

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO
SÁNCHEZ CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ZOOTÉCNICA



**“EVALUACIÓN DE UNA FUENTE DE FITASA EN DIETAS CON
GRANOS SECOS DE DESTILERIA CON SOLUBLES PARA POLLOS
DE ENGORDE”**

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ZOOTECNISTA**

ASESOR.

Dr. FELIX ESTEBAN AIRAHUACHO BAUTISTA

Bach. EDGAR ANIBAL ZORRILLA GÓMEZ

Bach. ALAN JESÚS YZAGUIRRE RETUERTO

Huacho, Perú

2022

ZORRILLA TURNITIN

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante	4%
2	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	3%
3	grad.uprm.edu Fuente de Internet	2%
4	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	dehesa.unex.es Fuente de Internet	1%
7	bibliometria.ucm.es Fuente de Internet	<1%
8	"Summaries", World's Poultry Science Journal, 2019 Publicación	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO
SÁNCHEZ CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ZOOTÉCNICA

**“EVALUACIÓN DE UNA FUENTE DE FITASA EN DIETAS CON
GRANOS SECOS DE DESTILERIA CON SOLUBLES PARA POLLOS
DE ENGORDE”**

Jurado evaluador:

Dr. Carlomagno Ronald Velásquez Vergara
Presidente

M(o) Hilario Noberto Pujada Abad
Secretario

Mg. Sc. Ángel Gerardo Vásquez Requena
Vocal

Dr. Felix Esteban Airahuacho Bautista
Asesor

HUACHO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres. Telesforo Zorrilla Huerta y Juana Gómez Santos, que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un profesional con ética. A mis hermanos por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis abuelitos Papá Miguel y Mamá Rosa, que Dios los tenga en su Gloria y ahora son mis ángeles y sé que se encuentran muy orgullosos de su nieto y desde donde están me bendicen a diario a lo largo de mi vida me protegieron y me llevaron por el camino del bien. Con mucho cariño su Alan querido.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a aquellas personas que nos brindaron su apoyo durante el desarrollo de la presente tesis:

- Un agradecimiento muy especial merece los miembros del jurado de sustentación, por la comprensión y paciencia.
- Al Dr. Félix Airahuacho Bautista, asesor de esta investigación, por el apoyo moral, supervisión y seguimiento de la investigación.
- Al Mg. Emmanuel Sessarego Dávila, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua y con quien nos encontramos en deuda por el ánimo infundido y la confianza en nosotros depositada.

A todos ellos, muchas gracias.

ÍNDICE

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.1. Descripción de la realidad problemática	7
1.2. Formulación del problema	7
1.3. Objetivos de la investigación	8
1.4. Justificación de la Investigación	9
1.5. Delimitaciones del estudio	9
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	10
2.1. Antecedentes de la investigación	10
2.2. Bases teóricas	13
2.2.1. Fitato	13
2.2.2. Fitasas	16
2.2.3. Fuentes de fitasa	19
2.2.4. Nutrición del fósforo en pollos de engorde	21
2.2.5. Los DDGS y su inclusión en la dieta de pollos de engorde	22
2.3. Definición de términos básicos	28
2.4. Hipótesis de investigación	29
2.4.1. Hipótesis general	29

2.4.2. Hipótesis específicas	29
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	31
3.1. Diseño metodológico	31
3.1.1. Ubicación	31
3.1.2. Materiales e insumos.....	31
3.1.3. Diseño experimental.....	44
3.1.4. Tratamientos... ..	44
3.1.5 Características del área experimental.....	44
3.1.6 Variables a evaluar	45
3.1.7 Conducción del experimento.....	45
3.2. Población y muestra	35
3.3. Técnicas de recolección de datos	35
3.4. Técnicas para el procesamiento de la información	37
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	38
4.1. Peso vivo.....	38
4.2. Consumo de alimento.....	39
4.3. Conversión alimenticia.....	40
4.4. Retribución económica.....	41
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN	42

5.1. Peso vivo	42
5.2. Consumo de alimento.....	43
5.3. Conversión alimenticia.....	43
5.4. Retribución económica.....	44
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
6.1. Conclusiones	45
6.2. Recomendaciones.....	45
CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	46
ANEXOS	54
Anexo 1: Peso vivo de las aves de 8 a 28 días de edad.....	54
Anexo 2: Consumo acumulado de alimento de las aves de 8 a 28 días de edad.....	55
Anexo 3: Conversión alimenticia de las aves de 8 a 28 días de edad.	56
Anexo 4: Análisis del presupuesto de normalidad con Shapiro-Wilk	57
Anexo 5: Análisis del presupuesto de homogeneidad de varianza con Bartlett.....	58
Anexo 6: Anova de los parámetros evaluados	59
Anexo 7: Prueba de Tukey de los parámetros evaluados.....	60

RESUMEN

Objetivo: Evaluar el efecto de la inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, sobre el comportamiento productivo en pollos de engorde de ocho hasta los 28 días de edad. **Metodología:** El experimento fue un diseño completamente al azar con tres tratamientos y cinco replicas. Cada replica estuvo formada por cinco pollitos. Los tratamientos fueron: una dieta control convencional equilibrada en todos los nutrientes y dos dietas con inclusión de 12% DDGS, deficientes en 38 y 58% de fosforo disponible, pero suplementadas con 0,02 y 0,03% de fitasa (Phyzyme XP 5000G), respectivamente. **Resultados:** Se encontró diferencias estadísticas significativas para el peso corporal y consumo de alimento entre los tratamientos a un nivel de significancia del 5%. No se encontró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para la conversión alimenticia y la retribución económica. **Conclusión:** El peso corporal con dietas disminuidas en fosforo disponible pero suplementadas con fitasas, fueron inferiores con respecto al control. El consumo de alimento con dietas disminuidas en fosforo disponible pero suplementadas con fitasas fue inferior o tiende a disminuir. Estos resultados sugieren que la fitasa suplementada o la cantidad de fósforo presente en el fitato, y que se supone seria liberado por la fitasa, no sería lo suficiente para cubrir el fósforo mínimo requerido, reflejándose en un menor peso corporal y consumo de alimento

Palabras clave: fitasa, fosforo disponible, deficiencia nutricional

ABSTRACT

Objective: To evaluate the effect of the inclusion of the phytase enzyme in diets using DDGS, and with decreased levels of available phosphorus, on the productive behavior of broilers from eight to 28 days of age. **Methodology:** The experiment was a completely randomized design with three treatments and five replicates. Each replica consisted of five chicks. The treatments were: a conventional control diet balanced in all nutrients and two diets including 12% DDGS, deficient in 38 and 58% available phosphorus, but supplemented with 0,02 and 0,03% phytase (Phyzyme XP 5000G), respectively. **Results:** Significant statistical differences were found for body weight and feed intake between treatments at a significance level of 5%. No significant statistical differences were found between the treatments for feed conversion and economic retribution. **Conclusion:** The body weight with diets reduced in available phosphorus but supplemented with phytase, were lower compared to the control. Feed intake with diets diminished in available phosphorus but supplemented with phytase was lower or tends to decrease. These results suggest that the supplemented phytase or the amount of phosphorus present in the phytate, and that is supposed to be released by the phytase, would not be enough to complete the minimum required phosphorus, reflecting in a lower body weight and food consumption.

Keywords: phytase, available phosphorus, nutritional deficiency

INTRODUCCIÓN

En los últimos años en la producción avícola ha sido creciente tanto en la producción de huevos y carne; se proyectan que el mayor incremento se dará en países en vías de desarrollo. Para el año 2032, la carne de pollo será la más consumida en el mundo (Ravindran, 2010; Puricelli, 2011). MINAGRI (2020), indica que la carne de pollo es uno de los productos cárnicos más consumidos en el Perú. En el 2018 el consumo promedio per cápita de carne de pollo de 50.3 kg/año, superando a la carne bovina, porcina, pavo, ovino y caprino; ubicando al Perú en el número 18 a nivel mundial seguido por Tailandia, Colombia y Myanmar.

Por lo que en la actualidad en la avicultura se enfoca en la digestibilidad de los nutrientes que consumen ya que de esto dependerá su productividad por ello se enfocan en la composición nutricional de la ración alimenticia (Dos Santos, Srinongkote, Bedford y Walk, 2013). En la alimentación animal se busca que nuestra ración posea fuentes de proteínas, aminoácidos, fósforo y algunas vitaminas y minerales óptimas y sobre todo solubles en el agua para pollos de engorde (Salim et al. 2010). Uno de los alimentos que se utiliza son los DDGS, que contienen pequeñas porciones de ácido linoleico conjugado, xantofila y residuo de levadura que es beneficiosa en el sistema inmunológico. Jiang, Nie, Qu, Bi, Shan (2014).

Asimismo, se busca utilizar aditivos que mejoren la performance productiva avícola; teniendo como factores principales la utilización de fósforo y enzimas (fitasa) en la ración por ser importante como complemento para poder ser digerido (Selle y Ravindran, 2007). Siendo la fitasa una enzima con la virtud de liberar fosfato y residuos de minerales, lo cual beneficia a la digestión de las aves. Se viene utilizando fuentes de fitasas comerciales para poder aprovechar los nutrientes ligados al fosfato y calcio presentes en dicho producto (Khalid et al. 2013).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, sobre el comportamiento productivo en pollos de engorde durante la etapa de crecimiento.

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

En la industria avícola, no siempre se logran los rendimientos productivos esperados en el pollo de engorde, debido a muchos factores que merman el aprovechamiento de algunos nutrientes muy importantes, como el fósforo, responsable de la estructura y el mantenimiento de los huesos, principalmente durante el crecimiento y desarrollo del pollo de engorde.

La mayor parte del fósforo aportado en la ración no está disponible, debido a que está ligada a complejos que dificultan su digestibilidad, especialmente el ácido fítico (factor anti nutricional). Los pollos no sintetizan una enzima que permita hidrolizar y liberar esos componentes para que el fósforo pueda ser mejor aprovechado por el organismo. Además, las raciones convencionales (a base de maíz y soya) para pollos de engorde son deficitarias en fósforo, lo que hace necesario la suplementación de fósforo inorgánico.

La fitasa es una enzima que tiene como función liberar el fósforo contenido en los insumos vegetales, así mejora su biodisponibilidad y con ello, promueve un mejor índice de conversión alimenticia. En la actualidad, en el mercado peruano, se encuentran diferentes tipos de fitasas microbiales, pero se carece de estudios bajo condiciones controladas que evalúen su efectividad cuando son incluidas en raciones a base de granos secos de destilería con solubles (DDGS) con niveles disminuidos de fósforo disponible en pollos de engorde.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de la inclusión de la enzima fitasa en la dieta con DDGS, con niveles disminuidos de fósforo disponible sobre el comportamiento productivo en pollos de engorde durante la etapa de crecimiento?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuál es el efecto de la inclusión de la fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, sobre la ganancia de peso en pollos de engorde durante la etapa de crecimiento?

¿Cuál es el efecto de la inclusión de la fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, sobre el consumo de alimento en pollos de engorde durante la etapa de crecimiento?

¿Cuál es el efecto de la inclusión de la fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, sobre la conversión alimenticia en pollos de engorde durante la etapa de crecimiento?

¿Cuál es el efecto de la inclusión de la fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, sobre la retribución económica en pollos de engorde durante la etapa de crecimiento?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, sobre el comportamiento productivo en pollos de engorde durante la etapa de crecimiento.

1.3.2. Objetivos específicos

Evaluar el efecto de la inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, sobre la ganancia de peso en pollos de engorde durante la etapa de crecimiento.

Evaluar el efecto de la inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, sobre el consumo de alimento en pollos de engorde durante la etapa de crecimiento.

Evaluar el efecto de la inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, sobre la conversión alimenticia en pollos de engorde durante la etapa de crecimiento.

Evaluar el efecto de la inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, sobre la retribución económica en pollos de engorde durante la etapa de crecimiento.

1.4. Justificación de la Investigación

Es comprobada la efectividad del uso de enzimas fitasas en dietas convencionales para pollos de engorde, a base de maíz y soya. Su inclusión no solo la mejora de la conversión alimenticia, sino que también reduciría los costos de alimentación (el fósforo es uno de los nutrientes más caros en la formulación de raciones) y contaminación por el fósforo excretado. En nuestro país, no existen estudios que evalúen la suplementación con fitasa en dietas que incluyan insumos no convencionales, como los DDGS. La presente investigación evaluó el efecto de la inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible. La inclusión de fitasa buscó cubrir los requerimientos de fósforo disponible a partir de la liberación del fósforo presente en el fitato de los insumos de origen vegetal.

1.5. Delimitaciones del estudio

La presente investigación, evaluó parámetros de producción y la retribución económica en pollos de engorde alimentados con dietas a base de DDGS y con diferentes niveles de fitasa exógena.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Dalólio *et al.* (2020), evaluaron la energía metabolizable aparente (EMA), EMAn, la digestibilidad ileal aparente de aminoácidos (DIAA) y la digestibilidad ileal de aminoácidos (DIA) de los DDGS de maíz sin o con la adición de proteasa y fitasa en dietas para pollos de engorde. Pollos de engorde machos fueron alimentados adecuadamente con nutrientes hasta los 13 días de edad. A los 14 días de edad, los pollos de engorde fueron alimentados con una de cuatro dietas experimentales (dieta de referencia, dieta de referencia + DDGS de maíz, dieta de referencia + DDGS de maíz con 200 mg / kg de proteasa, o con 100 mg / kg de fitasa durante 10 días). Hubo un efecto significativo de la suplementación con fitasa y proteasa sobre los coeficientes metabolizables de materia seca y proteína cruda. No hubo efecto significativo de la suplementación con proteasa y fitasa sobre los valores de EMAn. La suplementación con fitasa mejoró significativamente el DIA de lisina, metionina, cistina, ácido aspártico, glicina, serina y prolina de los DDGS de maíz.

Boney & Moritz (2017) evaluaron los efectos de fabricación y alimentación de una dieta a base de maíz, harina de soya y trigo con diferentes inclusiones de DDGS y una fitasa comercial en pollitos durante 38 días. Los tratamientos variaban en fitasa (0, 1.000 y 6.000 FTU / kg) e inclusión de DDGS (0 o 5%). La inclusión de fitasa disminuyó el fósforo no fitato y el calcio total en la formulación en un 0,12 y un 0,1%, respectivamente. La fitasa mejoró la tasa de conversión alimenticia en el período inicial, pero los beneficios no fueron evidentes en los períodos de crecimiento o finalización. Los efectos principales de la fitasa y la formulación interactuaron para influir en la conversión alimenticia, demostrando una disminución de 0,05 en la conversión alimenticia cuando las aves fueron alimentadas con una dieta que contenía una superdosis de fitasa y sin DDGS en comparación con las dietas que contenían una superdosis de fitasa y DDGS. Los DDGS probablemente proporcionaron una disponibilidad reducida de nutrientes en relación con sus valores de nutrientes utilizados para la formulación de la dieta o proporcionaron polisacáridos sin almidón a un nivel que disminuyó el rendimiento de las aves. Según las medidas de ceniza de tibia, la mejora del rendimiento asociada con la superdosis de fitasa probablemente se asoció con la reducción

de la irritación gastrointestinal del fósforo fitato en lugar de cumplir con los requisitos de fósforo de las aves.

Adebiyi & Olukosi (2015) determinaron la digestibilidad ileal verdadera de P y la verdadera retención total de P en el tracto digestivo de los DDGS de trigo sin o con suplementos de fitasa en pollos de engorde y pavos. En el experimento 1 (pollos de engorde), la inclusión de DDGS de trigo disminuyó linealmente la digestibilidad de la MS ileal en la dieta y la retención de MS y P en el tracto total. El coeficiente de digestibilidad ileal verdadera del P sin o con fitasa para pollos de engorde fue de 0,94 o 0,96, respectivamente. El coeficiente de retención total de fósforo fue 0,92 y 0,94 sin o con fitasa, respectivamente. La fitasa no tuvo efecto sobre la digestibilidad de la MS ileal en la dieta, la retención de MS del tracto, la digestibilidad de P ileal y la retención de P del tracto total para pollos de engorde. Se concluyó que los DDGS de trigo son una valiosa fuente dietética de P digerible para pollos de engorde.

Babatunde *et al.* (2021) evaluaron el efecto de las concentraciones de fósforo fitato (PP) en pollos de engorde en la fase inicial (días 1 a 11 después de la eclosión). Las dietas fueron una dieta de control positivo (CP) adecuada en nutrientes con 2,8 g PP / kg o una de los 15 controles negativos reducidos en nutrientes (CN: CP menos 88 kcal EM / kg, 0,8 g lis dig / kg, 2,0 g P disponible / kg, 1,8 g Ca / kg y 0,5 g Na / kg) con tres niveles de PP (g / kg), principalmente de salvado de arroz, a 2,3 (CN1), 2,8 (CN2) o 3,3 (CN3) y 5 niveles de suplementación de fitasas a 0, 500, 1000, 2000 o 4000 FTU / kg. A pesar de los niveles de PP comparables, las aves alimentadas con la dieta CP tuvieron mayor peso corporal, ingesta de alimento, ceniza de tibia, energía digestible ileal aparente, aminoácido (AA), P y Ca en comparación con las aves alimentadas con CN2 sin fitasa. El aumento de las concentraciones de PP disminuyó linealmente el peso vivo, consumo de alimento, digestibilidad ileal aparente y retención total en el tracto digestivo de P y Ca. Con la suplementación con fitasa, hubo una respuesta cuadrática en el peso vivo, consumo de alimento, ceniza de tibia y un aumento lineal de la digestibilidad ileal aparente de la energía, nitrógeno y todo el AA medido. El aumento de la dosis de fitasa de 0 a 4.000 FTU / kg aumentó la digestibilidad ileal aparente del P y Ca en un 88 y un 18%, respectivamente.

Camposino *et al.* (2014) evaluaron los efectos de la adición progresiva de una fitasa mejorada de *Escherichia Coli* (400–1,600 unidades de fitasa; FTU) sobre el rendimiento del crecimiento y las características de la canal de 1 a 42 días de edad en pollos de engorde machos. Las dietas fueron elaboradas con los ingredientes base de maíz y torta de soya 48, y porcentaje fijo de 5, 7 y 9% de DDGS en la etapa de inicio, crecimiento y acabado, respectivamente. Se proporcionaron siete tratamientos dietéticos en un programa de alimentación de 3 fases que consistió en un control positivo (Ca adecuado y P no fitato; CP); un control negativo (Ca y P no fitato reducido en un 0,14% y un 0,13%; CN); cuatro dietas con cuatro concentraciones de fitasa suplementarias crecientes (CN + 400 FTU, CN + 800 FTU, CN + 1200 FTU y CN + 1600 FTU, respectivamente); y una dieta CN baja en energía sin fitasa y xilanas (reducción de 66 kcal de EMAn / kg). La suplementación progresiva de fitasa disminuyó la conversión alimenticia de forma lineal. Los pollos de engorde alimentados con dietas que contenían 1.600 FTU tenían 49 g de carne de pechuga total más pesada en comparación con las aves que recibieron las dietas CP. Los pollos de engorde que consumieron la dieta CN + 400 FTU o la dieta CN de baja energía tuvieron un rendimiento de crecimiento y rendimiento de carne similares en comparación con las aves que recibieron la dieta CP. Estos datos indicaron que la suplementación con fitasa más allá de la necesidad de fósforo mejora el rendimiento del crecimiento y las características de la canal.

Liu *et al.* (2014) evaluaron los efectos de la suplementación con fitasa sobre el crecimiento, la utilización de nutrientes y la dinámica digestiva del almidón y la proteína, en pollos machos. A las aves se le ofreció dietas granuladas al vapor a base de maíz, sorgo o trigo, sin o con suplementos de fitasa, de 7 a 27 días después de la eclosión. Las dietas experimentales se formularon para que fueran equivalentes en energía, proteínas / aminoácidos y fueran adecuadas en cuanto a P. Las muestras de digesta de yeyuno proximal, yeyuno distal, íleon proximal e íleon distal se recolectaron en su totalidad el día 27. El rendimiento de crecimiento de las aves a las que se les ofreció maíz y sorgo fue comparable, pero las que recibieron dietas a base de trigo fueron inferiores. La fitasa mejoró la ganancia de peso, la ingesta de alimento y la conversión alimenticia en las dietas a base de maíz, sorgo y trigo, aunque las mejoras más pronunciadas tendieron a ser para el maíz. Además, la fitasa también mejoró significativamente la utilización de nutrientes en las dietas a base de maíz.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fitato

El fitato, mioinositol-1,2,3,4,5,6, -hexakisfosfato, sirve como la forma de almacenamiento principal de fosfato en la semilla de la planta y se almacena en vacuolas de almacenamiento de proteínas en la capa de células de aleurona o el embrión de la semilla (Kumar & Sinha, 2018). En los cereales, el fitato se concentra en la capa de aleurona y las células del escutelo del germen, con el endospermo almidonado casi desprovisto de fitato, mientras que, en las leguminosas, el fitato se distribuye por toda la semilla (Skoglund *et al.*, 2009). El fitato se acumula durante el desarrollo de la semilla hasta que las semillas alcanzan la madurez y representa alrededor del 60% al 80% del contenido total de fósforo (Kumar & Sinha, 2018; Secco *et al.*, 2017).

Durante el llenado del grano, el fosfato inorgánico se convierte y almacena como fitato (Secco *et al.*, 2017). El fitato se forma cuando el ácido fítico, una molécula cargada negativamente, se une a cationes minerales dietéticos mono y divalentes, formando complejos de fitato muy estables a pH neutro (Morris & Hill, 1996). El fitato tiene seis fosfatos reactivos y cumple el criterio de agente quelante (Konietzny & Greiner, 2003). De hecho, un catión puede formar complejos no solo dentro de un grupo fosfato o entre dos o más grupos fosfato de un fitato, sino también entre dos o más moléculas de fitato (Figura 1; Konietzny & Greiner, 2003).

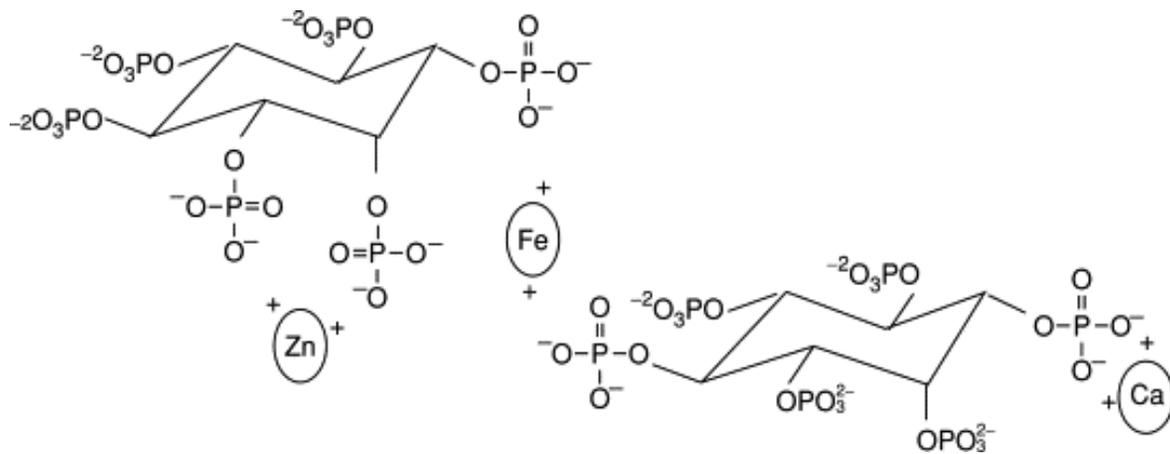


Figura 1. Interacción fitato-catión. Gran parte del fósforo de los cereales se encuentra en forma de fitatos, que son sales de ácido fítico, un derivado del ácido fosfórico (Konietzny & Greiner, 2003).

El fitato es uno de los principales factores antinutrientes en la dieta a base de plantas porque los animales monogástricos y el sistema digestivo humano son incapaces de metabolizar el fitato (Kumar & Sinha, 2018). La presencia de fitato en la dieta normalmente disminuye la biodisponibilidad de cationes divalentes como hierro, zinc y calcio en el tracto gastrointestinal, y el pH del intestino delgado (6-7) aumenta la disociación y formación de complejos de cationes fitato-divalentes que precipitan, haciéndolos menos disponibles para su absorción en el organismo (Schlemmer *et al.*, 2009). Los experimentos con pollitos han demostrado que el fósforo del fitato cálcico solo es utilizado en un 10% comparado con el fosfato disódico, mientras que, en gallinas ponedoras, el fósforo del fitato fue utilizado aproximadamente la mitad que el fosfato dicálcico (McDonald *et al.*, 2010). El fósforo no digerido es excretado al medio ambiente, siendo una preocupación importante, ya que explica la eutrofización del sistema de agua (Kim *et al.*, 2010).

El fitato se encuentra en ingredientes derivados de plantas potencialmente utilizables en el alimento de aves como el maíz, la soya tostada y su subproducto torta de soya, subproducto de trigo y DDGS, disponibles actualmente. Se disponen de tres sistemas de valoración de la biodisponibilidad y posible utilización del P en formulación práctica de alimentos (Santomá y Mateos, 2018):

- P no fítico, estimado por diferencia entre el P total y el P fitato. Ambas fracciones son medibles en el laboratorio. El P fitato sólo está presente en los ingredientes de origen vegetal, y parte del P fitato puede ser utilizado por el animal mediante la acción de fosfatasas endógenas propias del animal o producidas por ciertos microorganismos presentes en el tracto gastrointestinal.
- P disponible, determinado al comparar la disponibilidad del P de los diversos ingredientes con los de una fuente patrón, normalmente el fosfato monocálcico, al que se le atribuye de forma arbitraria una disponibilidad del 100%. Existen variaciones debido a que en numerosos centros de investigación se utiliza el fosfato bicálcico en lugar del fosfato monocálcico. Además, la biodisponibilidad de una misma fuente de fosfato, bien monocálcico bien bicálcico, puede variar en función del origen y procesado del material.
- P digestible, que considera el P “utilizable” contenido en las materias primas como valores absolutos obtenidos mediante ensayos de balance *in vivo*. Para determinar la digestibilidad de las diversas fuentes de P, es conveniente medirla a nivel del contenido pre-cecal y no de la excreta. Es importante considerar los posibles efectos tanto de las fitasas endógenas como de las fitasas producidas por los microorganismos existentes en el tracto gastrointestinal, sobre la utilización de los fitatos en función de su naturaleza.

La tabla 1 muestra fracciones de fósforo en ingredientes convencionales empleados en la alimentación de aves en nuestra región.

Tabla 1.

Fósforo total, fósforo fitato y fósforo disponible para aves en los ingredientes habituales utilizados en la dieta de aves.

Ingredientes	Nutriente			
	Proteína, %	P total, %	P fitato, %	P disp., %
Maíz				
Rostagno et al., (2017)	7,86	0,24	0,18	0,03
INRAE-CIRAD-AFZ (2017-2021)	7,6	0,34	0,19	-
FEDNA (2021)	7,3	0,25	0,20	0,05
Soya Integral				
Rostagno et al., (2017)	37,3	0,53	0,36	0,17
INRAE-CIRAD-AFZ (2017-2021)	35,8	0,53	0,32	-
FEDNA, (2021)	36,8	0,56	0,38	0,18
Torta de soya				
Rostagno et al., (2017)	48	0,59	0,36	0,23
INRAE-CIRAD-AFZ (2017-2021)	48	0,62	0,37	-
FEDNA, (2021)	48,5	0,65	0,43	0,21
Subproducto de trigo				
Rostagno et al., (2017)	15,1	0,94	0,45	0,49
INRAE-CIRAD-AFZ (2017-2021)	15,7	0,83	0,67	-
FEDNA, (2021)	15,4	1,00	0,83	0,17
Granos y solubles de maíz (DDGS)				
INRAE-CIRAD-AFZ (2017-2021)	27,3	0,77	0,19	-
FEDNA, (2021)	27,5	0,84	0,27	0,57

Fuente: Rostagno et al., (2017); INRAE-CIRAD-AFZ (2017-2021); FEDNA, (2021).

2.2.2. Fitasas

La fitasa se utilizada ampliamente en la alimentación animal con el fin de mejorar el valor nutricional de la dieta, así como para reducir el costo del alimento y los efectos ambientales causados por el exceso de fósforo (Godoy *et al.*, 2018). Las fitasas son enzimas que se encuentran ampliamente en microorganismos, plantas y ciertos tejidos animales; sin embargo, las fuentes microbianas son las más adecuadas para la producción de fitasa a escala comercial (Vats & Banerjee, 2004) siendo *Aspergillus niger*, el microorganismo más utilizado para la producción de fitasa comercial (Pandey *et al.*, 2000).

Las fitasas son enzimas fosfohidrolíticas que se conocen químicamente como mioinositol (1,2,3,4,5,6) -hexakisfosfato fosfohidrolasa (Pandey *et al.*, 2000). Las fitasas inician la eliminación gradual de los grupos fosfato del fosfato de mioinositol hexakis (Kumar & Sinha, 2018). La enzima secuestra grupos ortofosfato del anillo de inositol del ácido fítico para producir P inorgánico libre junto con una cadena de ésteres fosfóricos inferiores (pentafosfato de inositol a monofosfato de inositol) como productos intermedios (Fig. 2; Kumar & Sinha, 2018) y eliminando las características antinutricionales (Babatunde *et al.*, 2021; Puppala *et al.*, 2021).

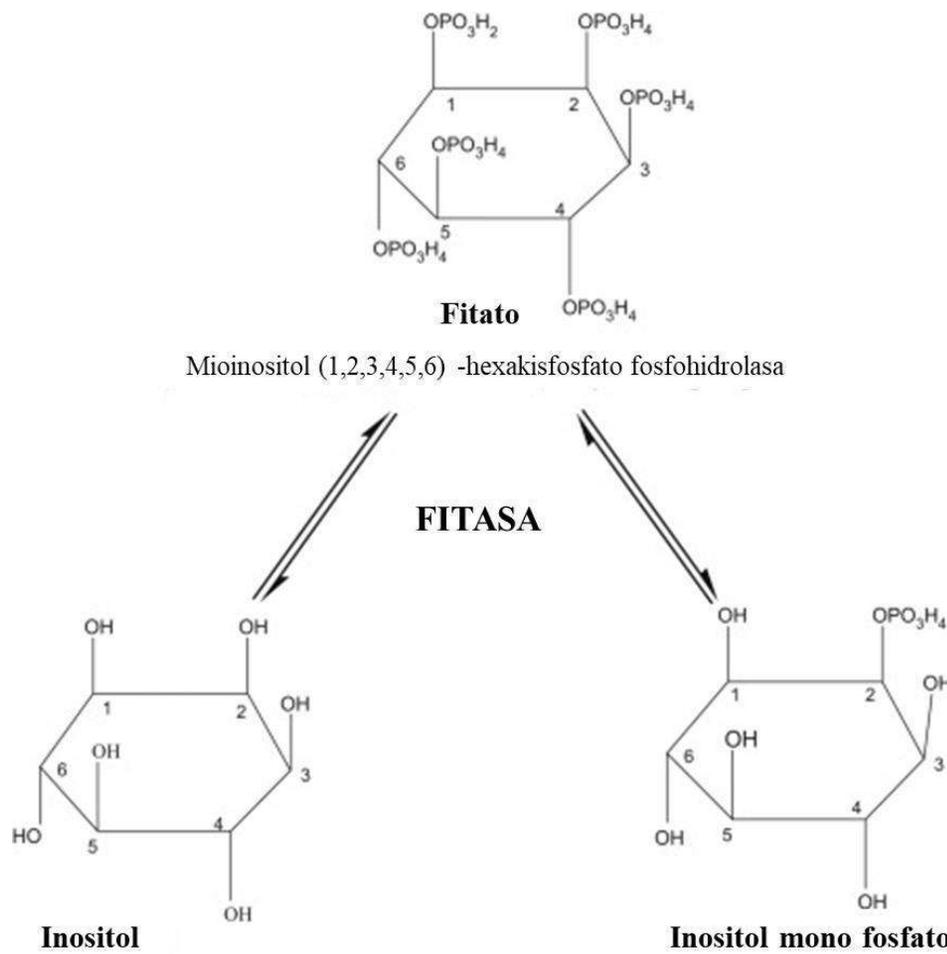


Figura 2. Representación esquemática general de la acción de la fitasa (Kumar & Sinha, 2018).

La adición de fitasas exógenas en las raciones es común desde la década de los 90 (Rostagno *et al.*, 2017), siendo utilizadas ampliamente en alimento para animales monogástricos, que no sintetizan ni producen cantidades suficientes de estas enzimas (Godoy *et al.*, 2018). La fitasa libera el P unido en los ingredientes de los alimentos de origen vegetal aumentando el P requerido para los procesos biológicos como formaciones óseas y la estabilidad de la membrana, además de aumentar la biodisponibilidad de calcio y magnesio, así como de proteínas y lípidos (Kumar & Sinha, 2018). Los estudios publicados sugieren que las fitasas liberan no solo iones fosfato de la molécula base del fitato (inositol) y otros macrominerales y minerales traza, sino también otros nutrientes (AA, almidón y otros componentes energéticos) (Figura 3), mejorando el valor nutricional de los ingredientes y los rendimientos productivos de las aves (Campasino *et al.*, 2014).

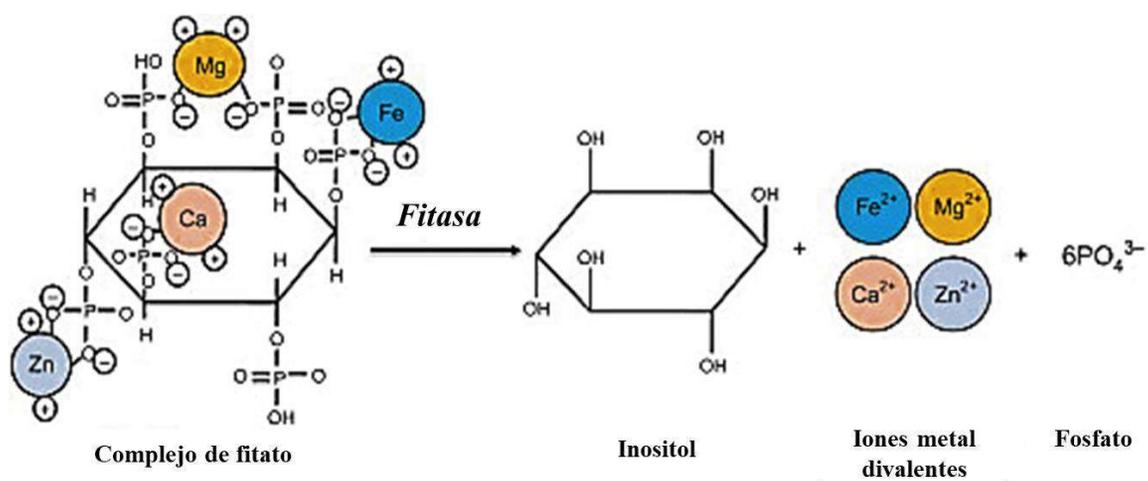


Figura 3. Representación esquemática de la hidrólisis del fitato en una reacción catalítica (Fallahi *et al.*, 2018).

La actividad de la fitasa se expresa como FYT, FTU, PU y U (Kumar & Sinha, 2018). Todas estas unidades tienen la misma denotación; una unidad de fitasa se define como la cantidad de enzima que libera 1 μmol de P inorgánico por minuto a partir de 0,0015 mol / L de fitato de sodio a pH 5,5 y 37°C (Simons *et al.*, 1990). Según la estimación, la equivalencia inorgánica de P / fitasa en las dietas animales sugiere que 300-600 FTU / kg en la dieta

pueden liberar 0.8 g de fósforo digerible y reemplazar 1.0 o 1.3 g de P del fosfato mono y dicálcico, respectivamente (Kumar & Sinha, 2018).

Según Cowieson *et al.* (2013) y Lee *et al.* (2017), la suplementación de fitasa beneficia al ave a través de tres mecanismos diferentes:

- Disponibiliza una parte importante del P fítico de los ingredientes de origen vegetal. Los fitatos contienen un 27,2% de P que es potencialmente utilizable por el animal (Santomá, & Mateos, 2018). Asimismo, la fitasa libera cantidades medibles de elementos traza como el Zn, así como otros nutrientes (Santomá, & Mateos, 2018).
- Cuanto antes se consiga inactivar el fitato, mayor será el efecto positivo de la fitasa sobre la productividad del ave (Santomá, & Mateos, 2018). Suplementaciones extras de fitasa o utilización de fitasas de nueva generación (activas en un rango de pH más amplio) aumentan la probabilidad de liberar más rápido un primer ión fosfato después de la ingesta (Santomá, & Mateos, 2018).
- Las nuevas fitasas, con la ayuda de fosfatasas endógenas y fitasas producidas por los microorganismos presentes en el tracto gastrointestinal, podrían liberar los 6 iones fosfatos de la molécula de fitato, dejando como “residuo” inositol libre (Santomá, & Mateos, 2018). La molécula de inositol juega un papel importante en el funcionamiento hepático, así como sobre la actividad de la insulina, por lo que podría mejorar la productividad del ave, un efecto que es adicional y no relacionado con el de liberación del ión fosfato (Cowieson *et al.*, 2013; Walk *et al.*, 2013).

2.2.3. Fuentes de fitasa

Los microorganismos son la mayor fuente potencial de fitasa seguida de las plantas (Kumar & Sinha, 2018). En términos generales, hay cuatro posibles fuentes de fitasa: fitasa vegetal, fitasa microbiana, fitasa generada por la mucosa del intestino delgado y fitasas microflorales asociadas al intestino (Kumar & Sinha, 2018).

Las enzimas fitasas se han aislado y caracterizado a partir de varias fuentes vegetales: trigo, arroz, colza, soya, maíz y centeno, y la mayoría de ellas inician la hidrólisis del fitato en la posición C6 del anillo de hexafosfato de mioinositol, por lo que se consideran fitasas de tipo

6 (Kumar & Sinha, 2018). Sin embargo, en la soya, la principal fitasa sintetizada es una fitasa tipo 3 (Phillippy & Bland, 1988). Se pueden lograr niveles elevados y propiedades deseadas de fitasa en las plantas insertando los genes microbianos clonados (típicamente de *A. niger*, *Bacillus subtilis*, *Aspergillus fumigatus*, *E. coli* y *Schwanniomyces occidentalis*) que codifican las fitasas. Se ha desarrollado una planta transgénica que expresa fitasa del gen *A. fumigatus* para mejorar el arroz blanco o pulido como fuente de hierro (Lucca *et al.*, 2001). Aunque algunos ingredientes del alimento contienen actividad fitasa nativa, la granulación con vapor durante la fabricación de muchos alimentos comerciales da como resultado pérdidas sustanciales de esta actividad fitasa intrínseca (Kumar & Sinha, 2018).

De los microorganismos, las bacterias y los hongos constituyen las fuentes más importantes de fitasa, siendo las levaduras, *A. niger*, *Aspergillus ficuum*, *A. fumigatus* y *S. cerevisiae*, las cepas comúnmente utilizadas para la producción comercial de fitasas (Kumar & Sinha, 2018). Se ha detectado una mejor utilización del fósforo en pollos criados con dietas de maíz y harina de soya que contenían preparaciones de *Aspergillus* (Kumar & Sinha, 2018). La fitasa derivada de *S. cerevisiae* es de particular importancia para la producción del pan, mientras que la fitasa unida a células de *Pichia anomala* y *Candida krusei* tiene aplicaciones potenciales en el procesamiento de alimentos porque permanece estable incluso a altas temperaturas y acidez (Vohra, & Satyanarayana, 2001; Quan *et al.*, 2001).

En los cerdos, el yeyuno es el sitio principal de actividad de la fitasa de la mucosa intestinal (Kumar & Sinha, 2018). También se ha reportado actividad fitasa en el intestino delgado de los seres humanos, pero tiene una capacidad muy limitada para la degradación del fitato (Iqbal *et al.* 1994). Curiosamente, se demostró que cuando se ofrecen con dietas inadecuadas en fósforo, muchos animales, incluidos los humanos, pueden elevar las actividades de la fitasa y fosfatasa intestinal (Zhang *et al.*, 2005).

Las fitasas microflorales intestinales son evidentes principalmente en el intestino grueso de los cerdos (Kumar & Sinha, 2018). Se ha aislado fitasa producida por la flora bacteriana en las regiones del intestino anterior y posterior del tracto gastrointestinal de muchos peces de agua dulce (Roy *et al.*, 2008). Las colonias de bacterias presentes en el colon de los seres humanos tienen una capacidad limitada para degradar el fitato, mientras que la importancia

de la fitasa producida por bacterias residentes en no rumiantes no está demostrada y probablemente sea insignificante (Kumar & Sinha, 2018).

2.2.4. Nutrición del fósforo en pollos de engorde

El fósforo (P) es el mineral que más compromete al nutricionista a la hora de formular un alimento para avicultura (Sántoma y Mateos, 2018). El P es el segundo mineral más abundante en el cuerpo animal (80%) y sus funciones más importantes, cuantitativamente, es la formación y el mantenimiento del hueso (Suttle, 2010). El 20% restante del fósforo corporal se distribuye ampliamente en los líquidos y tejidos blandos del cuerpo, cumpliendo funciones esenciales como componente de los ácidos desoxi y ribonucleicos (esenciales para el crecimiento y la diferenciación celular), fosfolípido (contribuye a la fluidez e integridad de la membrana celular y a la mielinización de los nervios) y fosfato (PO_4 : ayuda a mantener el equilibrio osmótico y ácido-base) (Suttle, 2010). El fósforo también juega un papel vital en una serie de funciones metabólicas, incluida la utilización y transferencia de energía a través de AMP, ADP y ATP, con implicaciones para la gluconeogénesis, el transporte de ácidos grasos, la síntesis de aminoácidos y proteínas y la actividad de la bomba de iones de sodio / potasio (Suttle, 2010).

Se ha sugerido que una gran concentración de fosfato en la digesta después de una comida podría inducir el transporte paracelular (movimiento de iones a lo largo del gradiente a través de los espacios entre las células desde la luz hasta la sangre) que podría convertirse en la vía posprandial predominante responsable en gran medida del transporte general de fosfato. Sin embargo, aparentemente, la pared epitelial intestinal no es fácilmente permeable al fosfato (Cross *et al.*, 1990). Las deficiencias de P en la dieta de los pollos se asocian con pérdida de apetito, raquitismo y retraso del crecimiento (McDonald *et al.* 2010). Las concentraciones de P en la dieta de 0,05 o 0,1% conducen a una reducción del contenido de cenizas en el hueso tibiotarsal, así como a una disminución del peso tibiotarsal libre de grasa a los 18 días de edad (Parmer *et al.*, 1987).

Proszkowiec-Weglarz & Angel (2013) mencionan que cuando los pollos se alimentan con una dieta deficiente en P o los requerimientos de P son elevados, la concentración plasmática de P disminuye. Una concentración plasmática baja de P conduce a la activación de la síntesis

activa de vitamina D en el riñón que, a su vez, conduce a una mayor absorción y reabsorción de P en el intestino delgado y el riñón, respectivamente. Al mismo tiempo, se induce la resorción ósea para mantener una concentración plasmática normal de P (Figura 4).

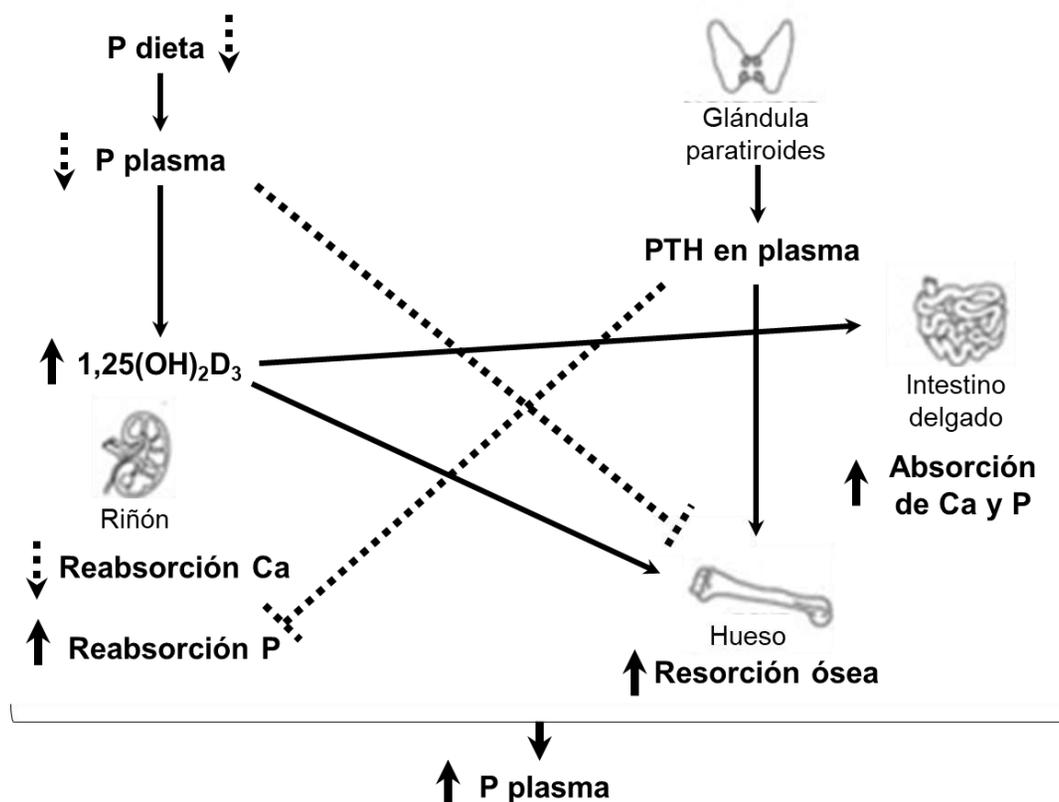


Figura 4. Homeostasis del Fósforo (Proszkowiec-Weglarz & Angel, 2013).

2.2.5. Los DDGS y su inclusión en la dieta de pollos de engorde

Los DDGS son un sustituto de ingredientes de alimentos que se ha utilizado ampliamente por su alto contenido nutricional y bajo costo de producción en la industria del alimento (Buenavista *et al.*, 2021). El maíz se procesa para la producción de etanol o alimentos humanos mediante procesos de molienda húmeda, molienda en seco o molienda en seco (Rojas *et al.*, 2013). La industria de la molienda en seco de maíz es utilizada para producir la mayor parte del etanol y los coproductos de esta industria incluyen los DDGS (Stein *et al.*, 2016) que consiste en componentes de granos no digeridos de la fermentación de granos para

producir etanol (Buenavista *et al.*, 2021). Debido a la creciente demanda de bioetanol como combustible para el transporte, también se espera que aumente la producción de DDGS, que se destinan a los mercados estadounidenses e internacionales (Iram *et al.*, 2020).

El-Hack *et al.* (2015) describe el proceso de producción de DDGS (Figura 5):

La limpieza del grano de maíz es el primer paso para reducir los materiales extraños y la contaminación. Luego, el grano de maíz se muele usando un molino de martillos. Posteriormente, se agrega agua para hacer una suspensión, luego se agregan enzimas de alfa-amilasa, con el fin de romper los enlaces alfa 1-4-glucosídicos para liberar dextrina, maltosa, glucosa, tetrasas y maltotriosa (proceso llamado licuefacción). Por lo tanto, se ajusta el pH (5-6 pH). La cocción es el siguiente paso, en el que la lechada se cuece a chorro utilizando temperaturas que oscilan entre 90 y 165 °C para eliminar los microorganismos y las bacterias del ácido láctico del grano. Después de eso, la lechada cocida a chorro se enfría a 32 °C para que esté lista para la adición de la enzima glucoamilasa que se necesita para convertir la dextrina en la simple azúcar dextrosa.

En la etapa de fermentación, la amilasa y la dextrosa se fermentan en alcohol etílico (etanol) y dióxido de carbono utilizando un tamiz molecular y levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). El siguiente paso es la destilación, en la que se elimina el etanol del puré fermentado. Este proceso necesita alrededor de 40-60 h para completarse. Después del proceso de destilación, se centrifuga toda la vinaza que contiene agua, proteínas, grasas y fibras. La centrifugación conduce a la separación de los granos húmedos de la vinaza fina. La vinaza fina luego se evapora y condensa para formar solubles de destilería condensados de maíz. Finalmente, los DDGS de maíz se producen en el último paso agregando una porción o todos los solubles a los granos húmedos de la destilería, luego secando en un secador de anillo o en un horno rotatorio a temperaturas que oscilan entre 127-621 °C. Un bushel de maíz (25,4 kg en promedio) fermentado en una planta de etanol de molienda seca; producen 10,22 L aproximadamente de etanol, 8.16 kg de DDGS y 8,16 kg de dióxido de carbono.

Los DDGS están siendo ampliamente utilizado en la alimentación de pollos de engorde y puede contribuir a reducir los costos productivos en la nutrición avícola (Silva *et al.*, 2016). Este subproducto contiene todos los componentes del grano en el que se obtuvo

(Swiatkiewicz & Koreleski, 2008), excepto el almidón, utilizado para la producción de etanol. Así, los componentes fibrosos, lípidos, minerales y proteínas se concentran en los DDGS (Trupia *et al.*, 2016).

El principal obstáculo para utilizar estos subproductos como DDGS en las dietas de las aves de corral es la alta variabilidad en las concentraciones de nutrientes y la calidad entre las diferentes fuentes del subproducto (Pedersen *et al.* 2014). Los pollos de engorde son muy sensibles a la calidad del alimento, por lo que estudios recientes han recomendado la inclusión de DDGS a bajas tasas de inclusión, en la fase de inicio del desarrollo, con el objetivo de permitir el acondicionamiento del tracto intestinal de las aves, antes de ser expuestos a concentraciones más altas durante el período de crecimiento y acabado (Loar *et al.*, 2010; Abudabos *et al.* 2017), debido a que los DDGS tienen un alto contenido de fibra y una menor digestibilidad de aminoácidos (Abudabos *et al.* 2017).

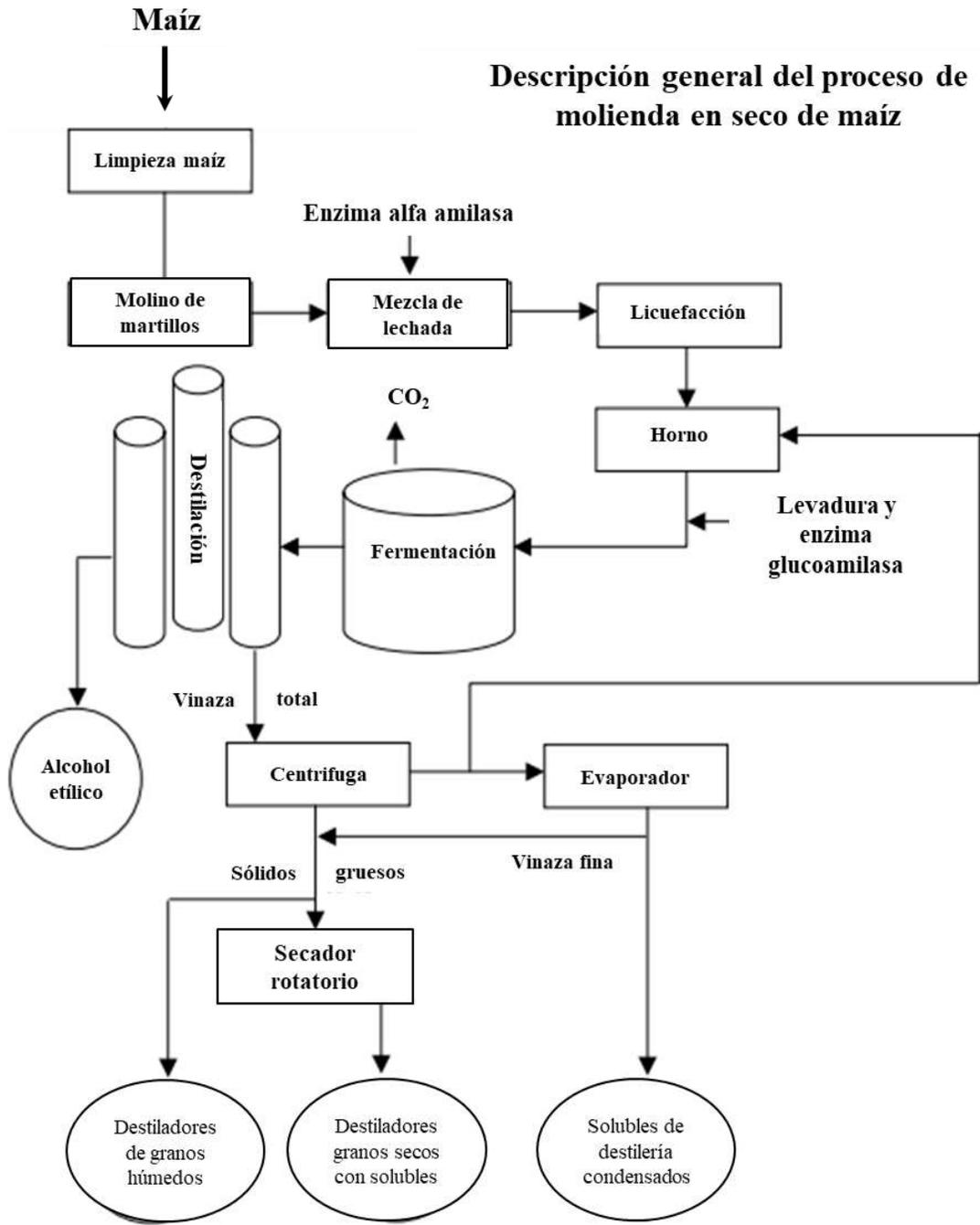


Figura 5. Pasos para producir DDGS a través del proceso de molienda en seco (Davis, 2001).

A continuación, describimos los resultados de las investigaciones importantes realizados en pollos de engorde alimentados con niveles incrementados de DDGS de maíz:

Damasceno *et al.*, (2020) evaluaron los efectos de las tasas de inclusión de DDGS de maíz (0, 1, 4, 7, 10, 13 y 16%) en las dietas de pollos de engorde del día 0 al 21. La inclusión de DDGS en las dietas no afectó el aumento de peso, el índice de conversión alimenticia, la canal y los rendimientos de cortes. La ingesta de alimento no se alteró del día 0 al 21, sin embargo, tuvo un efecto cuadrático del día 0 al 42. Hubo un aumento lineal en el peso relativo del intestino grueso en el día 21. Los DDGS pueden incluirse en dietas de pollos de engorde hasta 16% DDGS del día 0 al 21 sin afectar el rendimiento del crecimiento, el rendimiento de canales y cortes y la calidad de la carne de los pollos de engorde hasta el día 42.

Abudabos *et al.* (2017) evaluó el uso de diferentes niveles de DDGS (0, 6, 12, 18 y 24%) de 0 a 35 días con o sin suplementación enzimática sobre el rendimiento de crecimiento y las características de la canal de pollos de engorde. Las dietas que contenían 12, 18 y 24% de DDGS disminuyeron el rendimiento en pollos de 0-10 días. La inclusión de enzima (xilanasas y betaglucanasas) durante 0-10 días mejoró la ganancia de peso y el factor de eficiencia de producción europea. Durante los períodos de crecimiento (11-24 días) y finalización (25-35 días), los pollos que habían recibido 0, 6 o 12% de DDGS convirtieron el alimento en peso corporal de manera más eficiente. La suplementación con enzimas mejoró la tasa de conversión alimenticia para los períodos (11-24 y 25-35 días, respectivamente). Los pollos que habían recibido 0, 6 o 12% tuvieron mejor conversión alimenticia en comparación con 18 o 24% de DDGS. El rendimiento de los pollos se redujo a una edad temprana cuando la dieta contenía 12% de DDGS, pero más tarde, pudieron tolerar niveles más altos de DDGS. El estudio indica que un nivel máximo de DDGS para usar en las dietas de inicio es del 6% y podría aumentarse en el período de crecimiento y finalización al 12% y la suplementación con enzimas en las dietas que contienen DDGS puede mejorar la conversión alimenticia y el rendimiento de crecimiento en pollos de engorde.

Loar *et al.* (2010) evaluaron el efecto de dos niveles (0 vs.8%) de DDGS en una dieta de inicio para pollos de engorde (0 a 14 d), y con una dieta de crecimiento (14 a 28 días) con 0, 7.5, 15, 22.5 o 30% de DDGS. Los niveles de DDGS durante la fase de inicio (0 vs 8%) no tuvieron efecto en los pollos de engorde a los 14 o 28 días de edad. El aumento de los niveles de inclusión de DDGS durante la fase de crecimiento dio como resultado una disminución lineal en la ganancia de peso corporal y el peso relativo del hígado. La conversión del alimento y la mortalidad no se vieron afectadas por el nivel de DDGS en la dieta de crecimiento. La respuesta al consumo de alimento sugiere un efecto beneficioso de exponer a los pollos de engorde a los DDGS si se van a alimentar con niveles de inclusión del 22,5% o más después de los 14 días de edad. Sin embargo, los datos sugieren que los pollos de engorde jóvenes pueden verse afectados negativamente con niveles de inclusión de 15% de DDGS o más hasta los 28 días de edad.

Choi *et al.* (2008) evaluaron los efectos de la adición de DDGS de maíz a las dietas de pollos de engorde sobre el rendimiento de crecimiento y las características de la carne. Hubo cuatro tratamientos dietéticos (0, 5, 10 y 15% de DDGS). No se encontraron diferencias significativas en los rendimientos de crecimiento entre los cuatro tratamientos. A medida que aumentaba el nivel de DDGS, aumentaba la concentración de ácidos grasos insaturados en la carne. La dureza de las pechugas y los muslos no se vio afectada por la adición de DDGS. Se demostró que el uso de DDGS en dietas de pollos de engorde hasta en un 15% podría disminuir el costo del alimento al reemplazar parte de la harina de maíz y soya, sin ningún efecto negativo sobre el crecimiento y la calidad de la carne.

2.3. Definición de términos básicos

- **Ácido fítico:** Sustancia que se presenta en la mayoría de las semillas de cereales y oleaginosos, que constituye una molécula mediante la cual la planta almacena nutrientes para ser utilizados durante la germinación. El fósforo contenido en estas sustancias no es disponible o lo es pobremente para el animal (Ecag, 2010).
- **Actividad biológica:** Capacidad inherente de una sustancia, tal como un fármaco o una toxina, para alterar una o más funciones químicas o fisiológicas de una célula. Esta capacidad no sólo está relacionada con la naturaleza física o química de la sustancia, sino también con su concentración y con la duración de la exposición celular a esa sustancia (Mosby & Doyma, 2003).
- **Catalizador:** Sustancia que influye en la velocidad de una reacción química sin resultar alterada de forma permanente por la misma. La mayoría de los catalizadores, incluyendo las enzimas de los organismos vivos aceleran las reacciones químicas; los catalizadores negativos enlentecen dichas reacciones (Mosby & Doyma, 2003).
- **Enzimas:** Proteína producida por las células vivas que funciona como catalizador para una reacción específica, entendiéndose bajo este concepto, cualquier sustancia que disminuya la cantidad de energía necesaria para la reacción química, pero que al final queda intacta, pues no es consumida en la reacción (Ecag, 2010).
- **Fitasa:** Enzima encargada de liberar el fósforo fítico o fósforo ligado a otros minerales en forma natural, ya que al presentar esos enlaces no pueden ser absorbidos, por los animales, desaprovechando grandes cantidades de fósforo, que son excretadas al ambiente, a través de las heces (Ecag, 2010).
- **Fitato:** Anillo hexaédrico, que puede combinarse con una variedad de elementos catiónicos, tales como calcio, zinc, magnesio, aminoácidos y carbohidratos, con especial atención (Ecag, 2010).
- **Pollos de engorde:** Son aves especializadas genéticamente para la producción de carne, durante el ciclo de una vida productiva corta de 42 días (McDonald *et al.*, 2010).
- **Sustrato:** Sustancia sobre la cual actúa una enzima y que es transformada por ella, en cualquier reacción química (Mosby & Doyma, 2003).

- **Tracto gastrointestinal:** Es el órgano encargado de extraer energía y nutrientes, también de expulsar los residuos que quedan. Sus funciones principales son la ingestión, digestión, absorción y excreción (McDonald *et al.*, 2010).

2.4. Hipótesis de investigación

2.4.1. Hipótesis general

Ho: La inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponibles, para pollos de engorde durante la etapa de crecimiento, no influye sobre su comportamiento productivo.

Hi: La inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, para pollos de engorde durante la etapa de crecimiento, si influye sobre su comportamiento productivo.

2.4.2. Hipótesis específicas

Ho: La inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, para pollos de engorde durante la etapa de crecimiento, no influye sobre su ganancia de peso.

Hi: La inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, para pollos de engorde durante la etapa de crecimiento, si influye sobre su ganancia de peso.

Ho: La inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, para pollos de engorde durante la etapa de crecimiento, no influye sobre su consumo de alimento.

Hi: La inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, para pollos de engorde durante la etapa de crecimiento, si influye sobre su consumo de alimento.

Ho: La inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, para pollos de engorde durante la etapa de crecimiento, no influye sobre su conversión alimenticia.

Hi: La inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, para pollos de engorde durante la etapa de crecimiento, si influye sobre su conversión alimenticia.

Ho: La inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, para pollos de engorde durante la etapa de crecimiento, no influye sobre su retribución económica.

Hi: La inclusión de la enzima fitasa en dietas utilizando DDGS, y con niveles disminuidos de fósforo disponible, para pollos de engorde durante la etapa de crecimiento, si influye sobre su retribución económica.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

3.1.1. Ubicación

La investigación se ejecutó en la localidad de San Martín de Porres MzG Lt 4- Medio Mundo, Vegueta-Huaura-Lima.

3.1.2. Materiales e insumos

Los insumos utilizados fueron los siguientes:

- Balanza gramera electrónica, de 1 gramo de precisión, de 10 kg de capacidad.
- Un termo higrometro digital, para controlar la variación de temperatura y humedad, para poder hacer un uso adecuado de cortinas.
- Equipo de calefacción (criadora, gas)
- Pollos bb
- Comederos bb y de crecimiento.
- Bebederos bb y de crecimiento.
- Alimento.
- Fitasas y DDGS
- Pajilla de arroz
- Norlex y sacos vacíos para la separación de corrales.
- Focos y cables eléctricos.
- Viruta
- Malla de nylon
- Campanas de calefacción
- Balones de gas

3.1.3. Diseño experimental

Se empleó el Diseño Completamente al Azar, con tres tratamientos y cinco repeticiones.

3.1.4. Tratamientos

Los tratamientos fueron los siguientes:

T₀: Dieta control (alimento equilibrado con todos los nutrientes adecuados).

T₁: 12% DDGS + 0,02 % fitasa + 38% P disponible requerido.

T₂: 12% DDGS + 0,03 % fitasa + 58% P disponible requerido.

Los ingredientes de las dietas experimentales y el contenido de nutrientes se muestran en la tabla 3 y 4, respectivamente.

Tabla 2.

Participación porcentual de los ingredientes de las dietas experimentales

INGREDIENTES	T₀	T₁	T₂
Maíz 8,9%	60,242	49,288	48,193
Torta de soya 48%	17,758	4,683	4,619
Soya integral	16,648	23,196	24,092
DDGS maíz	0,000	12,000	12,000
Fosfato dicálcico	2,090	0,707	0,145
Afrecho Alicorp	0,000	5,697	6,199
Carbonato de calcio	1,122	1,905	2,216
Sal	0,391	0,366	0,366
HCL lisina	0,486	0,697	0,699
Setox	0,250	0,250	0,250
DL Metionina	0,361	0,449	0,449
Treonina	0,251	0,332	0,333
Bicarbonato de sodio	0,100	0,100	0,100
Premezcla *	0,100	0,100	0,100
Aditivos **	0,210	0,210	0,210
Fitasa microbiana	0,000	0,020	0,030

* Zoodry Pollos Parrilleros: Suplemento de raciones para pollitas de 0 a 8 semanas y broilers (DSM Nutritional Products Perú SA).

** Aditivos: Zinc bacitracina 10%, coxistac 12%, micofug, cloruro de colina 60%

Tabla 3.

Contenido nutricional estimado de las dietas experimentales (8 a 28 días de edad).

NUTRIENTES	T₀	T₁	T₂
Proteína	20,500	20,500	20,500
Energía Metabolizable (Kcal/Kg)	3100	3100	3100
Grasa	5,747	5,342	5,235
Fibra	3,455	3,080	3,080
Calcio	0,960	0,960	0,960
Fósforo disponible	0,480	0,300	0,200
Fósforo total	0,759	0,566	0,468
Fósforo fítico	0,279	0,286	0,288
Sodio	0,200	0,200	0,200
Lisina digestible	1,200	1,200	1,200
Metionina digestible	0,590	0,590	0,590
Met. + Cist. digestible	0,900	0,900	0,900
Treonina digestible	0,800	0,800	0,800
Triptófano total	0,226	0,229	0,232

Las dietas con 12% de DDGS contenían una deficiencia al 38 y 58% del fósforo requerido (referencia: 0,48% fósforo disponible en la dieta control), y correspondían a los tratamientos T₁ y T₂. A estos tratamientos se añadió 0,02 y 0,03% de fitasa comercial, respectivamente. La fitasa utilizada, de nombre comercial PHYZYME XP 5000 G, es un producto en polvo de la fermentación del *Schizosaccharomyces Pombe*. Su característica física es de un polvo granular, color beige y olor característico a trigo. Por otro lado, los DDGS de maíz

suministrado en las dietas fueron de calidad Golden, con un color amarillo y olor dulce fermentado.

3.1.5 Características del área experimental

La investigación se llevó a cabo en un galpón con piso de tierra, con manta arpillera a su alrededor, y en divisiones o corrales de 1 metro cuadrado. Los corrales (15) fueron construidos con malla de nylon. Cada corral experimental tuvo su comedero y bebedero individual. Se utilizó comederos tipo tongo para la etapa de inicio, y comederos tipo tongo para crecimiento.

3.1.6 Variables evaluadas

Tabla 4.

Variables, dimensiones e indicadores para el presente estudio.

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES
Variable Independiente (X):		
Tipo de Alimentación	X0: Dieta control.	0,480% de P disponible en la dieta.
	X1: 12% DDGS + fitasa + 38% P disponible.	0,300% de P disponible en la dieta.
	X2: 12% DDGS + fitasa + 58% P disponible.	0,200% de P disponible en la dieta.
Variables Dependientes (Y):		
Comportamiento productivo	Y1: Ganancia de peso	Incremento de peso vivo desde el día 8 hasta los 28 días (kg)
	Y2: Consumo de alimento	Alimento consumido desde el día 8 hasta los 28 días (kg)
	Y3: Conversión alimenticia	Cantidad de alimento para producir 1 kg. de peso vivo
	Y4: Retribución económica	Diferencia entre los ingresos y egresos.

3.1.7. Conducción del experimento

Para el proceso de crianza se suministró 3 tipos de dietas (dieta control (T0), con 12% DDGS + 62% del P (T1), 12% DDGS + 42% del P(T2) en la etapa de crecimiento.

- La ración se suministró a las 6:00 a.m.
- El pesaje de los residuos de merma alimenticia se realizó a las 6:00 am del día siguiente.
- El pesaje de los pollos se realizó semanalmente.
- El suministro de agua fue ad – libitum durante toda la campaña.
- Sanidad animal: Se implementó el siguiente programa de vacunación:

Día 7: Newcastle + Bronquitis infecciosa con el método de vacunación ocular.

Día 10: Gumboro con el método de vacunación al pico.

3.2. Población y muestra

Se empleó una muestra de 75 pollos machos de la línea Cobb 500 con un día de eclosionado, los cuales fueron distribuidos aleatoriamente a uno de las 15 unidades experimentales (tres tratamientos T0: Control; T1: 0,02 % fitasa – 38% P disponible y T2: 0,03 % fitasa – 58% P disponible) con cinco repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por cinco animales. Cada corral tuvo la dimensión de un metro cuadrado.

3.3. Técnicas de recolección de datos

Peso vivo: Se pesaron todos los pollos (de forma individual) una vez por semana, y para tal fin, se utilizó una balanza digital de 5 kg de capacidad y 0,025 gramos de precisión.

Consumo de alimento: Fue determinado con la siguiente formula: Consumo de alimento = Alimento ofrecido semanal – Alimento sobrante semanal

Conversión alimenticia: Se obtuvo mediante la siguiente fórmula: $\text{Conversión alimenticia} = \frac{\text{Consumo de alimento}}{\text{Ganancia de peso}}$

Retribución económica: Se determinó a partir del ingreso bruto y el costo de alimentación por pollo. La retribución económica es la representación porcentual de los valores de retribución de cada tratamiento referido al valor de tratamiento control. $\text{Retribución económica } T(i) = \text{Ingreso } T(i) - \text{Egreso } T(i)$;

Dónde,

Ingresos: Peso final a los 28 días (en Kg) por el precio (S/.) por kg. de pollo.

Egresos: Costo total (S/.) de la alimentación por pollo.

T (i): Tratamientos 0, 1 y 2.

3.3.2. Dietas experimentales

La presentación física del alimento fue en harina y fue suministrado a voluntad (*ad libitum*) al igual que el agua. La altura de los comederos y bebederos fueron regulados de acuerdo con el crecimiento de las aves durante todo el experimento.

Respecto a la sanidad, se realizó la desinfección del galpón y corrales. Asimismo, se tomaron medidas preventivas tales como restricción del ingreso a personas ajenas al estudio, y la limpieza de los comederos y bebederos se realizó todos los días.

El manejo de los pollos en la fase pre-experimental se detalla a continuación:

Día 0. Suministro de alimento de inicio (hasta los 07 días de edad), suministro de agua limpia y clorada, y mantenimiento de la temperatura del galpón entre 30 y 32°C. Se proporcionó un área de 1.3 m² para la recepción de los pollos BB.

Conforme avanzaron los días de la primera semana, se brindó un área de 1.4 hasta 2.6 m², la temperatura osciló entre 27 y 29°C y el suministro de alimento fue dos veces al día.

El manejo de los pollos en la fase experimental se detalla a continuación:

Día 08. Se proporcionó 1 m² por unidad experimental y se registró el peso inicial. La temperatura osciló entre 26 y 27°C, y el suministro de alimento y agua fue dos veces al día.

Día 14. Se realizó el segundo control de peso, y se mantuvo la temperatura del galpón entre 24 y 26°C.

Día 21. Se realizó el tercer control de peso, y se mantuvo la temperatura del galpón entre 22 y 23°C.

Día 28. Se realizó el cuarto y último control de peso, y se mantuvo la temperatura del galpón entre 21 y 22°C.

3.4. Técnicas para el procesamiento de la información

Los datos recolectados cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de variancias, por lo que se realizó el análisis de variancia para determinar si existían diferencias entre tratamientos. Asimismo, se realizó la prueba de Tukey cuando el análisis de variancia fue significativo, con la finalidad de dilucidar entre que tratamientos existía dicha diferencia. Las pruebas estadísticas fueron realizadas utilizando el software libre R versión 4.0.3.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Peso vivo

La Tabla 5 muestra el peso vivo de pollos que consumieron dietas con fitasas y disminuidas en 38 y 58% del fósforo disponible entre los días 8 y 28 días de edad. El análisis de variancia encontró diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). El peso vivo fue mayor en el tratamiento control mientras que las aves que consumieron dietas suplementadas con fitasa y disminuidas en el requerimiento de fósforo fueron similares estadísticamente.

Tabla 5.

Peso vivo de pollos de carne (media \pm desviación estándar) de 8 a 28 días de edad alimentados con dietas que incluían dos niveles de fitasa con niveles disminuidos de fósforo disponible.

Inclusión de una fuente de fitasa	N	Peso vivo, g		p - valor
		Inicial	Final	
T0: Control	5	172	1404 \pm 67 ^a	
T1: 0,02 % fitasa – 38% P disponible	5	172	1216 \pm 65 ^b	0,00025
T2: 0,03 % fitasa – 58% P disponible	5	172	1199 \pm 46 ^b	

^{ab} Letras iguales dentro de la columna indican que no existen diferencia estadística ($p > 0,05$)

4.2. Consumo de alimento

La Tabla 6 muestra el consumo de alimento de pollos alimentados con fitasas y disminuidas en 38 y 58% del fósforo disponible entre los días 8 y 28 días de edad. El análisis de variancia encontró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). Las aves del tratamiento control mostraron el mayor consumo de alimento, mientras que los animales que consumieron dietas suplementadas con fitasas, pero disminuidas en 38 y 58% de fósforo disponible mostraron consumos inferiores. Sin embargo, estadísticamente, el consumo de alimento de las aves que consumieron dietas con 0,03% fitasa y disminuidas en 58% del fósforo requerido fue similar al consumo de las aves del tratamiento control.

Tabla 6.

Consumo de alimento de pollos de carne (media \pm desviación estándar) de 8 a 21 días de edad alimentados con dietas que incluían dos niveles de fitasa con niveles disminuidos de fósforo disponible.

Inclusión de una fuente de fitasa	n	Consumo de alimento, g	p – valor
T0: Control	5	2083 \pm 111 ^a	
T1: 0.02 % fitasa – 38% P disponible	5	1836 \pm 197 ^b	0,042
T2: 0.03 % fitasa – 58% P disponible	5	1896 \pm 90 ^{ab}	

^{ab} Letras iguales dentro de la columna indican que no existen diferencia estadística ($p > 0,05$)

4.3. Conversión alimenticia

La Tabla 7 muestra los índices de conversión alimenticia de pollos alimentados con fitasas y disminuidas en 38 y 58% del fósforo disponible entre los días 8 y 28 días de edad. El análisis de variancia no encontró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$). Los pollos que consumieron dietas sin fitasa y con el 100% de fósforo requerido mostraron tendencia de mejor eficiencia de conversión alimenticia, sin embargo, estadísticamente, la conversión alimenticia de las aves que consumieron dietas suplementadas con fitasa, pero disminuidas en 38 y 58% del fósforo requerido, fueron similares al tratamiento control.

Los pollos que consumieron dietas con 0,02 y 0,03 % fitasa mostraron conversiones alimenticias de 1,73 y 1,80 g/g comparado con el tratamiento control (2,25 g/g).

Tabla 7.

Conversión alimenticia de pollos de carne (media \pm desviación estándar) de 8 a 21 días de edad alimentados con dietas que incluían dos niveles de fitasa con niveles disminuidos de fósforo disponible.

Inclusión de una fuente de fitasa	n	Conversión alimenticia, g/g	p - valor
T ₀ : Control	5	1.48 \pm 0.08 ^a	
T ₁ : 0,02 % fitasa – 38% P disponible	5	1.51 \pm 0.14 ^a	0,39
T ₂ : 0,03 % fitasa – 58% P disponible	5	1.58 \pm 0.12 ^a	

^{ab} Letras iguales dentro de la columna indican que no existen diferencia estadística ($p > 0,05$)

4.4. Retribución económica

La tabla 8 muestra la retribución económica estimada por pollo de carne alimentado con dietas con fitasa y requerimiento de fósforo disminuido. No hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p>0,05$), sin embargo, se observa tendencias de menor retribución económica por kg de peso vivo conforme se disminuye el fósforo requerido.

Tabla 8.

Retribución económica de pollos de carne de 8 a 21 días de edad alimentados con dietas que incluían dos niveles de fitasa con niveles disminuidos de fósforo disponible.

Parámetro	T0	T1	T2
	0%	0.02%	0.03%
PF promedio pollo, kg	1,404	1,216	1,199
Precio peso vivo, \$/kg*	1,56	1,56	1,56
Ingreso bruto por pollo, s/.	2,19	1,90	1,87
Consumo de alimento, kg	2,083	1,836	1.896
Precio de alimento, \$/kg	0,48	0,46	0,46
Costo de alimento por pollo producido, \$. Kg	1,00	0,84	0,87
Retribución económica			
Ingreso por pollo, \$.	1,19	1,05	1,00
Por kg de peso vivo, \$.	0,85 ^a	0,87 ^a	0,83 ^a

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

5.1. Peso vivo

El crecimiento anormal en animales jóvenes y el bajo aumento de peso vivo en animales maduros son síntomas característicos de la deficiencia de fósforo en todas las especies (McDonald *et al.*, 2010). En el presente estudio, la inclusión de fitasas en la dieta no incrementó la ganancia de peso de pollos de 8 a 28 días de edad comparado con el tratamiento control. La suplementación con 0,02 y 0,03% de fitasa no fue suficiente para cubrir los 38 y 58% del fósforo disponible disminuido en las dietas o la cantidad de fósforo presente en el fitato y liberado por la fitasa no fue suficiente para cubrir la deficiencia. Asimismo, los pollos que consumieron dietas con 0,03% de fitasa mostraron tendencias de menor peso vivo con respecto a los pollos que consumieron dietas con 0,02% de fitasa, que se debería a que la dieta solo suministró el 38% del fósforo disponible requerido.

Los resultados del presente estudio difieren con los resultados de otros investigadores, posiblemente, debido a que el fósforo disponible en la dieta de dichas investigaciones no fue tan deficiente como el de las dietas de la presente investigación. Broch *et al.* (2020), quienes al formular dietas con niveles alto, medio y bajo en fitato, pero suministrando el 100 y 64% del fósforo disponible requerido para cada nivel, no encontró mejoras para la ganancia de peso, concluyendo que la fitasa atenuó el efecto negativo de la reducción P y Ca, manteniendo un rendimiento similar al de las aves alimentadas con el tratamiento que suministraba el 100% del fósforo disponible requerido. Sousa *et al.* (2015) observaron mejoras en la ganancia de peso al suplementar fitasa en dietas que proporcionaban solo el 81% de calcio y 61% de fósforo requerido para el crecimiento óptimo de pollos de 8 a 21 días. Amerah *et al.* (2014) mencionan que la mayor disponibilidad de P, otros minerales y nutrientes sería debido a una mayor digestibilidad de los nutrientes del alimento como resultado de la acción de la fitasa.

5.2. Consumo de alimento

Dietas con bajas concentraciones de fósforo disminuyen el consumo de alimento de aves (Driver *et al.*, 2005) y es un comportamiento esperado en un animal con deficiencia de fósforo (McDonald *et al.*, 2010). En el presente estudio los pollos alimentados con dietas suplementadas con fitasa, pero deficientes en fósforo disponible mostraron menores consumos de alimento con respecto al tratamiento control. Los resultados sugieren que la fitasa suplementada o la cantidad de fósforo presente en el fitato, y que se supone sería liberado por la fitasa, no sería lo suficiente para cubrir el fósforo mínimo requerido para el crecimiento adecuado de los pollos de 8 a 28 días de edad, reflejándose en el menor consumo de alimento observado.

Dalólio *et al.* (2020) observó que el aumento de fósforo fitato disminuyó linealmente el consumo de alimento, mientras que al suplementar niveles incrementados de fitasa influyó significativamente sobre el consumo de alimento de los pollos. Broch *et al.* (2020) observaron que los pollos de engorde que recibieron dietas con bajo nivel de fósforo disponible y sin suplementación con fitasa, mostraron consumo de alimento reducido comparado con el tratamiento con niveles adecuados de fósforo, mientras que el consumo de alimento fue mayor en pollos de engorde alimentados con dietas de alto contenido de fitato comparado con dietas de bajo contenido de fitato.

5.3. Conversión alimenticia

La suplementación con fitasa no atenuó el efecto negativo de la reducción de P, que afectó el crecimiento del ave con tendencias de conversiones alimenticias deficientes. La conversión alimenticia es pobre en aves de corral alimentados con fósforo deficiente, pero es difícil decir en qué medida esto se debe a una reducción en la ingesta de alimentos (Driver *et al.*, 2005).

Broch *et al.* (2020) observaron que pollos de engorde que recibieron dietas que proporcionaban solo el 64% del fósforo disponible requerido pero suplementadas con fitasa tuvieron conversiones alimenticias más eficientes con mejoras lineales conforme los niveles de fitasa se incrementaban. La mejora de la conversión alimenticia de Broch *et al.* (2020) se fundamentaría en que la fitasa disponibiliza el P, otros minerales y nutrientes del fitato,

permitiendo una dieta de mejor calidad y mejorando la digestibilidad de los nutrientes (Amerah *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2014). En el presente estudio, las dietas suplementadas con fitasa tenían concentraciones de 38 y 58% de fósforo, mucho menores a los del estudio de Bronch *et al.* (2020), y los nutrientes liberados ni la mejora de la digestibilidad de los nutrientes no serían suficientes para mejorar la eficiencia de conversión alimenticia, ni el crecimiento animal.

5.4. Retribución económica

La retribución económica de los pollos alimentados con dietas que contenían 38 y 58% menos de fósforo requerido pero suplementados con fitasa, fueron similares al tratamiento control debido al menor consumo de alimento. Además, el costo de alimento de las raciones deficientes en fósforo fue ligeramente inferiores. La mayor ganancia de peso alcanzado por los pollos del tratamiento control, no fue suficiente para superar la retribución económica con respecto a los tratamientos deficientes en fósforo y suplementados con fitasa, debido que el consumo de alimento fue superior, con un ligero mayor costo del alimento.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Bajo las condiciones en las que se realizó el presente estudio, se llegó a las siguientes conclusiones:

- La suplementación de fitasa en una dieta deficiente en 38 y 58% de fósforo disponible no mejoró el peso de vivo de pollos de engorde 8 a 28 días de edad.
- La suplementación de fitasa en una dieta deficiente en 38 y 58% de fósforo disponible no mejoró el consumo de alimento de pollos de engorde 8 a 28 días de edad.
- La suplementación de fitasa en una dieta deficiente en 38 y 58% de fósforo disponible no influyó sobre la conversión alimenticia de pollos de engorde 8 a 28 días de edad.
- La suplementación de fitasa en una dieta deficiente en 38 y 58% de fósforo disponible no influyó sobre la retribución económica de pollos de engorde 8 a 28 días de edad.

6.2. Recomendaciones

De acuerdo con las conclusiones del presente estudio se recomienda:

- Evaluar parámetros químicos como el crecimiento y análisis químico del tarso para complementar las discusiones del peso vivo y consumo de alimento.
- Evaluar niveles intermedios del fósforo deficiente en la dieta con respecto a la presente investigación, para determinar el nivel deficiente mínimo del fósforo y la suplementación adecuada de fitasa que cubre dicha deficiencia.

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abudabos, A. M., Al-Atiyat, R. M., Stanley, D., Aljassim, R., & Albatshan, H. A. (2017). The effect of corn distiller's dried grains with solubles (DDGS) fortified with enzyme on growth performance of broiler. *Environmental science and pollution research international*, 24(26), 21412–21421. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9808-5>.
- Adebiyi, A., & Olukosi, O. (2015). Determination in broilers and turkeys of true phosphorus digestibility and retention in wheat distillers dried grains with solubles without or with phytase supplementation. *Animal Feed Science and Technology*, 207, 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.05.010>
- Amerah, A. M., Plumstead, P. W., Barnard, L. P., & Kumar, A. (2014). Effect of calcium level and phytase addition on ileal phytate degradation and amino acid digestibility of broilers fed corn-based diets. *Poultry science*, 93(4), 906-915. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03465>
- Babatunde, O.O., Bello, A., Dersjant-Li, Y., & Adeola, O. (2021). Evaluation of the responses of broiler chickens to varying concentrations of phytate phosphorus and phytase. I. Starter phase (day 1–11 post hatching). *Poultry Science*, 100 (10), 101396. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101396>.
- Boney, J.W., & Moritz, J.S. (2017). Phytase dose effects in practically formulated diets that vary in ingredient composition on feed manufacturing and broiler performance. *Journal of Applied Poultry Research*, 26(2), 273-285. <https://doi.org/10.3382/japr/pfw071>.
- Broch, J., dos Santos, E. C., Damasceno, J. L., Nesello, P. de O., de Souza, C., Eyng, C., Pesti, G. M., & Nunes, R. V. (2020). Phytase and phytate interactions on broilers' diet at 21 days of age. *Journal of Applied Poultry Research*, 29(1), 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2019.10.010>

- Buenavista, R.M.E., Siliveru, K., & Zheng, Y. (2021). Utilization of Distiller's dried grains with solubles: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 5, 100195. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100195>.
- Campasino, A., York, T., Wyatt, C., Bedford, M.R. y Dozier III, W.A. (2014) Effect of increasing supplemental phytase concentration in diets fed to Hubbard × Cobb 500 male broilers from 1 to 42 days of age. *Journal of Applied Poultry Research*, 23: 705–714. <https://doi.org/10.3382/japr.2014-00999>
- Choi, H., Lee, H.R., Shin, M., Jo, C., Lee, S., & Lee, B. (2008). Nutritive and Economic Values of Corn Distiller's Dried Grains with Solubles in Broiler Diets. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(3), 414-419. <https://doi.org/10.5713/ajas.2008.70067>
- Cowieson, A.J., Ptak, A., Mackowiak, P., Sassek, M., Pruszyńska-Oszmerek, E., Zyla, K., Kaczmarek, S., & Jozefiak, D. (2013) The effects of microbial phytase and myoinositol on performance and blood biochemistry of broiler chickens fed wheat corn-based diets. *Poultry Science*, 92, 2124-2134.
- Cross, H. S., Debiec, H., & Peterlik, M. (1990). Mechanism and regulation of intestinal phosphate absorption. *Mineral and electrolyte metabolism*, 16(2-3), 115-124.
- Dalólio, F.S., da Silva, D.L., Teixeira, L., Sens, R.F., Júnior, V.R., Albino, L.F., & Rostagno, H.S. (2020). Metabolizable energy and amino acid digestibility of corn distillers dried grains with solubles with or without enzymes supplementation in broiler diets. *Journal of Applied Poultry Research*, 29(4), 863-874. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.08.003>.
- Damasceno, J.L., Rocha, C., Eyng, C., Broch, J., Souza, C.R., Wachholz, L., Cirilo, E.H., Avila, A.S., Filho, I.P., & Nunes, R. (2020). Effect of feeding dried distillers' grains with solubles to broiler chickens from day 0 to 21. *Livestock Science*, 241, 104232. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104232>

- Davis, K. (2001). Corn milling, processing and generation of co-products. Proceedings of the 62nd Minnesota Nutrition Conference and Minnesota Corn Growers Association Technical Symposium, September 11-12, 2001, Bloonington, MN.
- Driver, J.P., Pesti, G.M., Bakalli, R.I., & Edwards, H.M. (2005). Effects of calcium and nonphytate phosphorus concentrations on phytase efficacy in broiler chicks. *Poultry Science*, 84(9), 1406-1417. <https://doi.org/10.1093/ps/84.9.1406>.
- Ecag. (2010). Las enzimas en la nutrición animal. *Revista oficial de la Universidad Técnica Nacional (UTN) - Sede Atenas Costa Rica*, 54: 20 – 27.
- El-Hack, M. A., Alagawany, M., Fara, M.R., & Dhama, K. (2015). Use of Maize Distiller's Dried Grains with Solubles (DDGS) in Laying Hen Diets: Trends and Advances. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10: 690-707. DOI: 10.3923/ajava.2015.690.707
- Fallahi, P., Habte-Tsion, H., & Rossi, W. (2018). Depolymerizing enzymes in human food: Bakery, dairy products, and drinks. In C. S. Nunes & V. Kumar (Eds.), *Enzymes in Human and Animal Nutrition* (pp. 211-237). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805419-2.00010-1>.
- Godoy, M.G., Amorim, G.M., Barreto, M.S., & Freire, D.M.G. (2018). Agricultural Residues as Animal Feed: Protein Enrichment and Detoxification Using Solid-State Fermentation. In A. Pandey, C. Larroche & C.R. Soccol (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 235-256). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63990-5.00012-8>.
- INRAE-CIRAD-AFZ. (2017-2021). INRAE-CIRAD-AFZ feed tables. 4 de setiembre del 2021, de NØØVISTAGO and EAAP Sitio web: <https://www.feedtables.com/>
- Iqbal, T. H., Lewis, K. O., & Cooper, B. T. (1994). Phytase activity in the human and rat small intestine. *Gut*, 35(9), 1233–1236. <https://doi.org/10.1136/gut.35.9.1233>

- Iram, A., Cekmecelioglu, D., & Demirci, A. (2020). Distillers' dried grains with solubles (DDGS) and its potential as fermentation feedstock. *Applied microbiology and biotechnology*, 104(14), 6115-6128. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10682-0>
- Kim, O. H., Kim, Y. O., Shim, J. H., Jung, Y. S., Jung, W. J., Choi, W. C., Lee, H., Lee, S. J., Kim, K. K., Auh, J. H., Kim, H., Kim, J. W., Oh, T. K., & Oh, B. C. (2010). β -propeller phytase hydrolyzes insoluble Ca (2+) -phytate salts and completely abrogates the ability of phytate to chelate metal ions. *Biochemistry*, 49(47), 10216-10227. <https://doi.org/10.1021/bi1010249>
- Konietzny, U., & Greiner, R. (2003). Phytic acid | Properties and Determination. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (2nd ed., pp. 4546-4555). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00922-6>.
- Kumar, V., & Sinha, A. K. (2018). General aspects of phytases. In C. S. Nunes & V. Kumar (Eds.), *Enzymes in Human and Animal Nutrition* (pp. 53-72). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805419-2.00003-4>.
- Lee, S.A., Nagalakshmi, D., Raju, M.V.L.N., Rama Rao, S.V. y Bedford, M.R. (2017) Effect of phytase superdosing, myo-inositol and available phosphorus concentrations on performance and bone mineralisation in broilers. *Animal Nutrition*, 3, 247-251.
- Liu, S.Y., Cadogan, D.J., Péron, A., Truong, H.H., Selle, P.H. (2014). Effects of phytase supplementation on growth performance, nutrient utilization and digestive dynamics of starch and protein in broiler chickens offered maize-, sorghum- and wheat-based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 164-175. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.08.005>.
- Loar, R. E., 2nd, Moritz, J. S., Donaldson, J. R., & Corzo, A. (2010). Effects of feeding distillers dried grains with solubles to broilers from 0 to 28 days posthatch on broiler performance, feed manufacturing efficiency, and selected intestinal characteristics. *Poultry science*, 89(10), 2242–2250. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00894>

- McDonald, P., Edwards, L. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., Wilkinson, R. G. (2010). *Animal Nutrition*. Seventh Edition. 714 p.: <http://gohardanehco.com/wp-content/uploads/2014/02/Animal-Nutrition.pdf>
- Morris, E., & Hill, A. (1996). Inositol Phosphate Content of Selected Dry Beans, Peas, and Lentils, Raw and Cooked. *Journal of Food Composition and Analysis*, 9, 2-12. <https://doi.org/10.1006/jfca.1996.0002>
- Mosby, & Doyma. (2003). *Diccionario Mosby*. Colombia: de medicina y ciencias de la salud – 4° Edición.
- Pandey, A., Soccol, C.R., Nigam, P., Brand, D., Mohan, R., & Roussos, S. (2000). Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical engineering journal*, 6(2), 153-162. [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(00\)00084-X](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(00)00084-X)
- Parmer, T. G., Carew, L. B., Alster, F. A., & Scanes, C. G. (1987). Thyroid function, growth hormone, and organ growth in broilers deficient in phosphorus. *Poultry science*, 66(12), 1995-2004. <https://doi.org/10.3382/ps.0661995>
- Pedersen, M., Dalsgaard, S., Knudsen, K.E., Yu, S., & Lærke, H. (2014). Compositional profile and variation of Distillers Dried Grains with Solubles from various origins with focus on non-starch polysaccharides. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 130-141. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.07.011
- Phillippy, B. Q., & Bland, J. M. (1988). Gradient ion chromatography of inositol phosphates. *Analytical biochemistry*, 175(1), 162-166. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(88\)90374-0](https://doi.org/10.1016/0003-2697(88)90374-0)
- Proszkowiec-Weglarz, M., & Angel, C. (2013). Calcium and phosphorus metabolism in broilers: Effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility1. *The Journal of Applied Poultry Research*. 22. 609-627. 10.3382/japr.2012-00743. <https://doi.org/10.3382/japr.2012-00743>

- Puppala, K.R., Buddhiwant, P., Agawane, S., Kadam, A., Mote, C., Lonkar, V., Khire, J., & Dharne, M. (2021). Performance of *Aspergillus niger* (NCIM 563) phytase based feed supplement for broiler growth and phosphorus excretion. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 31, 101887. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101887>
- Quan, C., Zhang, L., Wang, Y., & Ohta, Y. (2001). Production of phytase in a low phosphate medium by a novel yeast *Candida krusei*. *Journal of bioscience and bioengineering*, 92(2), 154–160. <https://doi.org/10.1263/jbb.92.154>
- Rojas, O. J., Liu, Y., & Stein, H. H. (2013). Phosphorus digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in corn, corn coproducts, and bakery meal fed to growing pigs. *Journal of animal science*, 91(11), 5326-5335. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6324>
- Rostagno, H. S. Teixeira, L.F., Hannas, M.I., Donzele, J.L., Sakomura, N.K., Perazzo, F.G., Saraiva, A., Teixeira, M.L., Rodrigues, P.B., Oliveira, R.F., Toledo, S.L., & Oliveira, C. (2017). Tablas brasileñas para aves y cerdos: composición de alimentos y requerimientos nutricionales. Ed. por Departamento de Zootecnia Universidad Federal de Viçosa. Cuarta. Brasil: Universidad Federal de Viçosa, Departamento de Zootecnia. Online:<https://bit.ly/2EO9xI8>.
- Roy, T., Mondal, S., Ray, A.K. (2008). Phytase-producing bacteria in the digestive tracts of some freshwater fish. *Aquaculture Research*, 40(3), 344-353. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02100.x>
- Santomá, G., & Mateos, G.G. (2018). Necesidades Nutricionales en Avicultura. Normas FEDNA (2ª edición). Madrid. Recuperado de: http://www.fundacionfedna.org/sites/default/files/NORMAS_FEDNA_AVES_2018v.pdf
- Schlemmer, U., Frolich, W., Prieto, R. M., & Grases, F. (2009). Phytate in foods and significance for humans: Food sources, intake, processing, bioavailability,

- protective role and analysis. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53(Suppl 2), S330-S375. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900099>
- Secco, D., Bouain, N., Rouached, A., Prom-U-Thai, C., Hanin, M., Pandey, A. K., & Rouached, H. (2017). Phosphate, phytate and phytases in plants: from fundamental knowledge gained in Arabidopsis to potential biotechnological applications in wheat. *Critical reviews in biotechnology*, 37(7), 898-910. <https://doi.org/10.1080/07388551.2016.1268089>
- Simons, P. C., Versteegh, H. A., Jongbloed, A. W., Kemme, P. A., Slump, P., Bos, K. D., Wolters, M. G., Beudeker, R. F., & Verschoor, G. J. (1990). Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. *The British journal of nutrition*, 64(2), 525-540. <https://doi.org/10.1079/bjn19900052>
- Skoglund, E., Carlsson, N., & Sandberg, A-S. (2009). Phytate. In P. R. Shewry & J. L. Ward (Eds.), *HEALTHGRAIN Methods - Analysis of Bioactive Components in Small Grain Cereals* (pp. 129-139). AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/B978-1-891127-70-0.50014-5>.
- Sousa, J.D., Albino, L., Vaz, R., Rodrigues, K.F., Silva, G.F., Rennó, L.N., Barros, V., & Kaneko, I. (2015). The effect of dietary phytase on broiler performance and digestive, bone, and blood biochemistry characteristics. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 17, 69-76.
- Stein, H.H., Lagos, L.V., & Casas, G.A. (2016). Nutritional value of feed ingredients of plant origin fed to pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 218, 33-69. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.003>.
- Suttle, N. F. (2010). Mineral Nutrition of Livestock. 4a ed. CABI. U.K. pp: 21.
- Swiatkiewicz, S., & Koreleski, J. (2008). The use of distillers dried grains with solubles (DDGS) in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal*, 64(2), 257-266. doi:10.1017/S0043933908000044

- Trupia, S., Winkler-Moser, J.K., Guney, A.C., Beckstead, R., & Chen, C-Y. O. (2016). Nutritional quality of eggs from hens fed distillers dried grains with solubles. *Poultry Science*, 95(11), 2592-2601. <https://doi.org/10.3382/ps/pew142>.
- Vats, P., & Banerjee, U. (2004). Production studies and catalytic properties of phytases (myo-inositolhexakisphosphate phosphohydrolases): an overview. *Enzyme and Microbial Technology*, 35, 3-14. doi: 10.1016/j.enzmictec.2004.03.010
- Vohra, A., & Satyanarayana, T. (2001). Phytase production by the yeast, *Pichia anomala*. *Biotechnology Letters*, 23, 551-554. <https://doi.org/10.1023/A:1010314114053>
- Walk, C.L., Bedford, M.R., Santos, T.S., Paiva, D., Bradley, J.R., Wlodecki, H., Honaker, C. & McElroy, A.P. (2013) Extra-phosphoric effects of superdoses of a novel microbial phytase. *Poultry Science*, 92, 719-725.
- Zhang, W., Aggrey, S. E., Pesti, G. M., Bakalli, R. I., & Edwards, H. M., Jr (2005). Correlated responses to divergent selection for phytate phosphorus bioavailability in a randombred chicken population. *Poultry science*, 84(4), 536-542. <https://doi.org/10.1093/ps/84.4.536>

ANEXOS

Anexo 1.

Peso vivo de las aves de 8 a 28 días de edad.

Tratamiento	Repetición	Peso vivo, g			
		Inicio, 8 días	14 días	21 días	28 días
T ₀	1	171,8	397	807	1364
	2	171,8	398	842	1430
	3	172,4	417	866	1490
	4	171,4	375	781	1315
	5	171,8	392	821	1423
T ₁	1	171,8	381	698	1151
	2	171,8	387	843	1165
	3	172,4	352	750	1314
	4	171,4	369	741	1240
	5	171,8	356	681	1212
T ₂	1	171,8	349	727	1183
	2	171,8	348	749	1280
	3	172,4	358	731	1184
	4	171,4	358	703	1165
	5	171,8	348	714	1185

Anexo 2.*Consumo acumulado de alimento de las aves de 8 a 28 días de edad.*

Tratamiento	Repetición	Consumo de alimento acumulado, g		
		14 días	21 días	28 días
T ₀	1	504	1292	2125
	2	363	1228	2153
	3	536	1200	2197
	4	583	1150	2014
	5	413	1023	1926
T ₁	1	401	1043	1818
	2	347	1079	1863
	3	445	1349	2122
	4	425	884	1814
	5	588	773	1567
T ₂	1	357	1013	1897
	2	361	991	1816
	3	468	1133	1804
	4	419	1373	2019
	5	454	1153	1945

Anexo 3.*Conversión alimenticia de las aves de 8 a 28 días de edad.*

Tratamiento	Repetición	Conversión alimenticia, g/g		
		14 días	21 días	28 días
T ₀	1	1,27	1,60	1,56
	2	0,91	1,46	1,51
	3	1,28	1,39	1,47
	4	1,55	1,47	1,53
	5	1,05	1,25	1,35
T ₁	1	1,05	1,49	1,58
	2	0,90	1,28	1,60
	3	1,26	1,80	1,61
	4	1,15	1,19	1,46
	5	1,65	1,14	1,29
T ₂	1	1,02	1,39	1,60
	2	1,04	1,32	1,42
	3	1,31	1,55	1,52
	4	1,17	1,95	1,73
	5	1,30	1,62	1,64

Anexo 4.

Análisis del presupuesto de normalidad con Shapiro-Wilk.

Peso vivo

W = 0.97794, p-value = 0.9535

Consumo de alimento

W = 0.97794, p-value = 0.9535

Conversión alimenticia

W = 0.93165, p-value = 0.2888

Retribución económica

W = 0.93165, p-value = 0.2888

Anexo 5.

Análisis del presupuesto de homogeneidad de varianza con Bartlett.

Peso vivo

Bartlett's K-squared = 0.58914, df = 2, p-value = 0.7449

Consumo de alimento

Bartlett's K-squared = 2.4883, df = 2, p-value = 0.2882

Conversión alimenticia

Bartlett's K-squared = 0.90589, df = 2, p-value = 0.6358

Retribución económica

Bartlett's K-squared = 0.90589, df = 2, p-value = 0.6358

Anexo 6.

Anova de los parámetros evaluados.

Peso vivo

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Trat	2	129430	64715	17.91	0.00025 ***
Residuals	12	43368	3614		

Consumo de alimento acumulado

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Trat	2	165062	82531	4.176	0.042 *
Residuals	12	237156	19763		

Conversión alimenticia

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Trat	2	0.02609	0.01305	1.002	0.396
Residuals	12	0.15628	0.01302		

Retribución económica

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Trat	2	0.0373	0.01863	0.418	0.667
Residuals	12	0.5345	0.04454		

Anexo 7.

Prueba de Tukey de los parámetros evaluados.

Peso vivo

	PV	std	r	Min	Max
T0	1404.4	66.99478	5	1315	1490
T1	1216.4	65.23266	5	1151	1314
T2	1199.4	45.80720	5	1165	1280

Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes.

	PV	
T0	1404.4	a
T1	1216.4	b
T2	1199.4	b

Consumo de alimento acumulado

	Acum	std	r	Min	Max
T0	2083.0	110.75875	5	1926	2197
T1	1836.8	197.28837	5	1567	2122
T2	1896.2	89.99278	5	1804	2019

Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes.

	Acum	
T0	2083.0	a
T2	1896.2	ab
T1	1836.8	b

Conversión alimenticia

	Conv	std	r	Min	Max
T0	1.484	0.08173127	5	1.35	1.56
T1	1.508	0.13590438	5	1.29	1.61
T2	1.582	0.11798305	5	1.42	1.73

Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes.

	Conv	
T0	1.484	a
T1	1.508	a
T2	1.582	a