: 304-313. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2016.05.013.
- Ravindran, V. 2021. Progress in ileal endogenous amino acid flow research in poultry. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 12:5. DOI: 10.1186/s40104-020-00526-2.

- Ravindran, V., Hew, L. I., Ravindran, M. G. & Bryden, W. L. 1999. A Comparison of Ileal Digesta and Excreta Analysis for the Determination of Amino Acid Digestibility in Food Ingredients for Poultry. *British Poultry Science* 40 (2): 266–274. DOI: 10.1080/00071669987692.
- Rawdkuen, S., Murdayanti, D., Ketnawa, S. & Phongthai, S. 2016. Chemical properties and nutritional factors of pressed-cake from tea and sacha inchi seeds. *Food Biosci.* 15: 64-71. DOI: 10.1016/j.fbio.2016.05.004.
- Reátegui, B.A. 2009. Evaluación de la torta de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) y su uso en tres niveles en la ración alimenticia en pollos parrilleros en Zungarococha”. Tesis de Diploma. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Agronomía Área de producción animal. 31 p.
- Reátegui, R., Paredes, D. & Robles, R. 2015. Determinación del efecto del consumo de la torta de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) sobre el perfil bioquímico sanguíneo de pollos de carne. *Folia Amazónica.* 24(2): 31-38. DOI: 10.24841/fa.v24i2.70.
- Reece, W.O. & Trampel, D.W. 2015. Cap 46. Avian digestion. En: Dukes Physiology of domestic animals. Editores: Reece, W.O., Erickson, H.H., Goff, J.P., Uemura, E.E. 13ª Edición. Ed. WILEY Blackwell.
- Robles-Huaynate, R., Hurtado-Ramírez, L. L. & Paredes-López, D. 2014. Efecto de la torta de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en el perfil bioquímico sanguíneo e histopatología del hígado de aves de postura. *Ciencia Amazónica (Iquitos).* 4(1): 60-66. DOI: 10.22386/ca.v4i1.69.
- Rochell, S. J., Applegate, T. J., Kim, E. J. & Dozier III, W. A. 2012. Effects of diet type and ingredient composition on rate of passage and apparent ileal amino acid digestibility in broiler chicks. *Poultry Science.* 91:1647–1653. DOI: 10.3382/ps.2012-02173.
- Rodríguez, J.I., Vega, K.I. & Solorzano, S.S. 2021. Aceite de Sacha inchi: potenciador de exportaciones no tradicionales en el Ecuador. *RECIAMUC.* 5(1): 491-510. DOI: 10.26820/reciamuc/5.(1).ene.2021.491-510.
- Rodríguez, L. C. 2020. Aislamiento de la proteína a partir de la torta de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo). Tesis para optar por el título de Química Ambiental. Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga. Colombia. 89 pp.

- Romero, H., Valdiviezo, R. & Bonilla, R. 2019. Characterization of sachá inchi seed oil (*Plukenetia volubilis*) from «Canton San Vicente, Manabí, Ecuador», obtained by non-thermal extrusion processes. *La Granja*. 30: 70-79. DOI: 10.17163/lgr.n30.2019.07.
- Roza, L.F., Tavernari, F. de C., Surek, D., Sordi, C., Albino, L.F.T., Paiano, D., Boiogo, M.M., Petrolli, T.G. & Cunha J´unior, A. 2021. Metabolizable energy and amino acid digestibility of mash and pelleted diets for broilers determined under different methodologies. *Animal Feed Science and Technology*. 235: 1-7. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2017.11.003.
- Ruiz, C., Díaz, C., Anaya, J. & Rojas, R. 2013. Análisis proximal, antinutrientes, perfil de ácidos grasos y de aminoácidos de semillas y tortas de 2 especies de Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana*). *Rev. Soc. Quím. Perú*, 79: 29-36. ISSN: 1810 634X.
- Sá, A.G.A., Silva, D.C., Pacheco, M.T.B., Franco, Y. M. & Mattar, B.A. 2021. Oilseed by-products as plant-based protein sources: Amino acid profile and digestibility. *Future Foods*. 3: 100023. DOI: 10.1016/j.fufo.2021.100023.
- Saavedra, J. J., Fogel, B. E., Escobar, P. I. & Castillo, K. Y. 2012. Efectos de la ingesta de *Plukenetia volubilis* Linneo o "Sachá inchi" en el perfil lipídico de adultos jóvenes. *Acta Médica Peruana*. 29(3): 155-160. URL: <https://amp.cmp.org.pe/index.php/AMP/article/view/1206/676>.
- Safari, A., Ahmadpanah, J., Jafaroghli, M. & Karimi, H. 2021. Comparative Study of Growth Patterns for Three Strains of Broiler Chickens Using Mathematical Models. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 86(1): 7582. URL: <https://acs.agr.hr/acs/index.php/acs/article/view/1864>.
- Salgado, H. H. 2017. Estimation of apparent ileal digestibility of amino acids in ingredients used in broiler diets and basal endogenous losses through meta-analysis approach. Tesis presentada en opción al Título Académico de Maestro en Ciencias. Québec, Canadá. 82 pp.
- Sánchez, A. 1990. Enfermedades de las aves. Editorial ENPES. La Habana. p. 285.
- Sánchez, A., Gómez-Guerrero, B. & Billiris, A. 2020. Almacenamiento de arroz: influencia en la inocuidad del grano. *Revista del Laboratorio tecnológico del Uruguay (INNOTEC)*. 19: 109-124. ISSN: 1688-6593. DOI: .26461/19.08.
- Sarwar, F., Qadri, N.A. & Moghal, S. 2013. The role of oilseeds nutrition in

- human health: A critical review. *J. Cereals Oilseeds*. 4: 97–100. DOI: 10.5897/JCO12.024.
- Savón, L. 2014. Tropical roughage meals: effects on some physiological indicators in pigs. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*. 21 (3):99108.
- Savón, L., Gutiérrez, O., González, T. & Orta, M. 1999. Manual de caracterización físico-química de alimentos. Editorial EDICA, La Habana, Cuba.
- Savón, L., Scull, I. & Hernández, Y. 2012. Características físico-químicas de la harina de follaje de moringa. En: Memorias I Taller Nacional de Moringa oleifera. 31 de octubre -11 de noviembre. *Instituto de Ciencia Animal. Mayabeque, Cuba*. [CD-ROM]
- Scanes, C.G. 2015b. Protein metabolism. En: Sturkie's Avian Physiology. Editado por: Scanes, C.G. Sexta edición. *Academic Press, Elsevier Inc., Waltham, MA*. p. 455-468. ISBN978-0-12-407160-5. DOI: 10.1016/C2012-002488-X.
- Scanes, G. C. 2015a. Blood. Capítulo 10. En: Sturkie's Avian Physiology. Editado por: Colin G. Scanes. Sexta Edición. Academic Press, Elsevier Inc., Waltham, MA. p. 167- 191. ISBN978-0-12-407160-5. 10.1016/C2012-0-02488X.
- Scull, I. 2018. Caracterización química de la harina de forraje de *Stizolobium atherimum* y su evaluación como antioxidante natural para la alimentación animal. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Mayabeque, Cuba. p. 18.
- Scholey, D. V., Marshall, A. & Cowan, A. A. 2020. Evaluation of oats with varying hull inclusion in broiler diets up to 35 days. *Poultry Science* 99: 2566–2572. DOI: 10.1016/j.psj.2019.12.043.
- Sebastian, S., Touchburn, S.P., Chavez, E.R. & Lague, P.C. 1997. Apparent digestibility of protein and amino acids in broiler chickens fed a cornsoybean diet supplemented with microbial phytase. *Poultry Science*. 76: 1 760-1 769. DOI: 10.1093/ps/76.12.1760.
- Secombe, C.J. & Lester, G.D. 2012. The role of diet in the prevention and management of several equine diseases. *Animal Feed Science and Technology*. 173(1-2): 86-101. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2011.12.017.
- Serrapica, F., Masucci, F., Raffrenato, E., Sannino, M., Vastolo, A., Assunta, C. M. & Di Francia, A. 2019. High Fiber Cakes from Mediterranean Multi-

- purpose Oilseeds as Protein Sources for Ruminants. *Animals*. 9: 918928. DOI: 10.3390/ani9110918.
- Setyahadi, S. 2022. Animal Feed from Oil Producing Plants. Capítulo 31. En: Biorefinery of Oil Producing Plants for Value Added Products, Volume 2. Editor por: Suraini Abd-Aziz, Misri Gozan, Mohamad Faizal Ibrahim, LaiYee Phang. Publicado por: Wiley Online Library. DOI: 1002/9783527830756.ch31.
- Shehu, F. N., Onimisi, P. A., Yaqoob. R., Aliyu, A. M., Inuwa, I., Muhammad, H. & Ahmad, A. 2021. Growth Performance and Nutrient Digestibility of Broiler Chickens Fed Three Seed Cake-Based Diets. *Nig. J. Anim. Sci. Tech.* 4(3): 20-28. URL: <http://njast.com.ng/index.php/home/article/view/155/151>.
- Short, F.J., Gordon, P., Wiseman, J. & Boorman, K. N. 1996. Determination of titanium dioxide added as an inert marker in chicken digestibility studies. *Animal Feed Science and Technology*. 59: 215-221. DOI: 10.1016/0377-8401(95)00916-7.
- Siegerstetter, S. C., Petri, R. M., Magowan, E., Lawlor, P. G., Zebeli, Q., O'Connell, N. E. & Metzler-Zebeli, B. U. 2018. Feed restriction modulates the fecal microbiota composition, nutrient retention, and feed efficiency in chickens divergent in residual feed intake. *Frontiers in microbiology*. 9: 2698. DOI: 10.3389/fmicb.2018.02698.
- Slominski, B. A. 2018. Advances in the Understanding of Dietary Fibre and its Components in Relation to the Use of Alternative Feed Ingredients in Modern Poultry and Livestock Production. En: Proceedings of 2nd Animal Nutrition Conference of Canada. 2-3 May 2018. Edmonton, Alberta. Canada. pp. 107-130.
- Smeets, N., Nuyens, F., Van Campenhout, L., Delezie, E., Pannecouque, J. & Niewold, T. 2015. Relationship between wheat characteristics and nutrient digestibility in broilers: comparison between total collection and marker (titanium dioxide) technique. *Poultry Science*. 94(7): 1584-1591. DOI: 10.3382/ps/pev116.
- Soliman, E.S. & Hassan, R.A. 2020. Influence of housing floor on air quality, growth traits, and immunity in broiler chicken farms. *Adv. Anim. Vet. Sci.* 8(9): 997-1008. DOI: 10.17582/journal.aavs/2020/8.9.997.1008.
- Solomon, J. 2018. Evaluation of oil cakes from amarula (*Sclerocarya birrea*), macadamia (*Integrifolia*) and baobab (*Adansonia digitate* L.) as protein

- supplements for ruminant diets. Tesis para optar por el título de Maestro en Ciencias en Agricultura. Universidad de South África. South África. 70 pp.
- Sperandio, L. 2013. Anatomia e fisiologia das aves domésticas. Curso de Avicultura. Instituto Federal Goiano. Campus Uratí. Ministerio de Educación. Brasil. 89 p.
- Srichamngong, W., Ting, P., Pitchakarn, P., Nuchuchua, O. & Temviriyankul, P. 2018. Safety assessment of *Plukenetia volubilis* (Inca peanut) seeds, leaves, and their products. *Food Sci Nutr*. 6(4): 962-969. DOI: 10.1002/fsn3.633.
- Stein, H. H., Sève, B., Fuller, M. F., Moughan, P. J. & de Lange, C. F. M. 2007. Invited review: amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: terminology and application. *J. Anim. Sci*. 85:172-180. DOI:10.2527/jas.2005-742.
- Svihus, B. & Itani, K. 2019. Intestinal Passage and Its Relation to Digestive Processes. *J. Appl. Poult. Res.* 28: 546-555. DOI:10.3382/japr/pfy027.
- Svihus, B. 2014. Adaptación de las prácticas de manejo para mejorar la funcionalidad del tracto digestivo en aves. Norwegian University of life Sciences. XXX Curso de especialización FEDNA. Madrid, España. p. 31-41. URL: <https://www.fundacionfedna.org> 202.
- Svihus, B., Choct, M. & Classen, H. L. 2013. Function and nutritional roles of the avian caeca: a review. *Worlds Poult. Sci. J.* 69:249-264. DOI: 10.1017/S0043933913000287.
- Talebi, A., Asrizaei, S., Rozehchai, R. & Sahraei, R. 2005. Comparative studies on haematological values of broiler strains (Ross, Cobb, Arbor acres and Arian). *International Journal of Poultry Science*: 4 (8): 573-57. ISSN 1682-8356.
- Tamburawa, S., Zango, H., Khaleel, G. & Makinde, J. 2018. Response of finisher broilers fed toasted cotton seed cake meal based diets. *Wayamba Journal of Animal Science*. *Article Number* 1519407208, p. 1641- 1647. ISSN: 2012-578X.
- Tanchaorenrat, P., Ravindran, V., Zaefarian, F. & Ravindran, G. 2014. Digestion of fat and fatty acids along the gastrointestinal tract of broiler chickens. *Poultry Science*. 93(2): 371-379. DOI: 10.3382/ps.2013-03344.

- Tang, E. A. 2017. Evaluación de cuatro niveles de sustitución de fuentes proteicas por torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en el rendimiento productivo de pollos de carne en la etapa de crecimiento y engorde en Pucallpa. Tesis de Diploma. Universidad Nacional de Ucayali. Perú. 90 p. URL: <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3741>.
- Tarek-Tilistyák, J., Juhász-Román, M., Jeko, J. & Mathe, E. 2014. Shortterm storability of oil seed and walnut cake-Microbiological aspect. *Acta Aliment.* 43: 632–639. DOI: 10.1556/aalim.43.2014.4.13.
- Tejada-Ortigoza, V., García-Cayuela, T., Welti-Chanes, J., Cano, M.P. & Torres, J.A. 2020. Emerging Technologies for the Extraction and Modification of Dietary Fiber. En: Science and Technology of Fibers in Food Systems; Food Engineering Series. Editores: Welti-Chanes, J., Serna-Saldívar, S.O., Campanella, O., Tejada-Ortigoza, V. Publicado por: Springer International Publishing: Cham, Switzerland. Pp.363–381. ISBN 978-3-030-38654-2.
- Tejeda, O.J. & Kim, W.K. 2021. Role of Dietary Fiber in Poultry Nutrition. *Animals*. 11: 461. DOI: 10.3390/ani11020461.
- Terrien, C. 2017. Available Protein Substitutes. En: Meat Analogs, pp. 65–124. DOI: 10.1016/B978-1-78548-248-9.50003-0 211.
- Thompson, K. L. & Applegate, T. J. 2006. Feed Withdrawal Alters SmallIntestinal Morphology and Mucus of Broilers. *Poultry Science*. 85(9): 15351540. DOI: 10.1093/ps/85.9.1535.
- Toghyani, M., Rodgers, N., Iji, P.A. & Swick, R.A. 2015. Standardized ileal amino acid digestibility of expeller-extracted canola meal subjected to different processing conditions for starter and grower broiler chickens. *Poultry Science*. 94: 992–1002. DOI: 10.3382/ps/pev047.
- Torres, D. M. & Hurtado, V. L. 2012. Requerimientos nutricionales para Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Orinoquia*. 16(1): 63-68. DOI: 10.22579/20112629.266.
- Tóthová, C., Sesztáková, E., Bielik, B. & Nagy, O. 2019. Changes of total protein and protein fractions in broiler chickens during the fattening period. *Veterinary World*. 12(4): 598-604. DOI: 10.14202/vetworld.2019.598-604.
- Tóthová, C.S., Major, P., Molnár, L. & Nagy, O. 2017. Protein electrophoresis in avian medicine. En: Gel Electrophoresis: Types, Applications and Research Editado por: Mitchell, G.H. Nova Science Publishers, Inc., New

York. p. 157-187.

- Ullah, Z., Rehman, Z. U., Yin, Y., Stein, H. H., Hayat, Z., Ahmed, G., Nisa, M., Akhtar, M. & Sarwar, M. 2017. Comparative ileal digestibility of amino acids in 00-rapeseed meal and rapeseed meal fed to growing male broilers. *Poultry Science*. 96: 2736–2742. DOI: 10.3382/ps/pex083.
- Urge, M. & Ashnie, E. 2012. Effects of different levels of solvent extracted rapeseed (*Brassica Carinata*) meal replacement to soybean meal on the performance of broiler chicks. Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias., Universidad de Haramaya. Ethiopia. 100 p.
- Urriola, P. E., Cervantes-Pahm, S. K. & Stein, H. H. 2013. Fiber in Swine Nutrition. En: Sustainable Swine Nutrition. Ed: L. I. Chiba. Publicado: Blackwell Publishing Ltd. John Wiley & Sons, Inc., Ames, IA. pp. 255-276. DOI: 10.1002/9781118491454.ch11.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2022. Oilseeds: World Markets and Trade. Disponible en: <https://public.govdelivery.com/accounts/USDAFAS>. Fecha de consulta: 13 de enero de 2022.
- Valdivieso, J. F. 2015. Utilización de diferentes niveles de semilla de *Plukenetia volubilis* (Sacha inchi), en conejos neozelandeses desde el destete hasta el inicio de la vida reproductiva. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. 70 p.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. y Lewis, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral, detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597. DOI: 10.3168/jds.S00220302(91)78551-2.
- Vásquez D. C. 2016. Aprovechamiento de subproductos de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Desarrollo de un producto alimenticio, empleando harina proveniente de torta residual en la extracción del aceite. Tesis para optar el título de Maestro en Innovación Alimentaria y Nutrición, Corporación Universitaria Lasallista, Caldas, Antioquia. 146pp.
- Vásquez, D.C., Jaramillo, J.D., Hincapié, G.A. & Vélez, L.M. 2017. Desarrollo de galletas empleando harina de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) obtenida de la torta residual. *UGCiencia* 23: 101-113. DOI: 10.18634/ugcj.23v.Oi.781.
- Veloz, G. 2014. Efecto de diferentes niveles de *Plukenetia volubilis* (Sacha inchi) en el engorde de broiler. Tesis de Diploma. Escuela Politécnica del

Chimborazo. Riobamba- Ecuador. 32 p.

- Vera, A. 2020. Avances en nutrición acuícola con *Plukenetia volubilis* (sache-inchi) como sustituto proteico en formulación de alimento balanceado. Tesis de Diploma. Universidad Técnica de Machala. Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador. 34p.
- Vilcanqui-Pérez, F. & Vílchez-Perales, C. 2017. Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. *Revisión. Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 67(2). ISSN 0004-0622. URL: <https://www.alanrevista.org/ediciones/2017/2/art-10/>. 227.
- Villarroel, M., Acevedo, C., Yañez, E. & Biolley E. 2003. Propiedades funcionales de la fibra del musgo *Sphagnum magellanicum* y su utilización en la formulación en productos de panadería. *Arch. Latinoam. Nutr.* 53(4): 400408. ISSN 0004-0622. URL: <https://www.alanrevista.org/ediciones/2003/4/art10/>
- Vizovišek, M., Vidmar, R., Drag, M., Fonovi, M., Salvesen, G.S. & Turk, B. 2018. Protease Specificity: Towards In Vivo Imaging Applications and Biomarker Discovery. *Trends in Biochemical Sciences*. 1-16. DOI: .1016/j.tibs.2018.07.003.
- Wang, S. & Zhu, F. K. 2018. Nutritional composition biological activity and use. *Food Chemistry*, 265: 316-328. DOI: 1016/j.foodchem.2018.05.055.
- Wang, S., Zhu, F. & Kakuda, Y. 2018a. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses. *Food Chemistry*: 316–328. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.05.055.
- Wang, T., Osho, S. O. & Adeola, O. 2018b. Additivity of apparent and standardized ileal digestibility of amino acid determined by chromic oxide and titanium dioxide in mixed diets containing wheat and multiple protein sources fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*. 96(11): 4731-4742. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/sky326>.
- WHO. 2004. Codex guideline for use of nutrition and health claims - CAC/GL 23-1997. WHO/FAO, pp. 1–8.
- Williams, B.A., Mikkelsen, D., Flanagan, B. M. & Gidley, M.J. 2019. “Dietary fibre”: moving beyond the “soluble/insoluble” classification for monogastric nutrition, with an emphasis on humans and pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 10: 45-57. DOI: 10.1186/s40104-0190350-9.

- Woyengo, T. A., Beltranena, E. & Zijlstra, R.T. 2017. Effect of antinutritional factors of oilseed co-products on feed intake of pigs and poultry. *Anim. Feed Sci. Technol.* 233:76–86. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2016.05.006.
- Woyengo, T. A., Patterson, R., Slominski, B. A., Beltranena, E. & Zijlstra, R. T. 2016. Nutritive value of cold-pressed camelina cake with or without supplementation of multi-enzyme in broiler chickens. *Poultry Science*. 95: 2314–2321. DOI:10.3382/ps/pew098.
- Wrolstad, R. E. 2012. Nutritional roles of carbohydrates. In: Food carbohydrate chemistry. Wrolstad, R. E. (ed). John Wiley & Sons, Inc., Ames, IA. pp. 147-164. DOI: 10.1002/9781118688496.ch9.
- Wu, G. 2014. Dietary requirements of synthesizable amino acids by animals: a paradigm shift in protein nutrition. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 5: 3446. URL: <http://www.jasbsci.com/content/5/1/34>.
- Yadav, S. & Jha, R. 2021. Macadamia nut cake as an alternative feedstuff for broilers: Effect on growth performance. *Animal Feed Science and Technology*. 275: 114873. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2021.114873.
- Yadav, S., Mishra, B. & Jha, R. 2019. Cassava (*Manihot esculenta*) root chips inclusion in the diets of broiler chickens: effects on growth performance, ileal histomorphology, and cecal volatile fatty acid production. *Poult. Sci.* 98: 4015. DOI: 10.3382/ps/pez143.
- Yadav, S., Teng, P.-Y., Choi, J., Singh, A.K. & Kim, W.K. 2022. Nutrient profile and effects of carinata meal as alternative feed ingredient on broiler performance, tight junction gene expression and intestinal morphology. *Poultry Science*. 101:101411. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101411.
- Yilmazer-Musa, M., Griffith, A. M., Michels, A. J., Schneider, E. & Frei, B. 2012. Grape seed and tea extracts and catechin 3-gallates are potent inhibitors of  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60(36): 8924–8929. DOI: 10.1021/jf301147n.
- You, Q., Chen, F., Wang, X., Luo, P. G. & Jiang, Y. 2011. Inhibitory effects of muscadine anthocyanins on  $\alpha$ -glucosidase and pancreatic lipase activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59(17): 9506–9511. DOI: 10.1021/jf201452v.
- Yuesheng, Z. Y. G. 2008. Comparison of total collection method and Cr2O3 indicator method for determining apparent metabolizable energy for broiler chicken. *J. China Feed*. 8.

- Zajac, M., Kiczorowska, B., Samolin, W. & Klebaniuk, R. 2020. Inclusion of Camelina, Flax, and Sunflower Seeds in the Diets for Broiler Chickens: Apparent Digestibility of Nutrients, Growth Performance, Health Status, and Carcass and Meat Quality *Traits*. *Animals*.10: 321-337. DOI: 10.3390/ani10020321.
- Zajac, M., Kiczorowska, B., Samolin\_ska, W., Kowalczyk-Pecka, D., Andrejko, D. & Kiczorowskiz, P. 2021. Effect of inclusion of micronized camelina, sunflower, and flax seeds in the broiler chicken diet on performance productivity, nutrient utilization, and intestinal microbial populations. *Poultry Science*. 100: 1-12. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101118.
- Zentek, J. & Goodarzi Boroogeni, F. 2020. (Bio)Technological processing of poultry and pig feed: Impact on the composition, digestibility, anti-nutritional factors and hygiene. *Animal Feed Science and Technology*. 268: 114576. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114576.
- Zhang, K. X., Zhang, K. Y., Applegate, T. J., Bai, S. P., Ding, X. M., Wang, J. P., Peng, H. W., Xuan, Y., Su, Z. W. & Zeng, Q. F. 2020. Evaluation of the standardized ileal digestibility of amino acids of rapeseed meals varying in protein solubility for Pekin ducks. *Poultry Science*. 99:1001–1009. DOI: .1016/j.psj.2019.10.012.

Sacha inchi (***Plukenetia volubilis***)  
su aporte nutricional y económico en la  
**PRODUCCIÓN ANIMAL**

*Anexos*



## Anexo 1

### Listado de abreviaturas.

Abreviatura	Significado
$\omega$ -3	Ácidos grasos Omega 3
$\omega$ -6	Ácidos grasos Omega 6
$\omega$ -9	Ácidos grasos Omega 9
$\alpha$	Alfa
AA	Aminoácidos
CAA	Capacidad de adsorción de agua
CRA	Capacidad de retención de agua
cm	Centímetro
CV	Coeficiente de variación
pH	Concentración hidrogeniónica
HPLC	Cromatografía líquida de alta presión
DE $\pm$	Desviación estándar
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
TiO <sub>2</sub>	Dióxido de titanio
USD	Dólar estadounidense
EB	Energía bruta
EM	Energía metabolizable
E.E $\pm$	Error estándar
EE	Extracto etéreo
ELN	Extracto libre de nitrógeno
FB	Fibra bruta
FDA	Fibra detergente ácido
FDN	Fibra detergente neutro
FD	Fibra dietética
FDI	Fibra dietética insoluble
FDS	Fibra dietética soluble
GSH	Glutación
°C	Grados centígrados
g	Gramos

ha	Hectárea
Ht	Hematocrito
Hb	Hemoglobina
h	Hora
I. Delgado	Intestino delgado
kg	Kilogramo
MS	Materia seca
m	Metro
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
mg	Miligramo
mL	Mililitro
mm	Milímetros
N	Nitrógeno
No.	Número
PV	Peso vivo
%	Por ciento
PNA	Polisacáridos no amiláceos
PB	Proteína bruta
rpm	Revoluciones por minuto
t	Tonelada
Tau	Taurina
TGI	Tracto gastrointestinal
p-valor	Valor de probabilidad
Vitam.	Vitamina

**Fuente:** Los autores

## Anexo 2

### Costos de los tratamientos experimentales.

Período (USD.100 kg <sup>-1</sup> )	Nivel de sustitución de soya por sachá inchi en la dieta, %			
	0	10	20	30
Inicio	54.46	52.77	50.95	49.24
Crecimiento	53.30	51.61	50.06	48.92
Acabado	52.01	50.54	49.21	47.95

Fuente: Los autores

## Anexo 3

### Costos de las materias primas.

Materia prima	Costos (USD)	Fuente
Harina de maíz (kg)	0.334	MAISHA
Torta de soya (44%) (kg)	0.667	MAISHA
Torta de sachá inchi (kg)	0.267	Núñez et al. (2021)
Polvillo de arroz (kg)	0.289	MAISHA
Aceite de palma (kg)	1.00	MAISHA
Biofos (50 kg)	37.50	DISAVIMO1
Carbonato de calcio (25 kg)	4.50	DISAVIMO
Premezcla minero-vitamínica inicio (12 kg)	67.50	DISAVIMO
Premezcla minero-vitamínica crecimiento (11 kg)	70.00	DISAVIMO
Premezcla minero-vitamínica finalización (10 kg)	54.00	DISAVIMO

Fuente: Los autores

## Anexo 4

### Ficha de costo de producción de pollos de ceba del tratamiento control.

Concepto	Canti- dad	Unidad de medida	Precio unita- rio (USD)	Total (USD)
<b>I. COSTOS DIRECTOS</b>				
<b>MATERIA PRIMA</b>				
Pollitos	60	U	0.62	37.20
<b>SUBTOTAL</b>				<b>37.20</b>
<b>ALIMENTACIÓN</b>				
Inicio	50.11	100 kg	54.46	27.29
Crecimiento	111.75	100 kg	53.30	59.56
Finalización	81.31	100 kg	52.01	42.29
<b>SUBTOTAL</b>				<b>129.14</b>
<b>VACUNAS Y SUPLEMENTOS VITAMÍNICOS</b>				
Vacunas (Newclaste+Gum- boro)	2	Frasco x 100 dosis	2.50	5.00
Electrovit (electrolitos)	1	Frasco 1 L	12.00	12.00
Vitaminas	4	Sobres 50 g	1.00	4.00
Fulltrex (desinfectante de galpón)	1	Frasco 1 L	8.00	8.00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>29.00</b>
<b>SUBTOTAL DE COSTOS DIRECTOS</b>				<b>195.34</b>
<b>II. COSTOS INDIRECTOS</b>				
Cáscara de arroz	6	Sacos	0.30	1.80

Agua potable	5	Tanques (100 L)	0.75	3.75
Mano de obra no calificada				20.00
Asistencia técnica				15.00
SUBTOTAL DE COSTOS INDIRECTOS				40.55
TOTAL DE COSTOS DE PRODUCCIÓN (USD)				235.89

Fuente: Los autores

## Anexo 5

### Ficha de costo de producción de pollos de ceba del tratamiento 10 % de torta de sachá inchi.

Concepto	Cantidad	Unidad de medida	Precio unitario (USD)	Total (USD)
<b>I. COSTOS DIRECTOS</b>				
<b>MATERIA PRIMA</b>				
Pollitos	60	U	0.62	37.20
SUBTOTAL				37.20
<b>ALIMENTACIÓN</b>				
Inicio	55.20	100 kg	52.77	29.12
Crecimiento	122.40	100 kg	51.61	63.15
Finalización	89.20	100 kg	50.54	45.07
SUBTOTAL				137.34
<b>VACUNAS Y SUPLEMENTOS VITAMÍNICOS</b>				
Vacunas (Newclaste+-Gumboro)	2	Frasco x 100 dosis	2.50	5.00
Electrovit (electrolitos)	1	Frasco 1 L	12.00	12.00
Vitaminas	4	Sobres 50 g	1.00	4.00

Fulltrex (desinfectante de gal- pón)	1	Frasco 1 L	8.00	8.00
SUBTOTAL				29.00
SUBTOTAL DE COSTOS DI RECTOS				203.54
II. COSTOS INDIRECTOS				
Cáscara de arroz	6	Sacos	0.30	1.80
Agua potable	5	Tanques (100 L)	0.75	3.75
Mano de obra no cali- ficada				20.00
Asistencia técnica				15.00
SUBTOTAL DE COSTOS INDIRECTOS				40.55
TOTAL DE COSTOS DE PRODUCCIÓN (USD)				244.09

**Fuente:** Los autores

## Anexo 7

### Ficha de costo de producción de pollos de ceba del tratamiento 20 % de torta de sachá inchi.

Concepto	Cantidad	Unidad de medida	Precio unitario (USD)	Total (USD)
<b>I. COSTOS DIRECTOS</b>				
<b>MATERIA PRIMA</b>				
Pollitos	60	U	0.62	37.20
<b>SUBTOTAL</b>				37.20
<b>ALIMENTACIÓN</b>				
Inicio	54.26	100 kg	50.95	27.64
Crecimiento	118.21	100 kg	50.06	59.18
Finalización	82.49	100 kg	49.21	40.59
<b>SUBTOTAL</b>				127.41
<b>VACUNAS Y SUPLEMENTOS VITAMÍNICOS</b>				
Vacunas (Newclaste+-Gumboro)	2	Frasco x 100 dosis	2.50	5.00
Electrovit (electrolitos)	1	Frasco 1 L	12.00	12.00
Vitaminas	4	Sobres 50 g	1.00	4.00
Fulltrrx (desinfectante de galpón)	1	Frasco 1 L	8.00	8.00
<b>SUBTOTAL</b>				29.00
<b>SUBTOTAL DE COSTOS DIRECTOS</b>				<b>193.61</b>
<b>II. COSTOS INDIRECTOS</b>				
Cáscara de arroz	6	Sacos	0.30	1.80
Agua potable	5	Tanques (100 L)	0.75	3.75
Mano de obra no calificada				20.00

---

Asistencia técnica				15.00
<b>SUBTOTAL DE COSTOS INDIRECTOS</b>				<b>40.55</b>
<b>TOTAL DE COSTOS DE PRODUCCIÓN (USD)</b>				<b>234.16</b>

**Fuente:** Los autores

## Anexo 8

### Ficha de costo de producción de pollos de ceba del tratamiento 30 % de torta de sachá inchi.

Concepto	Cantidad	Unidad de medida	Precio unitario (USD)	Total (USD)
<b>I. COSTOS DIRECTOS</b>				
<b>MATERIA PRIMA</b>				
Pollitos	60	U	0.62	37.20
<b>SUBTOTAL</b>				<b>37.20</b>
<b>ALIMENTACIÓN</b>				
Inicio	55.81	100 kg	49.24	27.48
Crecimiento	118.54	100 kg	48.92	57.99
Finalización	84.02	100 kg	47.95	40.28
<b>SUBTOTAL</b>				<b>125.75</b>
<b>VACUNAS Y SUPLEMENTOS VITAMÍNICOS</b>				
Vacunas(Newclaste+Gum-boro)	2	Frasco x 100 dosis	2.50	5.00
Electrovit (electrolitos)	1	Frasco 1 L	12.00	12.00
Vitaminas	4	Sobres 50 g	1.00	4.00
Fulltrex (desinfectante de galpón)	1	Frasco 1 L	8.00	8.00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>29.00</b>
<b>SUBTOTAL DE COSTOS DIRECTOS</b>				<b>191.95</b>
<b>II. COSTOS INDIRECTOS</b>				
Cáscara de arroz	6	Sacos	0.30	1.80
Agua potable	5	Tanques (100 L)	0.75	3.75
Mano de obra no calificada				20.00
Asistencia técnica				15.00
<b>SUBTOTAL DE COSTOS INDIRECTOS</b>				<b>40.55</b>
<b>TOTAL DE COSTOS DE PRODUCCIÓN (USD)</b>				<b>232.50</b>

**Fuente:** Los autores

# Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) su aporte nutricional y económico en la **PRODUCCIÓN ANIMAL**



Publicado en Ecuador  
Enero 2025

Edición realizada desde el mes de octubre del 2024 hasta  
enero del año 2025, en los talleres Editoriales de MAWIL  
publicaciones impresas y digitales de la ciudad de Quito.

Quito – Ecuador

Tiraje 30, Ejemplares, A5, 4 colores; Offset MBO  
Tipografía: Helvetica LT Std; Bebas Neue; Times New Roman.  
Portada: Collage de figuras representadas y citadas en el libro.