



UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN
AGROPECUARIA**

**EFFECTO DE LA INCLUSIÓN DE FITASA, XILANASA Y XILO-
OLIGOSACARIDOS EN DIETAS CON DOS NIVELES DE FIBRA
CRUDA EN EL POLLO DE ENGORDA**

TESIS

que como requisito parcial para obtener el título profesional de

Maestro en Producción Agropecuaria

presenta

Magda Yolima Serrano Gamboa

ASESORES:

Dr. Jorge Fonseca Madrigal

Dr. Carlos López Coello

Morelia, Michoacán. Enero, 2024

DEDICATORIA

*Le agradezco a **Dios**,*

por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi maestría,

por ser mi fortaleza y mi refugio en los momentos de debilidad,

mi compañía en mis horas de trabajo, mi consejero durante los días oscuros y

mi luz al final de este bello aprendizaje.

A mi esposo,

por siempre estar junto a mí, ser esa voz de aliento

y ese hombro en el cual me apoyé en cada paso que di.

A mi familia,

por ser mi ejemplo de lucha diaria, resiliencia y valentía.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer infinita y profundamente a Integración y desarrollo agropecuario SA de CV, quienes con su apoyo incondicional hicieron de este proyecto, una realidad.

Mi agradecimiento para AB vista Company, quienes apoyaron esta investigación a través de recursos y conocimientos de gran valor y relevancia, especialmente a los Doctores Daniel Camacho Fernández y Gilson Gómez quienes participaron con gran compromiso.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Michoacana San Nicolas de Hidalgo, especialmente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF), a mis profesores y personal administrativo.

Así mismo, agradezco a Conahcyt por el apoyo brindado durante el desarrollo de mis estudios.

Y por supuesto, un especial agradecimiento a mis mentores, los Doctores Ernesto Ávila González, Carlos López Coello, Jose Arce Menocal, Jorge Fonseca Madrigal, a las Doctoras María Gisela Ríos Duran, Dra. Melba Ramírez González y Gabriela Gómez Verduzco, gracias, no solo por sus conocimientos, si no por darme la oportunidad de conocer profesionales con una ética de trabajo inmejorable y personas con extraordinarios valores.

Contenido

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	6
MARCO TEÓRICO	8
<i>Fósforo y su disponibilidad en la materia prima</i>	8
Importancia del fósforo en las aves.....	9
Importancia del fósforo en el medio ambiente.....	9
ENZIMAS	10
Historia de las enzimas en la alimentación animal	10
Definición de enzimas	12
Tipos de enzimas disponibles	13
Beneficios de la adición de enzimas exógenas.....	14
ÁCIDO FÍTICO	15
Efecto anti nutriente.....	16
Capacidad quelante.....	18
Características del inositol	19
Desfitinización	20
FITASA	20
Fuentes de actividad de la fitasa.....	21
Mecanismo de acción de las fitasas.....	24
Beneficios de la adición de fitasas	26
Superdosis de fitasa	27
Beneficios de la adición de superdosis de fitasa.....	28
XILANASA	28
Xilanasas y su mecanismo de acción	29
FIBRA	30
Polisacáridos no amiláceos (PNA).....	31
Efecto anti-nutricional de los PNA.....	33
Efectos de la fibra dietética sobre la digestibilidad de los nutrientes	33
Efectos de la fibra dietética en el desarrollo y la función intestinal	34
XILO-OLIGOSACÁRIDOS.....	35
Estructura química de los xilo-oligosacáridos	35
Beneficios de los xilo-oligosacáridos en las aves.....	35

TIEMPO DE TRÁNSITO DIGESTIVO	37
VELLOSIDADES INTESTINALES.....	38
OBJETIVOS	41
OBJETIVO GENERAL	41
OBJETIVOS PARTICULARES	41
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	42
HIPÓTESIS	43
MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
Localización	43
Infraestructura y equipo.....	43
Dietas experimentales.....	44
Material biológico y diseño experimental	47
Manejo	48
Análisis de materias primas.....	49
Variables evaluadas	49
Parámetros zootécnicos	49
Peso corporal semanal de las aves (kg)	49
Consumo de alimento acumulado (kg).....	49
Índice de conversión alimenticia acumulada	49
Mortalidad acumulada (%)	49
Tiempo de tránsito del alimento en el sistema digestivo	50
Morfometría intestinal (micras).....	50
Rendimiento en canal	53
Pigmentación en la piel.....	53
Costo kilogramo de carne producido por concepto de alimento.	54
RESULTADOS	55
DISCUSIÓN.....	61
CONCLUSIONES	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Enzimas exógenas.....	11
Tabla 2. Dieta en fase iniciación (1-14 días).....	44
Tabla 3. Dieta en fase engorde (15-28 días)	45
Tabla 4. Dieta en fase finalización (29-42 días)	46
Tabla 5. Diseño factorial de los tratamientos experimentales.....	48
Tabla 6. Parámetros zootécnicos, promedio del tránsito de alimento y costos por kilogramo de carne producido por concepto del alimento	57
Tabla 7. Rendimiento en canal y pigmentación en piel	58
Tabla 8. Morfometría duodeno, yeyuno e íleon	60

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Mucosa intestinal con diferentes tipos de células	39
Imagen 2. Longitud de la vellosidad.....	51
Imagen 3. Ancho de la vellosidad.....	51
Imagen 4. Profundidad de la cripta de Lieberkühn.....	52
Imagen 5. Numero de vellosidades.....	52
Imagen 6. Pigmentación en piel	54

ABREVIATURAS

Ácido fítico	A-Fi
Aminoácidos	A.A.
Ácidos grasos volátiles de cadena corta	AGCC
Arabinosilanos totales	AT
Arabinosilanos insolubles	AI
Arabinosilanos solubles	AS
Anillo de carbono 2	C2
Betaglucanos totales	BT
Betaglucanos insolubles	BI
Betaglucanos solubles	BS
Calcio	Ca ²⁺
Carbohidratos	CHS
Cobalto	Co
Cobre	Cu
Consumo de alimento acumulado	CAA
Índice de Conversión alimenticia	ICA
Digestible	Dig
Espectroscopia de infrarrojo cercana	NIRS
Energía metabolizable	EM
Energía metabolizable aparente	EMA
Factor anti nutricional	FAN
Fibra dietética	FD
Fibra dietética Insoluble	FDI
Fibra dietética soluble	FDS
Grupo carboxilo	COO
Fibra	FI
Fibra cruda	FC
Fibra neutra detergente	FND
Fibra acida detergente	FAD
Fósforo	P
Gramo	G
Grupo amino	NH ₂
Hierro	Fe
Humedad	Hum
Índice de solubilidad de la proteína	ISP
Inositol fosfato	Ins-P
Kilocalorías	Kcal
Kilogramos	Kg
Lisina reactiva como % de lisina total	LR. % LT
Metros cuadrados	m ²

Metionina digestible	Met dig
Metionina + cisteína digestible	Met + cis dig
No se determino	NSD
Polisacáridos no amiláceos	PNAs
Polisacáridos no amiláceos totales	PNAT
Polisacáridos no amiláceos insolubles	PNAI
Polisacáridos No amiláceos solubles	PNAS
Proteína	P
Promotores de crecimiento	PCR
Toneladas	T
Tracto gastrointestinal	TGI
Unidades de xilanasa	BXU
Unidades de fitasa	FTU
Xilo-oligosacárido	XOS
Zinc	Zn

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la inclusión de fitasa (Fi), xilanasa y xilo-oligosacáridos (XOS), en dietas en harina con dos niveles de fibra cruda sobre los parámetros zootécnicos, morfometría intestinal y costos del kilogramo de carne producidos por concepto del alimento en el pollo de engorda. Se utilizaron 2880 pollitos machos de 1 día de edad de la estirpe Ross 308 mantenidos hasta los 42 días, se distribuyeron completamente al azar con arreglo factorial 2 (2.5 y 5%) x 2 (500 y 2000 FTU) x 2 (0 y 100 g) con 9 réplicas de 40 aves cada una. Todos los tratamientos incluían xilanasa a una dosis de 16,0000 BTU/ kg. Los resultados mostraron diferencias ($p < 0.054$) al final de la prueba en el efecto principal de fibra con el consumo de alimento y conversión alimenticia (1.672 vs 1.659), en favor de las dietas con 5.0% de fibra, sin embargo, las dietas con 2.5% de fibra presentaron un menor ($p < 0.001$) costo de producción (19.27 vs 20.43 MN). El efecto principal de fitasa se observó en el costo de producción (19.93 vs 19.76 MN) a favor de las dietas con 2000 FTU ($p < 0.05$), sin mostrar diferencias ($p > 0.05$) en el rendimiento productivo. En cuanto a la adición de los XOS no se observó diferencias ($p > 0.05$) en las variables estudiadas como efecto principal, pero se observó interacción en los niveles de fibra, en donde aumento el consumo de alimento (4.486 y 4.538 g) así como en el tiempo de tránsito digestivo disminuyendo el tiempo en dietas con 5% de fibra (212 min). En conclusión, un mayor nivel de fibra mejoró el índice de conversión alimenticia, pero el costo de los ingredientes utilizados fue determinante en la eficiencia económica. Por otro lado, la inclusión de dosis altas de fitasa permitió formular dietas más rentables sin afectar el rendimiento productivo de las aves debido al efecto extra fosfórico de la fitasa, liberando prácticamente todo el fósforo contenido en los ingredientes. Se observaron interacción de los XOS sobre el consumo de alimento y el costo de producción.

Palabras claves: fibra, fitasa, xilo-oligosacárido, xilanasa, pollo de engorda.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the inclusion of phytase (Fi), xylanase and xylo-oligosaccharides (XOS), in flour diets with two levels of crude fiber on the zootechnical parameters, intestinal morphometry and costs per kilogram of meat produced per concept. of feed in broiler chicken. 2880 1-day-old male chicks of the Ross 308 strain maintained until 42 days were used, they were distributed completely at random with a factorial arrangement of 2 (2.5 and 5%) x 2 (500 and 2000 FTU) x 2 (0 and 100 g) with 9 repeats of 40 birds each. All treatments included xylanase at a dose of 16,0000 BTU/kg. The results showed differences ($p < 0.054$) at the end of the test in the main effect of fiber with food consumption and feed conversion (1.672 vs 1.659), in favor of diets with 5.0% fiber, however, the diets with 2.5% fiber they presented a lower ($p < 0.001$) production cost (19.27 vs 20.43 MN). The main effect of phytase was observed in the production cost (19.93 vs 19.76 MN) in favor of diets with 2000 FTU ($p < 0.05$), without showing differences ($p < 0.05$) in productive performance. Regarding the addition of the in digestive transit time, reducing the time on diets with 5% fiber (212 min). In conclusion, a higher level of fiber improved the feed conversion index, but the cost of the ingredients used was decisive in the economic efficiency. On the other hand, the inclusion of high doses of phytase allowed the formulation of more profitable diets without affecting the productive performance of the birds due to the extra phosphoric effect of phytase, releasing practically all the phosphorus contained in the ingredients. Interaction of the XOS on feed consumption and production cost was observed.

INTRODUCCIÓN

Las enzimas exógenas han sido empleadas en la nutrición animal por más de 30 años, con el objetivo maximizar el uso del alimento, para mejorar la digestibilidad de algunos nutrientes, así como inhibir factores anti nutricionales, ayudando a una mejor funcionalidad del tracto digestivo y preservando la integridad intestinal. Con ello se puede disminuir de manera importante la contaminación ambiental y los costos de las dietas, favoreciendo la rentabilidad del productor. Comúnmente, las raciones de las aves están compuestas por ingredientes de origen vegetal, en los cuales existe la presencia de factores anti nutricionales como: fitatos, polisacáridos no amiláceos (PNAs) e inhibidores de las enzimas endógenas que interfieren con el proceso digestivo (Kalantar *et al.*,2019).

El fósforo (P), es el tercer ingrediente más costoso en la dieta de monogástricos, después de la energía y la proteína; por otro lado, el fitato es uno de los principales factores anti nutricionales (FAN), siendo la principal forma de almacenamiento de P en las semillas, aunque es una fuente de P no disponible para las aves, puesto que no tienen la enzima fitasa para hidrolizarlo. De la misma manera este FAN reduce la biodisponibilidad de aminoácidos, minerales y lípidos, afectando el suministro y almacenamiento de energía (Cowieson *et al.*,2009). Se ha demostrado que el uso de fitasa exógena en el alimento aumenta la disponibilidad del P que está ligado a fitatos, por lo que su uso permite disminuir el nivel de este mineral en la dieta y consecuentemente generar una reducción considerable de la excreción de este. Además, el uso de esta enzima contribuye a un incremento en la digestibilidad del calcio, zinc, ácidos grasos, aminoácidos y proteínas (Cowieson *et al.*,2016).

Recientemente se ha empezado a investigar el uso de dosis altas de fitasa, llamadas también superdosis, cuyo principio es aplicar tres o cuatro veces el nivel estándar. Se ha encontrado que al usar superdosis de esta enzima, se observan concentraciones menores de ácido fítico

(Ins-P5-Ins-P6), logrando un mejor aprovechamiento del fósforo y un incremento en la energía neta, además de tener un efecto positivo sobre el desempeño productivo y la digestibilidad de algunos nutrientes a nivel del tracto gastrointestinal (Cowieson *et al.*,2011). Si bien se han evidenciado los beneficios del uso de superdosis de fitasa, aún se requiere mayor investigación para evaluar los posibles efectos de utilizar altos niveles de esta enzima en combinación con otras como las xilanasas a nivel productivo en el pollo de engorda.

Las aves carecen de algunas enzimas específicas que ayudan a digerir ciertos componentes del alimento como la fibra soluble, presente en la mayoría de los vegetales; por ello algunos nutrientes como la energía y la proteína quedan atrapados dentro de la fracción insoluble de las fibras, y las aves no pueden acceder a ellos al no producir las enzimas capaces de la hidrólisis de la fibra (Mateos *et al.*,2012). Por otro lado, la fracción soluble se disuelve en el intestino del ave formando geles viscosos que retienen agua y que atrapan los nutrientes solubles en ella, creando volumen y ralentizando la velocidad de digestión y el paso de alimento a través del intestino; al hacerse más lento el movimiento del alimento, se reduce la ingesta y el crecimiento posterior de las aves (Bautil *et al.*,2020). Las dos principales enzimas que degradan la fibra utilizada en la alimentación animal son las xilanasas y las α -glucanasas. Las xilanasas actúan sobre los PNAs, los cuales generan efectos negativos como el aumento en la viscosidad de la digesta en el tracto gastro intestinal (TGI), disminuyendo la velocidad del tránsito de esta, lo cual va a afectar la digestión y absorción de nutrientes, causando también bajo consumo de alimento (Choct, 2006). Para ayudar al efecto benéfico de las enzimas exógenas se utilizan estímbióticos como los xilo-oligosacárido (XOS), los cuales junto con xilanasas exógenas generan un efecto sinérgico, estimulando el microbioma intestinal. Los XOS son sustratos que, al ser aprovechados por las bacterias benéficas, tienen como objetivo estimular su capacidad de producir xilanasas microbianas que van a degradar aún más fibra y también favorecen la producción de ácido butírico, acético y propiónico, los cuales

mejoran el funcionamiento intestinal y modulan el sistema inmunitario (De Maesschalck *et al.*,2015). Proporcionar enzimas exógenas a las aves permite el aprovechamiento máximo de los nutrientes presentes en los ingredientes, incluyendo los alternativos de menor costo con resultados rentables. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio es evaluar el efecto de xilanasas y xilo-oligosacáridos a dos diferentes dosis de fitasas, en dietas con dos porcentajes de fibra cruda; sobre parámetros productivos, morfometría intestinal, tiempo de tránsito intestinal, rendimiento en canal y pigmentación de la piel en el pollo de engorda.

JUSTIFICACIÓN

Para digerir el alimento los animales o su microbioma del tracto gastrointestinal producen enzimas; sin embargo, no son efectivos al cien por ciento para realizar los procesos digestivos; adicionalmente existen factores anti-nutricionales presentes en los ingredientes alimenticios que disminuyen la digestión en un 15 a 25%.

En una industria dinámica como la avícola y tan veloz como la de producción de carne de pollo de engorda, el alimento se considera el rubro de mayor costo y la rentabilidad puede depender del valor nutritivo de los ingredientes disponibles para la fabricación del alimento; si este no es digerido por el ave lo más eficientemente posible, existe un alto costo tanto económica como ambientalmente.

Aunque el uso de fitasa en la nutrición avícola no es nuevo, la adición de superdosis y sus efectos extra-fosfóricos son más recientes, y el impacto que estas dosis tendrían en los costos del alimento son muy interesantes con respecto al uso de fósforo inorgánico y su importancia económica.

Por otro lado, el uso de la fibra dietética ha tomado mayor relevancia los últimos años en la industria avícola, buscando incluir mayor diversidad de ingredientes mediante el uso de carbohidrasas como la xilanasas que mejorarían la disponibilidad de los nutrientes por medio de la pre-fermentación de los PNAs, lo cual también podría favorecer el desarrollo del microbioma intestinal. A partir de la hidrólisis del xilano se producen los xilo-oligosacáridos, los tienen efecto prebiótico al incrementar la producción de ácidos grasos volátiles como acético, propiónico y butírico principalmente, lo que ha llevado a investigar el comportamiento que tendrían los XOS

sobre las diferentes variables estudiadas, principalmente la morfometría intestinal y el rendimiento del pollo.

Lo anterior plantea la necesidad de evaluar si la inclusión de superdosis de fitasa, xilanas y xilo-oligosacárido en dietas para pollo, con dos niveles de fibra cruda, mejora en la morfometría intestinal, el rendimiento productivo de las aves y con ello disminuir los costos de producción.

MARCO TEÓRICO

FÓSFORO

Fósforo y su disponibilidad en la materia prima

El fósforo contenido en los vegetales se encuentra bien en forma inorgánica, principalmente como ortofosfatos (PO_4^{3-}), o bien en forma orgánica en el seno de moléculas tales como ATP, ácidos nucleicos, fosfolípidos, fosfoproteínas y fosfoglúcidos. La hidrólisis del P orgánico en el tracto gastrointestinal libera PO_4^{3-} , que es la única forma en que el animal puede absorberlo y utilizarlo (De Groot, 1990). En los ingredientes vegetales el P orgánico representa la mayor parte, siendo el ácido fítico y el fosfoglúcido. alrededor de un 60-80% del P total contenido en los granos y sus subproductos se encuentra como parte del ácido fítico y sus sales, generalmente como fitatos de Ca, K y Mg (Ravindran *et al.*, 1995). Por el contrario, en los alimentos de origen animal predomina el P inorgánico que se encuentra en forma de ortofosfatos en solución en el medio celular y mayoritariamente como fosfatos de calcio en los tejidos óseos y en la leche. Alrededor del 80-85% del P presente en el organismo animal se localiza en el esqueleto como fosfato cálcico $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ e hidroxiapatita $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ y el 15-20% restante se encuentra como P orgánico en los tejidos muscular y, especialmente en los glóbulos rojos. La sangre contiene entre 35 y 45 mg de P/100 ml localizado en su mayor parte en el interior de las células ya que la fracción plasmática sólo posee entre 4,5 y 6 mg P/100 ml en adultos y entre 6 y 9 mg P/100 ml en animales jóvenes (Valencia *et al.*, 2007)

Las fuentes minerales de P más utilizadas en alimentación animal son los ortofosfatos de calcio. Las diversas fuentes de P pueden contener cantidades variables de meta- [$(\text{PO}_3)^{3-}$] y piro- [$(\text{P}_2\text{O}_7)^{4-}$] fosfatos en función de las temperaturas alcanzadas durante el proceso de

obtención (Axe, 1993). Otros fosfatos minerales de menor importancia práctica por su baja disponibilidad en monogástricos son las rocas fosfóricas, los meta fosfatos de Na, K y Ca, los pirofosfatos de Na y Ca y las polifosfatos [(PO₄)³⁻] de Na y NH₄.

Importancia del fósforo en las aves

El fósforo está asociado a diferentes y muy relevantes funciones metabólicas, participa en el metabolismo energético en la formación y mantenimiento de los huesos, así como del cascarón del huevo. Constituye, además, parte de los fosfolípidos que comprenden la membrana celular e interviene como tampón en la regulación del pH corporal. Las dietas para aves deben contenerlo en cantidades que permitan un adecuado aporte durante cada fase de producción. Una deficiencia de fósforo causa pérdidas en la productividad animal, generando debilitamiento óseo, cansancio general del ave, mayor susceptibilidad a patógenos e infecciones, raquitismo y debilitamiento muscular, que genera que las aves no soporten su propio peso; mientras que los niveles demasiado altos conducen a una menor eficiencia en la absorción, llevando a la presentación de fatiga de jaula, la cual es un tipo de osteoporosis caracterizado por la remoción de fosfato de calcio, no solo del hueso medular sino también del hueso cortical, principalmente de los huesos largos. Los excesos de P en la dieta resulta en concentraciones más elevadas en las heces (Acosta y Cárdenas, 2006).

Importancia del fósforo en el medio ambiente

Las dietas para aves se basan en ingredientes en los que el P está presente principalmente como fitato, y su disponibilidad es limitada debido a que las fosfatasas intestinales endógenas solo son capaces de hidrolizar las moléculas de intermediarios del inositol con escaso número de iones ortofosfatos (Ins-P₃ a Ins-P₁), las enzimas fitásicas endógenas. El contenido

digestivo del estómago y del proventrículo e intestino de las aves presentan escasa actividad fitásica propia, generando que el P se convierta en un nutriente crítico que se excreta, casi, en su totalidad, contribuyendo a la contaminación ambiental (Ravindran *et al.*,1999).

Una vez en el suelo, el exceso de P llega a los embalses y lagos mediante la erosión y escorrentías, mientras que a los cuerpos de agua subterráneos llega por infiltración. La vegetación acuática y las cianobacterias utilizan grandes cantidades de este mineral, lo que ocasiona la proliferación acelerada de dichos organismos y promueve el proceso de eutrofización. La proliferación causa disminución en los niveles de oxígeno disuelto en el agua y provoca la muerte de la fauna acuática por hipoxia. La inclusión de menores cantidades de P en las dietas es una de las vías para reducir la excreción. De hecho, la adición de fitasas a las dietas mejora el aprovechamiento del P, permite utilizar menores cantidades de P inorgánico en la dieta y también reduce la excreción de fosfato a los suelos (Waldroup *et al.*,2000).

ENZIMAS

Historia de las enzimas en la alimentación animal

El empleo de las enzimas en nutrición animal tuvo importancia hasta hace aproximadamente veinte años, principalmente en Canadá, y la desaparecida República Democrática de Alemania, países en los cuales la adición de las enzimas era necesario por la limitada disponibilidad de ingredientes de alta digestibilidad como el maíz (Méndez, 2011).

El uso de enzimas exógenas en las dietas de animales monogástricos como aves ha sido estudiado y aplicado para mejorar su alimentación, favoreciendo la hidrólisis de compuestos de baja digestibilidad (Delgado y Camargo, 2013). La adición de un complejo enzimático a dietas con ingredientes de menor costo o valor nutricional inferior tienen como objetivo

un mejor uso de nutrientes de la dieta para incrementar la productividad (Choct, 2006) Las enzimas causan en el animal en primer lugar, una mejor conversión de las sustancias minerales como por ejemplo, la utilización de fitasas, la cual actúa sobre los fitatos presentes en los ingredientes vegetales, liberando los nutrientes que se encuentran unidos al complejo, produciendo una mejor conversión alimenticia y menor excreción de nutrientes al medio ambiente (Delgado y Camargo, 2013).

Actualmente existe una gran cantidad de enzimas exógenas destinadas a la adición de alimentos como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Enzimas exógenas utilizadas en alimentos para animales.

Enzima	Sustrato	Materia prima	Función	Beneficio
Fitasas	Ésteres de ácido fítico	Origen vegetal	Hidrólisis de fitato	Mejora absorción de fósforo y otros minerales
-glucanasas: (1- 4) glucanasa	-glucanos	Cebada, avena, centeno		
Xilanasas	Arabinosilanos	Trigo, centeno, triticale, cebada		
-Galactosidasa Mananasa	Oligosacáridos Manano-oligosacáridos (Pared celular)	harina de soya, leauminosas	Reducción de viscosidad de la dieta	Mejora la digestibilidad de las dietas
Celulasas	Celulosa, Hemicelulosa (Pared celular)	Origen vegetal		

Hemicelulasa	Hemicelulosa (Pared celular)			
Pectinasa	Pectinas (Pared celular)			
Proteasas	Proteínas	Proteicos vegetales	Hidrólisis de proteína	Aumento de la digestibilidad de la proteína
Fitasas	Ésteres de ácido fítico	Origen vegetal	Hidrólisis de fitato	Mejora absorción de fósforo y otros minerales
Lipasa	Grasas, ésteres	Lípidos de ingredientes	Hidrólisis de grasas	Suplemento para edades juveniles

Fuente: Cowieson (2006)

Definición de enzimas

Las enzimas son proteínas de estructura tridimensional que actúan en condiciones determinadas de pH, temperatura y únicamente con sus sustratos específicos. Las enzimas son catalizadores biológicos por naturaleza, aceleran diversas reacciones químicas en el organismo, que bajo condiciones normales no se producirían o lo harían a una velocidad muy reducida. Las enzimas no se desnaturalizan durante estas reacciones por lo cual, una vez terminada la reacción vuelven a su estado original, de ahí que la cantidad necesaria de una enzima es muy pequeña en proporción con la cantidad del sustrato (Ramírez y Ayala , 2014).

Tipos de enzimas disponibles

En la nutrición animal actualmente existen 4 tipos de enzimas comercialmente disponibles cada una de estas actúa según el tipo de sustrato que degradan, ya sea sobre el ácido fítico, proteína, fibra o almidón.

Fitasa: La mayoría del fósforo en las plantas se encuentra en forma de ácido fítico y dado que la mayoría de las dietas en aves son de origen vegetal, la degradación de este FAN es de gran importancia debido a que el fósforo se requiere para la mineralización de los huesos, inmunidad, fertilidad y crecimiento; sin embargo, tanto aves como cerdos tienen la capacidad de absorber sólo un 30-40% de P proveniente de ingredientes de origen vegetal, el resto se encuentra inaccesible para los animales desde un punto de vista nutricional, siendo necesario adicionarlo a las dietas, volviéndolas más costosas, y eliminando grandes cantidades al ambiente, al agregar fitasa a la dieta, el AF es degradado, liberando más fósforo al organismo del animal (Khattak *et al.*,2006).

Enzimas degradantes de fibra: en animales monogástricos, enzimas degradantes de fibra no son producidas, lo que no permite la degradación de fibra soluble e insoluble presente en los ingredientes de origen vegetal, siendo la fibra causante de aumentar la viscosidad del contenido intestinal limitando la absorción de nutrientes y como consecuencia disminuye el crecimiento del animal (Cowieson *et al.*,2006).

El empleo de enzimas como xilanasas y α -glucanasas permiten la degradación de los polisacáridos no amiláceos en oligosacáridos y monosacáridos con el objetivo de disminuir la viscosidad de la digesta e incrementar la digestibilidad de los nutrientes. (Silva y Smithard, 1997).

Amilasas: el uso de amilasa en las dietas ha sido ampliamente usado desde hace varios años debido a la inclusión del maíz como uno de los ingredientes principales, el cual presenta hasta un 95% de digestibilidad (Medina, 2003). Con la adición de la amilasa se permite exponer más rápido el almidón hacia la absorción a nivel del intestino delgado, de esta manera se logra un mayor crecimiento de los animales y se ha asociado un incremento de enzimas exógenas, mejorando la digestión y absorción y por ende de los índices de producción (Cowieson y *col.*,2006; Khattak *et al.*,2006).

Proteasas: la adición de enzimas en monogástricos como proteasas pueden neutralizar o eliminar los efectos de factores anti nutricionales contenidos en algunos ingredientes como la harina de soya (inhibidores de lectina y tripsina) con el objetivo de evitar daños en la superficie de absorción de nutrientes a nivel del intestino. Las proteasas también ayudan a degradar las moléculas más grandes de proteína a fracciones absorbibles (Glitsoe *et al.*,2015).

Beneficios de la adición de enzimas exógenas

Según autores como Glitsoe *et al.*, (2015); Ravindran, (2013) y Ruiz, (2011) la aplicación de enzimas en alimentos para animales tiene los siguientes beneficios:

- ◆ La degradación de los factores anti-nutricionales en raciones para monogástricos.
- ◆ Mejorar la digestibilidad de la dieta, puesto que la baja digestibilidad de algunos ingredientes es el resultado de la falta de enzimas endógenas en el animal.
- ◆ Incrementar la digestibilidad de polisacáridos no amiláceos, considerando que, los animales monogástricos carecen de las enzimas endógenas para hidrolizar los carbohidratos de este tipo por lo que cuando se adicionan las enzimas exógenas

necesarias, los componentes monosacáridos producto de su hidrólisis, se pueden absorber y utilizar.

- ◆ Liberar algunos de los nutrientes atrapados, como azúcares simples y lisina.
- ◆ Reducir el impacto contaminante de las heces de los animales en el ambiente.

El uso de las enzimas exógenas en el alimento de los animales aumenta la utilización de todos los nutrientes del alimento y hace posible el uso de ingredientes de menor calidad.(Delgado y Camargo, 2013)

ÁCIDO FÍTICO

El ácido fítico es un componente principal de todas las semillas donde constituye una reserva de P y otros minerales que se liberarán durante la germinación (Wodzinski y Ullah, 1995). El ácido fítico fue descrito por primera vez por Pasternak en 1903 y consiste en una molécula de inositol con 1 a 6 grupos ortofosfato unidos mediante enlaces ester. Químicamente, la molécula de IP-6 se puede definir como myo-inositol 1, 2, 3, 4, 5, 6, hexakis dihidrógeno, y contiene un 28,2% de P y posee 6 grupos ortofosfato con afinidad variable por ciertos cationes y aminoácidos. Los fitatos son sales del ácido fítico con distintos cationes; así la fitina es la sal del ácido fítico con los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} . Fitatos y fitina no son términos equivalentes (Sauveur, 1989). En la práctica el término ácido fítico se usa tanto para el IP-6 como para los compuestos intermedios de su hidrólisis (desde IP-5 a IP-1). Existen métodos analíticos que permiten analizar por separado el contenido en cada uno de estos compuestos. Mediante espectroscopía de resonancia magnética, Kemme (1998) demostró que, en los ingredientes habitualmente empleados, el fosfato de inositol más abundante es el IP-6 (70 a 80% del P total en los cereales). Los penta (IP-5) y tetra (IP-4) fosfatos de inositol están

presentes a niveles de 5 al 20% y de menos del 0,05%, respectivamente, en relación con las cantidades encontradas de IP-6. El resto de los fosfatos de inositol (IP-3 a IP-1) se encuentran en cantidades muy bajas.

Efecto anti nutriente

Sobre los minerales: el fitato es inestable en su forma libre, por lo que suele formar complejos insolubles con cationes como el Ca^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Mn^{2+} . La baja disponibilidad de estos minerales al formar estos complejos es lo que se considera como el factor anti nutricional.

Adicionalmente la sal del fitato de calcio puede unirse a lípidos generando jabones intestinales en el lumen del tracto digestivo, lo que conlleva a una disminución de la utilización de energía a partir de lípidos debido a que la mayoría de la grasa se excreta en forma de ácidos grasos de jabón.

Sobre las proteínas: el fitato tiene capacidad para unirse a proteínas como complejos binarios y ternarios y, como describen la generación de complejos binarios es una reacción bifásica. El fitato se une a aminoácidos como arginina, histidina y lisina y este paso es seguido por una unión más lenta de proteína que puede resultar en la precipitación del complejo.

Varios estudios han encontrado que la proteína compleja es refractaria a la hidrólisis de la pepsina. Adicionalmente, Vaintraub y Bulmaga (1991) informaron que el fitato retardaba la hidrólisis de la proteína de la harina de soya por pepsina en un 60% a un pH entre 2,0 a 3,0% en ensayos in vitro, pero no ocurrió lo mismo a un pH de 4,0 a 4,5%. Estas investigaciones concluyeron que el fitato retarda la digestión de la pepsina únicamente cuando el fitato está unido a la proteína, lo que permite entender que el fitato solo se une al

sustrato y no a la enzima. Sin embargo, aunque el fitato y la pepsina pueden no interactuar directamente, el fragmento de activación del pepsinógeno es muy básico, lo que puede comprometer su activación.

Las alteraciones en la solubilidad y la estructura de la proteína inducidas por la unión con el fitato aparentemente hacen que el sustrato sea menos susceptible a la activación de la pepsina y, por lo tanto, el fitato bloquea el inicio del proceso digestivo de la proteína. Los complejos proteína- fitato se disocian cuando el pH intestinal sobrepasa los puntos isoeléctricos de la proteína, estas aún pueden digerirse con menos facilidad en el intestino delgado debido a los cambios estructurales relacionados a su unión con el fitato. Los complejos disociados liberan proteínas que no han sufrido el efecto de la pepsina y, por lo tanto, no se procesan adecuadamente para la digestión de la tripsina, quimotripsina, elastasa y otras proteasas del intestino delgado. Esto provoca que la tasa de digestión y absorción se reduzca, y si la velocidad de tránsito no presenta cambios, podría resultar en un incremento en el suministro de nitrógeno a las bacterias fermentativas en el intestino grueso, con el riesgo de multiplicación de bacterias putrefactas (Bedford y Walk, 2016).

Sobre la energía: con respecto a las grasas, existe evidencia de que el fitato interactúa con los lípidos por medio de la formación de **lipofitinas**, las cuales son complejos de $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -fitato, lípidos y péptidos, por lo cual es probable que el Ca^{2+} -fitato y los lípidos formen jabones metálicos en el lumen intestinal de las aves, siendo una gran limitación en la utilización de energía derivada de los lípidos, especialmente de las grasas saturadas Ravindran *et al.*, (2000).

Se ha sugerido que el fitato puede unirse al almidón a través de enlaces de hidrógeno en forma directa, o a través de proteínas asociadas con el almidón indirectamente. Esto daría una justificación para que la fitasa incremente el uso de energía de esta fuente; sin embargo,

hay poca evidencia in vitro que demuestre la presencia de complejos almidón- fitato (Selle *et al.*,2012).

El fitato es un potente inhibidor de la actividad de la α -amilasa, esto podría regular las reservas de almidón durante la germinación de las semillas. Martin *et al.*, (1998) reportaron que la suplementación con fitasa redujo la actividad de la amilasa en el intestino delgado de los patos, no se tiene claridad si la inhibición por fitato de la α -amilasa en el TGI de las aves limita la digestión del almidón, a pesar de que se han reportado respuestas a la suplementación con α -amilasa en pollo de engorda (Gracia *et al.*,2003). El fitato puede tener la capacidad de inhibir la α -amilasa in vivo, pero es cuestionable si esto es o no un factor limitante en la digestión del almidón que podría ser contrarrestado por la acción de la fitasa.

Capacidad quelantante

El ácido fítico tiene un alto poder quelantante, por lo que forma fácilmente sales insolubles a pH neutro con numerosos cationes di y trivalentes (Ca, Mg, Zn, Cu, Co, Fe, Mn), impidiendo su absorción en el tracto gastro intestinal. Por ello se le considera como un anti nutriente en alimentación animal. La principal problemática se da con el Ca, Zn y Cu. Por ejemplo, al pH normalmente encontrado en el intestino, 1 g de P fítico puede unir y formar complejos insolubles con entre 0,64 y 1,30 g de Ca.

Aunque el fitato muestra mayor afinidad por ciertos minerales, en las dietas de aves, el mineral que más debe tenerse en cuenta es el calcio debido a las cantidades elevadas de inclusión en las dietas, lo que le hace estar más disponible para la formación de complejos. El Ca cumple un papel relevante en el adecuado funcionamiento de las fitasas, se ha demostrado que altas concentraciones de Ca conllevan a la formación de moléculas de fitina que no permite la acción de la fitasa para degradar el ácido fítico.

La importancia del calcio en el desempeño de las fitasas está dada por los altos niveles de inclusión de este mineral en dietas de aves, además varios autores reconocen el efecto que el pH del intestino tiene sobre la formación de las uniones calcio-fitato, puesto que a un pH neutros, el ácido fítico tiene un mayor poder potencial como quelato, formando una amplia variedad de sales insolubles con diferentes cationes como el calcio , zinc, cobre y hierro entre otros minerales, afectando su absorción en el intestino (Martinez, 2013).

El ácido fítico también puede formar complejos insolubles con proteínas y almidón. La interacción de ácido fítico y proteínas es de tipo iónico y dependiente del pH. A pH bajo el ácido fítico se une con los residuos básicos (grupo amino) de la lisina, arginina e histidina formando complejos insolubles. (Kornegay, 1999; Ravindran *et al.*,1999).

Características del inositol

Es un azúcar de cadena de 6 carbonos que se deriva de la glucosa. Es considerado uno de los componentes estructurales de los fosfoinositidos celulares, que están involucrados en funciones celulares como la sensibilidad a la insulina y lípidos, metabolismo, supervivencia, estructura y crecimiento celular. Los fosfoinositidos (inositol fosfato) es transportado a través de 3 vías de co-transporte; dos son dependientes de Na^{2+} y otro de protones (Kröber *et al.*,2021).

El inositol actúa en el transporte de la glucosa, glucogénesis y depósito de proteína tiene propiedades y funciones metabólicas similares a la insulina, estimulando el transporte de glucosa sensible a la insulina a la membrana plasmática.

El inositol se compara con la insulina, se podría decir que su aumento disminuye la respuesta a la insulina lo que podría explicar por qué la adición de fitasas, especialmente en altas dosis, genera efectos positivos en la ganancia de peso y en la conversión alimenticia, los cuales

no se atribuyen exclusivamente a la mayor disponibilidad de los nutrientes (Cowieson *et al.*,2014).

Desfitinización

La eliminación previa del fitato de un ingrediente o desfitinización, es un enfoque interesante para superar las propiedades anti nutricionales del fitato, para obtener mayor disponibilidad de Fosfóro, minerales y otros nutrientes. Las estrategias originales fueron moler los cereales, la cocción o fermentación. A pesar de que se observe que reducían el fitato, también ocasionaban una pérdida de nutrientes.

Teniendo en cuenta estas limitaciones y usando una dieta basada en granos y semillas oleaginosas, hay que centrar el interés en el fitato y en su hidrolización.

La degradación del fitato se consigue a través de la enzima llamada **fitasa**, la cual puede ser empleada como otra estrategia para reducir los niveles y así aumentar la disponibilidad de los nutrientes quelados por el complejo fitato (Travería, 2020).

FITASA

Las fitasas (myoinositol (1,2,3,4,5,6,) hexakisfosfato fosfohidrolasas) representan un subgrupo de fosfomonoestererasas que son capaces de iniciar la desfosforilación gradual del fitato, el fosfato de inositol más abundante de la naturaleza. Se han identificado en plantas, microorganismos en algunos tejidos animales (Konietzny y Greiner, 2002), semillas de plantas y microorganismos.

Teóricamente, las fitasas tienen la capacidad de degradar completamente el fitato de IP6 a inositol y de liberar seis moléculas de fósforo. Sin embargo, debido a que la fracción de P

ubicada axialmente en el C2 no se libera fácilmente, la desfosforilación completa del fitato por la fitasa no ocurre probablemente en aves y cerdos. Por el contrario, es probable que las fosfatasas endógenas (asociadas con el borde en cepillo) proporcionen algo de inositol, especialmente en las regiones más distales del intestino delgado (Bedford y Partridge, 2001)

Fuentes de actividad de la fitasa

Fitasa intrínseca de la planta: algunos ingredientes como el trigo y sus subproductos poseen actividad fitasica intrínseca, pero esta es cuestionable ya que es menos eficaz que la de las fitasas microbianas a pH gastrointestinales y puede inactivarse en niveles de pH ácido en el intestino. Otro factor que afecta la actividad de esta fitasa es la exposición a altas temperaturas que sufren los ingredientes durante la fabricación de los alimentos, debido a que se destruyen a temperaturas superiores a 70°C en pocos minutos (Konietzny y Greiner, 2002).

Fitasa endógena de la mucosa: fue detectada por primera vez en 1937 por Patwardhan en ratas y posteriormente se identificó en el intestino delgado de los cerdos (Hu *et al.*, 1996) y en aves de corral (Maenz y Classen, 1998). Sin embargo, la importancia de la fitasa de la mucosa suele descartarse, pero su actividad puede depender de los niveles de P no fitato en la dieta. Los niveles de calcio en la dieta son críticos y parecen tener un impacto sustancial en la eficacia de la fitasa de la mucosa y, presumiblemente, esto es gran parte consecuencia de la formación de complejos insoluble de Ca-fitato a un pH cercano a la neutralidad en el intestino delgado. En consecuencia, el grado de degradación del fitato generado por la fitasa de la mucosa estará limitado por los niveles de calcio en las dietas de los animales monogástricos (Dersjant-Li *et al.*, 2015).

La hidrólisis del Ins-6P es menor cuando va del duodeno hacia el íleon debido tanto a una disminución en la cantidad de enzima endógena como a un incremento en la formación de complejos con el calcio. La adición de fitasas exógenas ha disminuido la necesidad de las fitasas endógenas, aunque estas han mostrado la capacidad de hidrolizar una porción del ácido fítico. En un estudio realizado se observó que la utilización de una enzima exógena logró la degradación del 39.3% del fitato presente en el tracto digestivo en comparación con la acción hidrolizante de la fitasa endógena, la cual fue del 23.8%. (Truong *et al.*,2014).

Fitasa del microbiota intestinal: se ha observado que la población del microbioma en el tracto gastrointestinal, principalmente en el intestino posterior, genera actividad, aunque la degradación del fitato en dicha región es de poca importancia. Sin embargo, a menudo se supone que los animales monogástricos excretan P-fitato no digerido, pero la fermentación que ocurre a nivel del intestino posterior puede reducir notablemente la cantidad de este complejo, especialmente en cerdos. (Zeller *et al.*,2015).

Pocos estudios han evaluado el efecto de la fitasa generada por el microbioma en las aves de corral, a pesar de evidencias que señalan que esta enzima participa en la degradación de fitatos y por lo tanto en la generación de nutrientes disponibles para el ave como P, InsP, Ca²⁺, minerales, proteína, carbohidratos y lípidos. El P regula los procesos fermentativos de las bacterias por lo que su ausencia provoca la reducción en la producción de los ácidos grasos de cadena corta y la baja disponibilidad de Ca²⁺ y P, acelerando el crecimiento de bacterias generadoras de lactato y disminuyendo las productoras de butirato, lo que influye en el estado nutricional del animal.

Fitasa microbiana exógena: actualmente, la mayoría de las fitasas derivan de hongos (Por ejemplo, *A. niger*) bacterias (*Escherichia coli*). En la industria del alimento existen varias características deseables en las Fi, tales como:

pH: Las fitasas de origen vegetal tienen un pH óptimo en el rango de 4,0 a 6,0 mientras que la de origen microbiano o fúngico tienen dos pH óptimos, 2.5 y 5.5.

Temperatura: la actividad enzimática aumenta linealmente al incrementar la temperatura, alcanzando su máxima actividad cerca de los 60°C.

Humedad: la actividad enzimática empieza con una humedad de 25% y la máxima cuando es del 50%; sin embargo, el contenido de humedad de un alimento para animales es menor al mínimo para la actividad enzimática. Consecuentemente, las enzimas se empiezan a degradar después de la ingestión por el animal, debido al aumento de la humedad en el tracto digestivo (Cuca *et al.*,2009).

Contenido de calcio en el alimento: el impacto del calcio sobre la eficacia de la Fi se plasma en una revisión de Selle *et al.*,2009. El origen de este concepto fue un estudio en lechones destetados en donde la adición de 1200 FTU/kg en dietas deficientes de P mostraron un mejor rendimiento en el crecimiento con 4.0 gr de Ca/kg en comparación con dietas con 8.0 g Ca/kg (Bedford y Partridge, 2001). Los niveles más altos de Ca y las proporciones más altas de Ca:P reducen la eficacia de la Fi exógena, esto se explica debido a que el Ca^{2+} precipita el fitato en complejos de Ca- fitato insolubles en el intestino.

La formación del complejo Ca-fitato a lo largo del tracto gastrointestinal adquiere gran relevancia debido a que una molécula de fitato (IP6) se une a hasta cinco átomos de Ca, en consecuencia, el fitato limita la disponibilidad de P y Ca como resultado de la formación insoluble del complejo Ca-fitato, este se forma principalmente en el intestine delgado, donde tiene un efecto negativo sobre la capacidad enzimática de la Fi de la mucosa; hay datos que indican que las interacciones de Ca^{2+} y fitato suceden en pH ácidos con la formación de complejos Ca-fitato solubles e insolubles, que podrían afectar negativamente la acción de las Fi exógenas (Hamdi *et al.*,2015).

Mecanismo de acción de las fitasas

La capacidad de las fitasas para hidrolizar el fitato en el tracto gastrointestinal de los animales está determinado por sus propiedades enzimáticas. Para la desfosforilación, es relevante considerar el pH bajo del proventrículo (PH 4.0-5.0) y el cercano a la neutralidad del intestine delgado (6.5 – 7.5). Por lo tanto, el pH óptimo y el perfil de actividad de pH de las fitasas exógenas generalmente determinan su capacidad para desarrollar su actividad catalítica. Hasta el momento, se han identificado dos tipos de fitasas principalmente, las Fi ácidas que muestran una desfosforilación máxima del fitato en un pH de 5.0 aproximadamente y las Fi alcalinas con un pH óptimo de 8.0. Por lo tanto, se espera que las Fi actúen de la forma más eficiente en las condiciones del tracto gastrointestinal de los monogástricos. Selle y Ravindran, (2007) observaron que muy probablemente el principal sitio de desfosforilación del fitato en las aves de corral es el buche, proventrículo y molleja, con una degradación relativamente más pequeña en el tracto gastrointestinal distal. La Fi que debería ser muy activa en el intestino delgado requiere estabilidad suficiente con respecto al pH, así como alta resistencia a las actividades proteolíticas, especialmente de la pepsina en el proventrículo y las proteasas pancreáticas en el intestino delgado (Nielsen, *et al.*,2015). Para garantizar una desfosforilación eficaz del fitato, la estabilidad en un entorno ácido y la resistencia a la pepsina son propiedades que son importantes para una Fi ácida suplementaria. Greiner y Konietzny, (2011) encontraron que las fitasas provenientes de *Escherichia coli*, *Klebsiella spp.* y *Malaysian waste water bacterium* mantenían un 80% del nivel de actividad cuando fueron expuestas a la digestión con pepsina en un pH de 2, por otro lado, las de *Aspergillus niger* y *Peniophora Lycci* mantuvieron el 26 y 42% respectivamente.

En las Fi, como en todas las enzimas, existen moléculas que inhiben su actividad enzimática, entre las cuales están su mismo sustrato, los InsP, grupos fosfatos y minerales como el Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} y Mn^{2+} .

Las fitasas exógenas tienen como característica que no solo inician la hidrólisis del fitato en diferentes sitios, sino que los productos resultantes también difieren entre ellas, por lo que no todas las enzimas producen los mismos InsP, va a depender de las condiciones bajo las cuales se dé el proceso catalítico (Weaver *et al.*,2009). Un ejemplo de la especificidad por los InsP que tienen las Fi, son las provenientes de *Escherichia coli* y de *Paramecium*, ambas son enzimas bacterianas tipo 6-Fi, la de *E. coli* obtiene como producto final el Ins-1P y la de *Paramecium* obtiene el Ins-2P, pero es incapaz de obtener Ins-1P (Konietzny y Greiner, 2002). Las Fi que tienen mayor variedad de sustratos tienden a generar más grupos ortofosfatos sin que los insP intermediarios se acumulen, por el contrario, aquellas con afinidad por el ácido fítico genera una mayor producción y acumulación de Ins-3 y 2P, los cuales se degradan hasta llegar a obtener monofosfato a través de un proceso más lento (Wyss *et al.*,1999).

Las unidades de medida de dosificación de las Fi es la FTU, que hace referencia a la cantidad de Fi requerida para liberar 1mmol de fosfato inorgánico por minuto a partir de $0.0051 \text{ mol L}^{-1}$ de fitato de sodio a un pH de 5.5 y una temperatura de 37°C (Dersjant-Li, Awati *et al.*,2015). La aplicación de Fi en la industria de alimentos se ha hecho desde sus inicios en cantidades estándar acorde a la especie domestica objetivo, para el caso del pollo de engorda la dosis comúnmente manejada es de 500 FTU/kg; sin embargo, en años recientes, la adición de dosis más altas ha ido incursionando en la industria bajo conceptos como “superdosis” o “mega dosis”. Cowieson *et al.*, (2011) abordaron el concepto del efecto extra-fosforico, el cual está ligado con la dosis empleada de Fi exógena. Este efecto es la respuesta que se obtiene con la Fi con respecto a la liberación de P a partir del fósforo fítico de la dieta. Este concepto se basa en la capacidad de la enzima de hidrolizar la molécula

del A-Fi, logrando la liberación de los grupos fosfatos que se encuentran en cada molécula, los cuales quedan disponibles para ser empleados por el animal en su metabolismo interno. En dietas basadas en maíz y pasta de soya con un contenido de P fítico de 0.25% con una dosis de 500 FTU / kg se obtendrá una liberación de 0.10% de P disponible dada la hidrólisis de A-Fi del 40% (Wilcock y Walk., 2016).

Beneficios de la adición de fitasas

En aves de corral son numerosos los estudios que prueban la efectividad de la fitasa exógena con respecto a rendimiento productivo de los animales. El objetivo inicial que se planteó con la Fi fue disminuir el contenido de P en excretas dado el gran impacto que se genera en los mantos acuíferos a nivel mundial (Kebreab *et al.*,2013), sin producir efectos negativos en el rendimiento productivo, por esto, factores como el impacto ambiental, la homeostasis del tejido óseo y los parámetros productivos son variables de respuesta importantes cuando se está evaluando el efecto extra-fosforico (Dos Santos *et al.*,2013).

El aumento de la absorción de minerales aparte del P y su biodisponibilidad es un gran beneficio que se obtiene de la hidrólisis del fitato, la Fi permite un incremento considerable de la capacidad del organismo para absorber y asimilar minerales como el Ca^{2+} , Mg^{2+} y Fe^{2+} (Cowieson *et al.*,2013; Rosen *et al.*,2010). El A-Fi al ser un factor anti-nutricional, proporciona efectos negativos en el organismo de las aves, creando complejos insolubles con los minerales, en este sentido, la Fi al transformar el A-Fi en componentes fosfóricos de menores moléculas, reduce la carga del mismo en el organismo de las aves (Delgado y Camargo, 2013).

La enzima 3-Fi proveniente de *Aspergillus niger* tiene una amplia variedad de pH con al menos un 80% de actividad máxima y resultados óptimos para la hidrólisis de fitato (Walk *et al.*,2013); además de aumentar la biodisponibilidad de los minerales del alimento, tiene

beneficios para la digestión de estos, ya que al hidrolizar el A-Fi, la digestión se vuelve más eficiente y existe una mayor absorción de otros nutrientes (Barletta, 2010; Glitsoe *et al.*,2015).

Los efectos extra-fosforico de las Fi podrían estar desde la mejora de la digestibilidad de los aminoácidos y los minerales, hasta una mejora de los niveles de myo-inositol plasmáticos (Cowieson *et al.*,2014; Neira *et al.*,2013). El myo-inositol se compara con la insulina, su incremento disminuye la respuesta a la insulina en el organismo de las aves, este mecanismo podría explicar por qué la inclusión de Fi, principalmente en altas dosis tiene efectos positivos en la ganancia de peso y en el índice de conversión, que van más allá de la suma de efectos de la digestibilidad de nutrientes (Cowieson *et al.*,2014).

La inclusión de Fi también se ha visto relacionado a un mejor y más eficiente aprovechamiento de la energía que obtienen las aves a partir de la dieta, un estudio mostró una mejora en el rendimiento a la canal y a una disminución de la cantidad de grasa abdominal, siendo este último uno de los efectos más deseables en la industria avícola puesto que conllevan a una disminución de los costos de producción (Pirgozliev y Bedford, 2012).

Superdosis de fitasa

Son aquellas dosis que tienen como objetivo neutralizar el efecto antinutritivo del A-Fi en el tracto gastrointestinal y que están por encima de aquellas que cubren el aporte de la enzima respecto a la liberación de P, conocidas como “superdosis” o “mega dosis”, descubiertas cuando se quería evaluar la inocuidad en el uso de las Fi exógenas de origen microbiano en las aves, lo que demostró que no solo eran inocuas, sino que presentaban mejores resultados en el rendimiento productivo (Wilcock y Walk, 2016). Se basa en el principio de

adicionar tres a cuatro veces más la dosis estándar, iniciando por 1000 FTU/Kg en una dieta, en la cual se puede tener un valor nulo o parcial en la matriz nutricional de la enzima (Cowieson *et al.*,2013). En la práctica, el uso de las enzimas se realiza on top, es decir, 750 FTU/Kg con matriz nutricional más 750 FTU/Kg, en una inclusión total de 1500 FTU /Kg, garantizando de este modo una mayor reducción del fitato (Dos Santos y Bedford, 2012). Algunos otros autores (Wilcock y Walk., 2016), definen la superdosis como aquella que logra una hidrólisis mayor a 85% del A-Fi de la dieta con adiciones superiores a 1500 FTU/Kg en el caso de las enzimas provenientes de la *Escherichia coli*.

Beneficios de la adición de superdosis de fitasa

El uso de superdosis tiene como objetivos la mayor liberación de P; reducir la cantidad de fitato remanente, aumentando los InsP solubles; y produciendo la liberación de myo-inositol con efectos vitamínicos y lipotrópicos (efecto promotor de crecimiento). Se ha observado que produce una mayor liberación de calcio de forma proporcional; el efecto extra-fosfórico mejora la integridad y funcionamiento hepático, pancreático y óseo; el fitato residual (ésteres menores al IP6) disminuye, y se generan más esteres menores que tienen mayor solubilidad. También se ha observado una reducción en la excreción de fósforo como contaminante al medio ambiente (Cowieson *et al.*,2011; Da Silva y Krabbe, 2016).

XILANASA

La xilanasa interviene en las oxidaciones y reducciones celulares determinando la transferencia del oxígeno o del nitrógeno de unos compuestos a otros y participa en los procesos de respiración celular. Sin embargo, no son clasificadas dentro de las oxido-reductasas puesto que su función principal es hidrolizar compuestos como el xilano, que es

el principal componente de la celulosa y hemicelulosa, que son los principales componentes de la pared celular de los vegetales (Castillon, 2021).

Xilanasa y su mecanismo de acción

Un grupo de enzimas llevan a cabo la degradación total de la hemicelulosa para generar xilosa y/o arabinosa. Estas enzimas actúan sinérgicamente y basados en su modo de acción se catalogan en dos clases de xilanasa, las endo-1,4 -xilanasas y las exoxilanasas (Costa *et al.*, 2012). Las endo-1,4 -xilanasas tiene como función los enlaces glicosídicos en la cadena principal y son las predilectas para llevar a cabo la hidrólisis del xilano debido a su alta especificidad, baja pérdida de sustrato y por la mínima o nula generación de metabolitos, actuando como donador de energía o funcionalidad prebiótica. (González *et al.*,2015).

Las xilanasas, como cualquier otra enzima, son específicas del sustrato que necesitan para actuar que significa que para que la enzima proporcione un beneficio en la formulación de dietas, esta debe contener el sustrato específico relevante para que la enzima funcione, o sea arabinoxilanos (Sing *et al.*,2012).

Por otro lado, una gran cantidad de microorganismos producen las exoxilanasas entre los cuales se encuentran las bacterias, algas, hongos, protozoos, gasterópodos y artrópodos; los más empleados a nivel industrial para la producción de esta enzima son las bacterias, los hongos mesófilos y termófilos (Howard *et al.*,2003 y Polizeli *et al.*,2005) y tienen como mecanismo de acción adherirse al azúcar reductor al final de la cadena.

El *Trichoderma reesei* es uno de los microorganismos más conocidos por producir celulasas y hemicelulasas. Así mismo, se emplea para la producción de xilanasas alimentarias. (Martíns, 2017).

FIBRA

Tiene una definición tanto química como fisiológica. Fisiológicamente, la fibra dietaría es la parte comestible de las plantas o los carbohidratos análogos (incluyendo polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias vegetales asociadas), que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado con fermentación parcial o completa en el intestino grueso (AACC, 2001). Químicamente, la fibra se refiere a todos los polisacáridos no amiláceos (PNAs) más lignina, que consisten en polímeros macromoleculares de monosacáridos unidos por un tipo específico de enlace llamado enlace glicosídico. Pueden ser grandes o pequeños, ramificados o lineales y estar compuestos por uno o más tipos de azúcares monoméricos. La definición de fibra ha causado controversia debido a enfoques confusos sobre el tema, incluidos los efectos fisiológicos de la fibra sobre el sistema digestivo y sus métodos de determinación. Lo ideal es referirse como fibra dietaría teniendo en cuenta el contenido de polisacáridos sin almidones (PNA) más la lignina (Choct, 2015).

El método más antiguo para medir fibra se desarrolló hace más de 150 años y se conoce como “fibra cruda” (Henneberg y Stohmann, 1859), este método proporcionó una estimación del contenido de lignina y celulosa a los nutricionistas solubilizando la muestra en soluciones ácidas y alcalinas fuertes y pesando el residuo. Cabe señalar que la fibra cruda (FC) se utiliza para caracterizar y etiquetar alimentos e ingredientes de alimentos.

Posteriormente se desarrollaron los métodos para la determinación de lignina detergente ácida (LDA) capaz de estimar el contenido de lignina, fibra detergente ácida (FDA) para estimar la mayoría de la celulosa y lignina y fibra detergente neutro (FDN) que representa la hemicelulosa, celulosa y lignina (Van Der Wielen, 2000). Estos métodos gravimétricos consisten en la solubilización gradual de la muestra en una serie de soluciones neutras/ácidas, secando y pesando la muestra descontando el contenido de ceniza.

Utilizar estos métodos individualmente para el análisis de fibra ha llevado a la idea errónea de que la fibra en las dietas monogástricas es baja. La FC solo representa el 21% en una dieta con maíz y trigo y el 32% para la harina de harina de soya (Graham y Aman, 1991). Incluso si la FDN y la FDA son más representativos al medir solo FC, aún hay una parte sustancial que fisiológicos en el animal. No obstante, es el siguiente paso para poder evaluar las fracciones solubles e insolubles de los ingredientes de los alimentos. Choct (2015) sugirió que los PNA son los componentes principales de la fibra con importancia funcional y que la fibra de la dieta total debe considerarse como la suma de PNA y lignina.

Polisacáridos no amiláceos (PNA)

Los PNA, son compuestos anti nutricionales presentes en los cereales y en las leguminosas empleadas en la fabricación de los alimentos para las aves. Los presentes en los cereales son el grupo más importante de carbohidratos no digeribles debido a las cantidades empleadas y las implicaciones nutricionales.

Se clasifican de acuerdo con su solubilidad en solubles como los α -glucanos, pentosanos, arabinogalactanos, galactomananos y sustancias pépticas (Maynard y *co*, 1981) e insolubles en agua como la celulosa, xilanos, manosa y la hemicelulosa siendo el principal componente de las paredes celulares (Ríos, 2009), conformada por:

Arabinoxilanos: presentes en los cereales tienen una estructura de xilano con sustitución variable por arabinosa (medida como xilosa + arabinosa) mientras que, en ingredientes leguminosos como la harina de soya o la canola, estos azúcares se asociarán principalmente con glucanos que forman xiloglucanos o con pectinas para la arabinosa; principal

componente que influye en la viscosidad intestinal cuando son solubles. (Ordaz-Ortiz y Saulnier, 2005).

Betaglucanos: residuos de glucosa con enlace 1-4. La glucosa soluble dentro del elemento PNA de los cereales está correlacionada con la concentración de β -glucanos en tales ingredientes mientras que la glucosa insoluble está asociada con componentes de tipo celulosa que no se digieren o fermentan fácilmente en el intestino. (Mateos, 2012).

Xiloglucano: es un nombre genérico para polisacáridos lineales que consisten en d-glucano enlazado (1-4).

Manano: es el segundo componente más abundante de la hemicelulosa en la naturaleza, existiendo como polisacárido estructural y de almacenamiento, tanto en plantas superiores como en algas marinas.

Galactanos: polisacárido constituido por galactosa polimerizada. (Ordaz-Ortiz y Saulnier, 2005).

Fructanos: cadena de molécula de fructosa producida como compuesto de almacenamiento en un número limitado de plantas y se caracteriza por un bajo grado de polimerización (5-60 unidades).

La celulosa es un polímero lineal de glucosa, extremadamente difícil de degradar con enzimas y resistente a la degradación por el microbioma en monogástricos. Tiende a ser insoluble, alta concentración en cáscaras y salvados.

La pectina es también un PNA, considerado un polímero de carbohidratos de alto peso molecular que está presente en prácticamente todas las plantas, donde contribuye a la estructura celular. Estructura y composición extremadamente variables dependiendo del origen, parcialmente fermentada en el intestino (Jha *et al.*,2019)

Efecto anti-nutricional de los PNA

El efecto negativo de los PNA sobre la digestibilidad puede variar de acuerdo con sus características, su acción en el estómago y en el intestino delgado es de forma física, la pared celular actúa como una barrera en la disponibilidad de los nutrientes, también incrementa la viscosidad de la fase líquida y restringe su absorción; así mismo genera el aumento en el tiempo de pasaje del bolo alimenticio por el trato digestivo (Selvendran y *col.*,1987; Mathlouthi *et al.*,2003).

Los cereales producen efecto antinutritivo debido al arabinoxilano y esto es explicado a través de dos mecanismos. El primero supone que el arabinoxilano no puede ser permeado por las enzimas a su paso por el intestino delgado y el segundo, sugiere que el factor anti nutricional se disuelve en el intestino lo que conlleva a un incremento en la viscosidad del medio, lo cual disminuye la absorción de los nutrientes debido a la formación del gel (Bedford, 1996).

Los PNA solubles están presentes en ingredientes como el trigo, la cebada y el centeno. Problemas digestivos tales como mayor viscosidad intestinal, limitada ingesta de alimento, bajo desarrollo de los animales, deficientes índices de conversión, humedad en las camas y proliferación de microorganismos intestinales fueron relacionados según Choct en el 2015 con la presencia de PNAs en la dieta.

Efectos de la fibra dietética sobre la digestibilidad de los nutrientes

La fibra dietaria contenida en cereales como el trigo, canola, centeno y cebada, en sus formas solubles e insolubles presentan un efecto antinutritivo en las aves al disminuir la energía metabolizable aparente (EMA), la digestibilidad del almidón, la retención de nitrógeno y la utilización de otros nutrientes, lo que afecta el crecimiento eficiente de las aves (Choct y

col., 1992). El empleo de niveles altos de fibra es limitado por la presencia de los PNAs, los cuales, al unirse a los ácidos biliares, las grasas o el colesterol conllevan a la mala absorción de lípidos, afectando el valor de la EMA del alimento y el desarrollo de las aves (Chutkan *et al.*, 2012). La viscosidad de la digesta es uno de los principales factores que afectan la digestibilidad de los nutrientes. Se ha observado que una mayor viscosidad influye negativamente con la absorción eficiente de los nutrientes, disminuyendo la degradación por enzimas endógenas en la superficie de la mucosa (Bederska-Łojewska *et al.*, 2017).

Efectos de la fibra dietética en el desarrollo y la función intestinal

Los beneficios de la adición de la fibra dietética, principalmente insoluble es probable que se deba a las demandas fisicoquímicas del consumo de fibra. Un estudio realizado informó que el contenido típico de la molleja es más alto en fibra que el contenido que se pueda encontrar en otras partes del sistema digestivo (Sacranie *et al.*, 2012), lo que demuestra que la fibra es un componente físicamente difícil de moler en ausencia de dientes, las aves dependen de la molleja para moler sus alimentos, el cual debe quedar perfectamente molido para optimizar la absorción de los nutrientes, ya que las moléculas no molidas evitaran el acceso a las enzimas y su posterior degradación.

Svihus (2011) afirma que el tamaño de la molleja puede aumentar hasta en un 100% su tamaño original con la adición de fibra insoluble y componentes estructurales como granos enteros. En general se considera que el aumento de la molleja permite una ingesta y un rendimiento de alimento adicional y, por ende, podría ser beneficioso para el crecimiento de los pollos de engorde.

XILO-OLIGOSACÁRIDOS

Los xilo-oligosacárido (XOS) son oligosacáridos funcionales recientemente desarrollados y producidos a partir de xilano por hidrólisis enzimática que tiene efectos inmunológicos y de salud beneficiosos (Gibson y Roberfroid, 1995). La despolimerización de XOS en configuraciones oligosacáridas mediante el uso de enzimas in situ (es decir, antes de alimentar a los animales monogástricos) no es instantánea ni tan eficiente como complementar directamente XOS (Shastak *et al.*,2015). La suplementación de XOS tiene efectos benéficos comparables con los antibióticos en el alimento para reducir la inflamación intestinal (Chacher *y col.* 2017). Estos oligosacáridos son intermedios entre los azúcares simples y los polisacáridos y se comportan como fibras dietéticas y prebióticos.

En general los prebióticos son hidrolizables en condiciones de pH ácido y altas temperaturas, sin embargo, los XOS son resistentes a rangos de pH entre 2.5 y 8, además de soportar temperaturas superiores a 100°C (Amorin *et al.*,2019).

Estructura química de los xilo-oligosacáridos

Son oligómeros compuestos por moléculas de D-xilosa mediante enlaces $-(1 \rightarrow 4)-$ glicosídicos. Se encuentran naturalmente en alimentos como frutas y vegetales, mientras que industrialmente se producen por medio de la hidrólisis de xilano de origen lignocelulósico (Otieno y Ahring, 2012).

Beneficios de los xilo-oligosacáridos en las aves

En la nutrición actual, debido a la implementación de diferentes estrategias para maximizar la digestibilidad de la fibra, ha habido un mayor interés en los efectos prebióticos de los XOS,

en las aves. Dentro de los beneficios de los oligosacáridos es su efecto bifidogénico; el huésped y el microbioma intestinal interactúan entre sí para influir en diversas funciones fisiológicas. Los XOS se han utilizado en diferentes estudios para modificar este microbioma en los monogástricos.

Se han reportado numerosos efectos beneficiosos sobre la salud del huésped por cambios mediados por XOS en la población de microorganismo benéficos, entre ellos la capacidad del huésped de recuperar parte de la energía perdida por diferentes tipos de bacterias al absorber y metabolizar productos de fermentación bacteriana, ácidos grasos volátiles y lácticos (AGV), así como la activación del sistema inmunitario (Ibuki *et al.*,2014), la producción de factores antimicrobianos, la exclusión de patógenos entéricos específicos y los cambios en la estructura morfológica del intestino (Mendis *et al.*,2018).

Los principales productos finales de la fermentación de los oligosacáridos del xilano por el microbiana intestinal son los ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como acetato, butirato, propionato, succinato y lactato (Bjerrum *et al.*,2006). Diferentes estudios han demostrado que además de la actividad generadora de energía por parte del microbioma, la formación de AGCC en el ciego de pollo reduce el pH del ambiente intestinal, lo que puede inhibir las bacterias patógenas susceptibles a los ácidos (Van Der Wielen *et al.*,2000).

Los XOS también juegan un papel importante en el mantenimiento de la integridad intestinal al aumentar la secreción de IgA. En general, la mucina y la IgA secretora se consideran una primera línea de defensa contra el establecimiento de microorganismos patógenos en el íleon evitando la adhesión y posterior invasión epitelial. Casi el 98 % de todas las células productoras de IgA del cuerpo residen en el intestino delgado (Gutzeit *et al.*,2014).

Los XOS han sido empleados para estimular el microbioma intestinal logrando incrementar la degradación de los arabinoxilanos disminuyendo la viscosidad ocasionada como efecto

anti-nutricional. Este efecto ha permitido obtener vellosidades intestinales largas y criptas de Lieberkühn poco profundas que ayudan a aumentar la absorción de nutrientes al proporcionar una mayor área de superficie y menores tasas de proliferación y renovación de enterocitos, lo que resulta en una maduración más eficiente de células y producción de enzimas (Chacher *et al.*,2017). La profundidad de la cripta también es asociada con las tasas de reemplazo celular, ya que el incremento de la rotación requiere más energía y aminoácidos, lo que en última instancia afecta el crecimiento de las aves al desviar los recursos de los procesos productivos que involucran el producto final como son carne en el pollo de engorda y huevos en las gallinas de postura.

TIEMPO DE TRÁNSITO DIGESTIVO

Esta influenciado por diferentes factores entre los que encontramos la edad de los animales, la temperatura ambiental, función inadecuada de los movimientos antiperistálticos de la molleja, la frecuencia y amplitud de las contracciones musculares del propio sistema digestivo, por la composición de la dieta, el pH, tamaño de la partícula, consistencia del alimento, calidad y cantidad de fibra, uso de promotores de crecimiento, integridad de la morfología intestinal y daños causados por diversos agentes. Estos factores están altamente relacionados entre ellos, por lo que esto influye positiva o negativamente en los resultados zootécnico de los animales (López *et al.*,2011).

Los movimientos peristálticos de la molleja son uno de los factores que más influencia tiene sobre el tiempo de tránsito digestivo, debido a que este órgano se considera el marcapasos para todo el tracto gastrointestinal a través de una red neural que participa en el movimiento del quimo por el intestino y la digestión y absorción de nutrientes (López *et al.*,2011).

La fibra dietética se considera un diluyente en las dietas de las aves, podría aumentar el tiempo de retención de la digesta en la parte superior del tracto digestivo, mejorando la función de la molleja (Rogel *et al.*,1987 ; Hetland *et al.*,2005) y estimulando la producción de HCl en el proventrículo a través de los mecanorreceptores. Es por ello que incluir fibra de calidad y en cantidades adecuadas en la dieta resulta ser de gran importancia ya que al igual que otros ingredientes que promuevan una alta viscosidad (trigo), así como el desequilibrio de iones de cloro, sodio y potasio, afectan la velocidad de tránsito del bolo alimenticio y ejercen una acción directa sobre el proceso de la digestión, proliferación de microorganismos, fermentación del sustrato alimenticio y la calidad de las deyecciones en pollos de engorde (López *et al.*,2013).

Otros factores como la adición de los lípidos en el alimento reducen la velocidad de tránsito y puede aumentar la digestibilidad de los nutrientes. Así mismo, la adición de antibióticos en la ración reduce la velocidad de paso del alimento a través del TGI (Dai Prá *et al.*,2014).

VELLOSIDADES INTESTINALES

La superficie luminal del duodeno tiene una estructura definida cuyo objetivo es incrementar el área de superficie de absorción. Presenta tres grados de ramificación, microvellosidades, vellosidades y pliegues de la mucosa y submucosa, según la especie. En las gallinas no tienen pliegues macroscópicos, debido a esto las vellosidades y microvellosidades son las encargadas del aumento de la superficie de absorción (Barbeito, 2014). Según el segmento del intestino delgado donde se encuentren, las vellosidades presentan diversas longitudes, disminuyendo progresivamente hacia el íleon (Scanes, 2015).

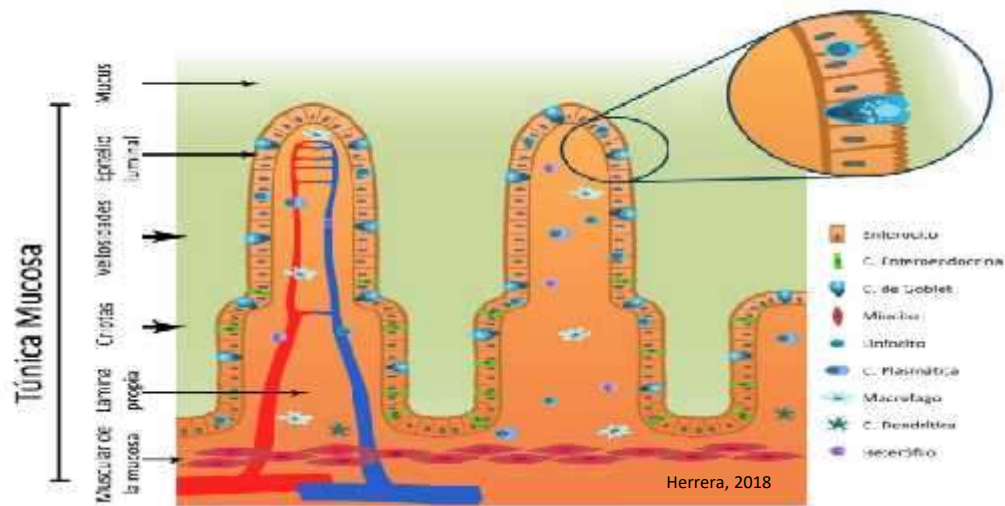


Imagen 1. Ilustración de la mucosa intestinal con diferentes tipos de células que se encuentran en la mucosa duodenal.

Las vellosidades son proyecciones de la túnica mucosa, que se encuentran en el lumen del intestino, cuentan con vasos linfáticos, capilares, haces de fibras musculares lisas, tejido nervioso y otras células que ocupan el núcleo de cada vellosidad. En las aves, las vellosidades tienen forma de un paralelepípedo rectangular, a diferencia de los mamíferos, donde presentan forma digitiforme (Bayer *et al.*, 1975; Turk, 1982), así mismo, se encuentran dispuestas en zigzag y el número y tamaños difieren a lo largo del intestino; la altura y el ancho se incrementan desde el 14 día de incubación hasta el día 7 post eclosión y el número disminuye dentro de los primeros 10 días de vida y se mantiene constante en las siguientes semanas (Barbeito, 2014; Scanes, 2015); sin embargo, el crecimiento es diferente en cada uno de los segmentos del intestino delgado (duodeno, yeyuno e íleon), debido a que el incremento en el duodeno va hasta la primera semana de vida, mientras que en el yeyuno e íleon el tamaño de la vellosidad aumenta hasta el día 14 de edad (Jaramillo, 2011).

Las vellosidades cuentan con una superficie lisa, con algunos pliegues. En el duodeno, estas son más largas y anchas, su punta tiene una forma más redondeada que en el yeyuno, donde a su vez se lleva a cabo la descamación de las células muertas. Este proceso es más

frecuente en el pollo de engorda, lo cual podría indicar una renovación celular más activa debida a la actividad digestiva incrementada del intestino. En la mucosa del duodeno se ha observado que el grosor es mayor que en los demás segmentos, presumiblemente debido a que presentan mayor longitud y criptas más profundas (Zanuzzi y Barbeito, 2014).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos de la inclusión de fitasa, xilanasa y xilo-oligosacáridos en dietas con dos niveles de fibra cruda sobre los parámetros zootécnicos, morfometría intestinal y costos por kilogramo de carne producido por concepto de alimento en el pollo de engorda Ross 308.

OBJETIVOS PARTICULARES

- 1) Evaluar el peso corporal, consumo de alimento acumulado, índice de conversión alimenticia y porcentaje de mortalidad.
- 2) Evaluar el área total de contacto de nutrientes a través de la morfometría de las vellosidades en duodeno, yeyuno e íleon.
- 3) Determinar el tiempo de tránsito digestivo.
- 4) Evaluar el rendimiento de la canal y la pigmentación en la piel.
- 5) Determinar el costo del alimento por kilogramo de carne producido en cada uno de los tratamientos evaluados.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La fibra cruda (FC) en las dietas de las aves era considerada un factor anti-nutricional por los efectos adversos en el rendimiento y la utilización de los nutrientes; los niveles utilizados hasta hace poco habían sido moderados, el principal motivo de esto es que la FC, dependiendo de su estructura, digestibilidad y solubilidad tiene efectos sobre el crecimiento de los animales y la modulación del tracto gastrointestinal, por lo que hoy en día ha habido cambios en el papel de la FC en la producción avícola, aunque se ha aceptado que no es un nutriente absoluto por sí mismo, podría contribuir al valor nutricional de las dietas como fuentes de energía e indirectamente mejorando procesos digestivos y metabólicos cuando se incorporan estratégicamente; como es el caso del uso de enzimas exógenas como xilanasas y prebióticos como los xilo-oligosacáridos que podrían optimizar la utilización de la FC, promoviendo la utilización de nutrientes, evitando el excesivo consumo de alimento, sin afectar el crecimiento de las aves, por lo que es importante continuar con estudios de importancia práctica para la industria avícola con el empleo de dietas con niveles de FC diferentes a las convencionales que tenga beneficios económicos y medioambientales.

HIPÓTESIS

1. La inclusión de niveles de fibra, fitasa y xilo-oligosacáridos en las dietas tiene un efecto positivo en el desempeño zootécnico y en el costo por kilogramo de carne producido, promovido por un mayor tiempo digestivo y mayor desarrollo de las vellosidades intestinales.
2. Los niveles de fibra, fitasa y niveles de xilo-oligosacáridos en las dietas tiene efectos de interacción en parámetros evaluados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El presente trabajo se realizó en una granja de producción avícola, ubicada en el municipio de Tarímbaro Michoacán, México, en las coordenadas 19°46' de latitud norte y 101°07' de longitud oeste, a una altura de 1,940 metros sobre el nivel del mar, registrando una temperatura mínima anual de 8°C y una máxima de 25. Limita al norte con Copándaro y Cuitzeo, al este con Álvaro Obregón, al sur con Morelia y Charo y al oeste con Chucándiro. Su distancia a la capital del estado es de 12 km. Su clima es templado con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 609.0 mm y temperaturas que oscilan de 2.5 a 25.1°C (INAFED, 2022).

Infraestructura y equipo

Se empleó una caseta de ambiente semi-controlado con techo de lámina galvanizada recubierta con aislamiento térmico, la cual cuenta en su interior con 56 lotes experimentales de 2.5 x 1.80 m cada uno de ellos, dentro de los cuales se colocó equipo de iniciación: 1 bebedero manual de dos litros y 1 charola de alimento, para la recepción del pollito y equipo de finalización acondicionado con 2 comederos de tolva con capacidad para 10 kilos cada uno y un bebedero tipo campana Plasson automático. Se utilizó en cada uno de los lotes material de cama (aserrín, 5 cm de espesor), además se ubicaron

14 criadoras de gas convencional para proporcionar una temperatura entre 32 y 28°C durante las tres primeras semanas de vida.

Dietas experimentales

Se evaluaron ocho dietas formuladas con la combinación de diferentes ingredientes con niveles variables de fibra, fitasa y xilo-oligosacárido correspondientes a los tratamientos experimentales. En las Tablas 2, 3 y 4 se muestra la formulación de las dietas utilizadas en tres fases de alimentación aplicadas: iniciación (1 a 14 días), crecimiento (15 a 28 días), y finalización (29 a 42 días). El alimento proporcionado fue en presentación física de harina. En el Anexo 1 se muestran los valores de matriz para fitasa a diferentes niveles de inclusión en la dieta.

Tabla 2. Composición y análisis del contenido nutricional de la dieta en fase iniciación (1-14 días)

Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8
Ingredientes (%)	2.5% fibra+ 500 FTU Fi	2.5% fibra + 500 FTU Fi+ 100 g Xilo	2.5% fibra + 2000 FTU Fi	2.5% fibra + 2000 FTU Fi+ 100 g Xilo	5.0% fibra+ 500 FTU Fi	5.0% fibra + 500 FTU Fi + 100 g Xilo	5.0% fibra + 2000 FTU Fi	5.0% fibra + 2000 FTU Fi+ 100 g Xilo
Trigo	0.00	0.00	0.00	0.00	48.00	48.00	46.00	46.0
Maíz	63.50	63.50	64.80	64.80	0.00	0.00	0.00	0.0
Canola	0.00	0.00	0.00	0.00	28.00	28.00	34.20	34.2
Harina de soya	32.30	32.30	32.00	32.00	15.20	15.20	11.60	11.6
Aceite de soya	0.96	0.96	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.0
Aceite de Canola	0.00	0.00	0.00	0.00	6.34	6.35	6.51	6.4
Calcio al 38%	0.99	0.99	0.99	0.99	0.64	0.36	0.55	0.6
Fosfato mono calcio 22%P	0.66	0.66	0.23	0.23	0.48	0.48	0.00	0.0
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30	0.28	0.28	0.28	0.3
Bicarbonato de Sodio	0.14	0.14	0.06	0.06	0.13	0.13	0.05	0.1
L-Lisina HCl	0.26	0.26	0.26	0.26	0.31	0.31	0.31	0.3
DL Metionina	0.30	0.30	0.28	0.28	0.16	0.16	0.11	0.1
L-Treonina	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.08	0.1
Vit-Min Premix Broiler	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.4
Quantum Blue 5G	0.01	0.01	0.04	0.04	0.01	0.01	0.04	0.04

Econase XT 25P/L	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Signis	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.00	100.0

CONTENIDO NUTRICIONAL FORMULADO

Tratamiento	1 2 3 4 5 6 7 8							
	(%)							
Energía Metabolizable (Kcal/kg)	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100
Proteína Cruda	22.00	22.00	22.20	22.20	24.20	24.20	24.70	24.70
Fibra Cruda	2.54	2.54	2.56	2.56	5.25	5.25	5.84	5.84
Almidón	42.10	42.10	42.90	42.90	29.90	29.90	28.80	28.80
Ceniza	4.82	4.82	4.41	4.41	4.90	4.90	4.47	4.47
Calcio al 38%	0.80	0.80	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80
Fosforo Digestible	0.52	0.52	0.43	0.43	0.57	0.57	0.47	0.47
Cloruro de Sodio	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Lisina Digestible	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
Metionina Digestible	0.60	0.60	0.58	0.58	0.49	0.49	0.46	0.46
Metionina + Cistina Digestible	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
Treonina Digestible	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
Triptófano Digestible	0.23	0.23	0.24	0.24	0.28	0.28	0.29	0.29
Isoleucina Digestible	0.83	0.83	0.84	0.84	0.82	0.82	0.82	0.82
Valina Digestible	0.90	0.90	0.91	0.91	0.95	0.95	0.96	0.96

Tabla 3. Composición y análisis del contenido nutricional de la dieta en fase engorde (15-28 días)

Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8
Ingredientes (%)	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
	fibra+	fibra +	fibra +	fibra +	fibra+	fibra +	fibra +	fibra +
	500	500	2000	2000	500	500	2000	2000
	FTU	FTU	FTU	FTU	FTU	FTU	FTU	FTU
	Fitasa	Fitasa	Fitasa	Fitasa	Fitasa	Fitasa	Fitasa	Fitasa+
	+100 g	+100 g	+100 g	+100 g	+100 g	+100 g	+100 g	+100 g
	Xilo	Xilo	Xilo	Xilo	Xilo	Xilo	Xilo	Xilo
Trigo	0.00	0.00	0.00	0.00	57.60	57.60	55.10	55.10
Maíz	66.90	66.90	68.50	68.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Canola	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00	18.00	25.00	25.00
Harina de soya	29.10	29.00	28.50	28.50	16.70	16.70	12.70	12.70
Aceite de soya	1.18	1.18	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
Aceite de Canola	0.00	0.00	0.00	0.00	5.22	5.22	5.40	5.40
Calcio al 38%	0.86	0.96	0.96	0.96	0.72	0.72	0.62	0.62
Fosfato monocalcio 22%P	0.58	0.58	0.20	0.20	0.49	0.49	0.00	0.00
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30	0.28	0.28	0.27	0.27

Bicarbonato de Sodio	0.07	0.07	0.00	0.00	0.08	0.08	0.00	0.00
L-Lisina HCl	0.23	0.23	0.24	0.24	0.29	0.29	0.29	0.29
DL Metionina	0.27	0.27	0.25	0.25	0.17	0.17	0.13	0.13
L-Treonina	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.04	0.04
Vit-Min Premix Broiler	0.01	0.01	0.04	0.04	0.01	0.01	0.04	0.04
Quantum Blue 5G	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Econase XT 25P/L	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
Signis	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.00	100.0

CONTENIDO NUTRICIONAL FORMULADO (%)

Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8
Energía Metabolizable (Kcal/kg)	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150
Proteína Cruda	20.60	20.60	20.60	20.60	22.30	22.30	22.80	22.80
Fibra Cruda	2.49	2.49	2.50	2.50	4.28	4.28	4.94	4.94
Almidón	4.40	4.40	45.10	45.10	34.90	34.90	33.70	33.70
Ceniza	4.50	4.50	4.14	4.14	4.56	4.56	4.13	4.13
Calcio al 38%	0.76	0.76	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.76
Fosforo Digestible	0.49	0.49	0.41	0.41	0.54	0.54	0.47	0.47
Cloruro de Sodio	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Lisina Digestible	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
Metionina Digestible	0.55	0.55	0.53	0.53	0.47	0.47	0.45	0.45
Metionina + Cistina Digestible	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.87	0.87
Treonina Digestible	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
Triptófano Digestible	0.22	0.22	0.22	0.22	0.26	0.26	0.27	0.27
Isoleucina Digestible	0.78	0.78	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77
Valina Digestible	0.85	0.85	0.86	0.86	0.87	0.87	0.89	0.89

Tabla 4. Composición y análisis del contenido nutricional de la dieta en fase finalización (29-42 días)

Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8
Ingredientes (%)	2.5% fibra+ 500 FTU Fitasa	2.5% fibra + 500 FTU Fitasa + 100 g Xilo	2.5% fibra + 2000 FTU Fitasa	2.5% fibra + 2000 FTU Fitasa+ 100 g Xilo	5.0% fibra+ 500 FTU Fitasa	5.0% fibra + 500 FTU Fitasa +100 g Xilo	5.0% fibra + 2000 FTU Fitasa	5.0% fibra + 2000 FTU Fitasa+ 100 g Xilo
Trigo	0.00	0.00	0.00	0.00	66.60	66.60	67.50	67.50
Maíz	70.70	70.70	72.30	72.30	0.00	0.00	0.00	0.00
Canola	0.00	0.00	0.00	0.00	9.00	9.00	10.20	10.20
Harina de soya	25.10	25.10	24.70	24.70	17.40	17.40	16.40	16.40
Aceite de soya	1.63	1.63	0.91	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00

Aceite de Canola	0.00	0.00	0.00	0.00	4.56	4.56	4.03	4.03
Calcio al 38%	0.89	0.89	0.87	0.87	0.76	0.76	0.72	0.72
Fosfato monocalcio 22%P	0.46	0.46	0.05	0.05	0.44	0.44	0.00	0.00
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30	0.28	0.28	0.30	0.27
Bicarbonato de Sodio	0.07	0.07	0.00	0.00	0.10	0.10	0.02	0.02
L-Lisina HCl	0.23	0.23	0.23	0.23	0.28	0.28	0.28	0.28
DL Metionina	0.25	0.25	0.23	0.23	0.19	0.19	0.16	0.16
L-Treonina	0.05	0.05	0.04	0.04	0.06	0.06	0.04	0.04
Vit-Min Premix Broiler	0.01	0.01	0.04	0.04	0.01	0.01	0.04	0.04
Quantum Blue 5G	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Econase XT 25P/L	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
Signis	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.00	100.0

CONTENIDO NUTRICIONAL FORMULADO (%)

Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8
Energía Metabolizable (Kcal/kg)	3.225	3.225	3.225	3.225	3.225	3.225	3.225	3.225
Proteína Cruda	18.90	18.90	19.00	19.00	20.30	20.30	20.50	20.50
Fibra Cruda	2.41	2.41	2.43	2.43	3.38	3.38	3.52	3.52
Almidón	46.30	46.30	47.30	47.30	39.70	39.70	40.30	40.30
Ceniza	4.13	4.13	3.71	3.71	4.19	4.19	3.76	3.76
Calcio al 38%	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Fosforo Digestible	0.54	0.54	0.44	0.44	0.54	0.54	0.44	0.44
Cloruro de Sodio	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Lisina Digestible	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Metionina Digestible	0.51	0.51	0.50	0.50	0.46	0.46	0.43	0.43
Metionina + Cistina Digestible	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Treonina Digestible	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Triptófano Digestible	0.20	0.20	0.20	0.20	0.24	0.24	0.24	0.24
Isoleucina Digestible	0.71	0.71	0.72	0.72	0.71	0.71	0.72	0.72
Valina Digestible	0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.81

Material biológico y diseño experimental

En el estudio se utilizaron 2,880 pollitos machos de 1 día de edad de la estirpe Ross 308, los cuales se mantuvieron en la investigación hasta los 42 días de edad; las aves fueron distribuidas completamente al azar. Como se muestra en el Cuadro 4, se contó con un diseño factorial 2 (niveles de fibra) x 2 (niveles de fitasa) x 2 (niveles de xilooligosacáridos), con 9 réplicas, cada una de 40 aves.

Tabla 5. Diseño factorial de los tratamientos experimentales

TRATAMIENTO	NIVELES DE FIBRA**** %	NIVEL DE FITASA FTU / g*	NIVEL DE XOS g/ TONELADA **	NIVEL DE XINALASA BXU/ g ***
1	2.5	500	0	16000
2	2.5	500	100	16000
3	2.5	2000	0	16000
4	2.5	2000	100	16000
5	5.0	500	0	16000
6	5.0	500	100	16000
7	5.0	2000	0	16000
8	5.0	2000	100	16000

*Quantum Blue 5 G (5000 FTU/g) ®; ** Signis ® (Xilanasas + Oligosacárido); *** Econase XT 25 (160.000 BXU/g) ®. ****Los niveles de fibra mostrados en los tratamientos, se obtuvieron del promedio de los valores de la fase de iniciación, engorde y finalización de cada uno de los tratamientos.

Manejo

Se utilizó un fotoperiodo de luz natural durante el día, y por la noche se proporcionó un total de 3 horas de luz artificial a través de bombillas incandescentes de 40 watts programadas por medio de un “Timer” y distribuidas de la siguiente forma: de 21:00 a 22 h; 1:00 a 2:00 h. y 5:00 a 6:00 h; se mantuvo densidad de población de 11 aves/m².

El agua y el alimento en todos los tratamientos se proporcionaron a libre acceso desde el primer día de vida hasta el día 42.

Análisis de materias primas

Se tomaron muestras de los ingredientes principales (500 gramos), adquiridos para la elaboración de las dietas experimentales y estos fueron enviados al laboratorio AbVista para ser analizadas mediante espectroscopia de reflectancia infrarroja cercana (NIRS) y los resultados se muestran en los anexos 2 y 3. Los resultados de las materias primas fueron tomadas en cuenta para la formulación de las dietas.

Variables evaluadas

Parámetros zootécnicos

Peso corporal semanal de las aves (kg)

Se pesaron la totalidad de los pollos semanalmente para cada una de las réplicas y se calculó el peso corporal promedio por ave, acorde con el número de aves vivas al momento del pesaje para obtener la ganancia de peso semanal

Consumo de alimento acumulado (kg)

Se realizó el cálculo del alimento ofrecido al inicio y el residual al final de cada semana en cada repetición, según el número de aves vivas. Ajustando su consumo de acuerdo con la mortalidad de cada repetición.

Índice de conversión alimenticia acumulada

El índice de conversión alimenticia se calculó dividiendo el consumo de alimento acumulado entre el peso corporal al día 42 de edad.

Mortalidad acumulada (%)

Se obtuvo con el número de aves muertas de cada semana, multiplicado por 100, entre el número de aves iniciadas en la semana. Al día 42 de vida se realizó la sumatoria del

porcentaje de mortalidad acumulada. Las aves muertas se pesaron y anotaron en la bitácora de cada réplica con la fecha de dicho acontecimiento.

Tiempo de tránsito del alimento en el sistema digestivo

Se seleccionó e identificó con arete de plástico en la pata derecha un ave de cada repetición, proporcionándole una capsula de 1 gramo de óxido férrico (color rojo), a los 7, 14, 21, 28, 35, y 42 días de edad, a las 09:00 horas para evaluar el tiempo transcurrido entre la toma y presencia de excretas color rojo.

Morfometría intestinal (micras)

A los 42 días de edad se sacrificó 1 ave de cada replica de acuerdo con lo establecido en la NOM-033-ZOO-2014; NORMA Oficial Mexicana Sacrificio Humanitario de los Animales domésticos y silvestres (2014), para obtener tres cortes de 2 cm de longitud del duodeno, yeyuno e íleon, los cuales se mantuvieron en formol al 10% con colorante estéril verde en donde permanecieron 72 horas para teñirse y obtener imágenes con cámara Optisum Industrial Digital Modelo 9.0 MP 1/2.4.

La observación de las vellosidades se realizó a través de microscopio "SWIFT", modelo "STEREO EIGHTY", el cual cuenta con un lente de 2x. Mediante el software de medición para PC "Motic Images 2.0"; la medición de cada una de las características morfométricas de los tejidos se realizó de la siguiente manera:

Longitud de la vellosidad intestinal (μm) se midió desde la región basal que coincide con la porción superior de la cripta de Lieberkühn, trazando una recta entre la base y el ápice de la vellosidad (Imagen 2).

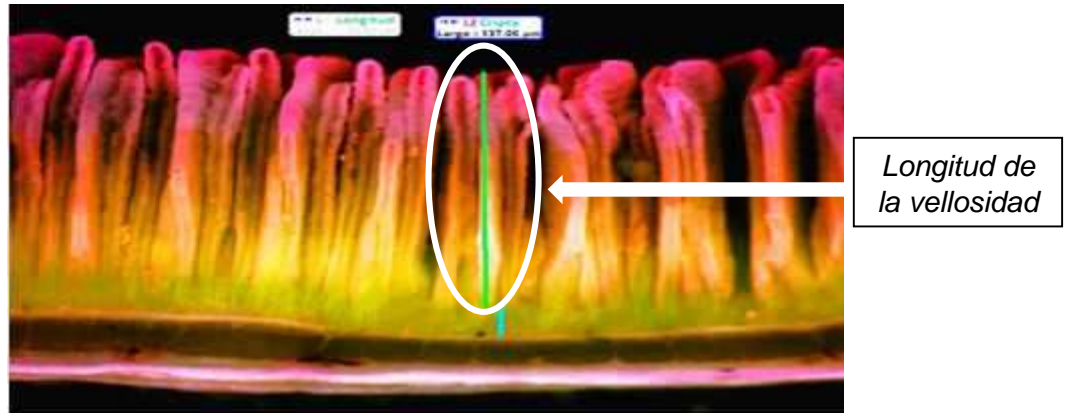


Imagen 2. Longitud de la vellosidad tomada de la base de la cripta de Lieberkühn y el ápice de la vellosidad

Ancho (μm) se midió por la cara frontal de la vellosidad, haciendo una línea recta de extremo a extremo (Imagen 3).

Grosor (μm) se midió en la parte media de la vellosidad intestinal, trazando una línea recta que va de la cara externa a la cara interna (Imagen 3).

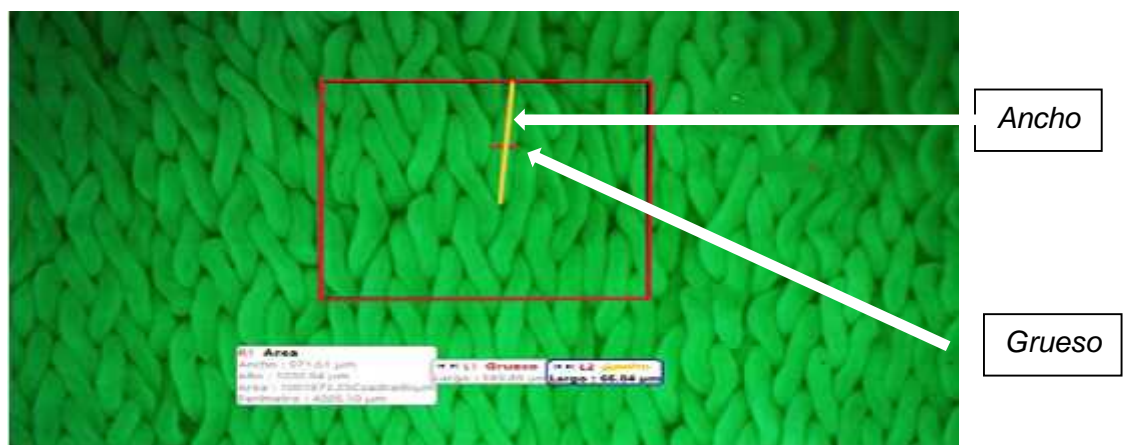
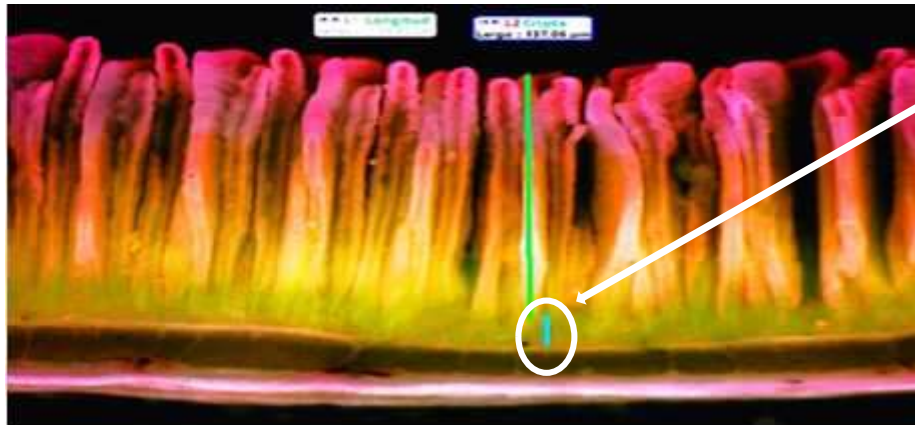


Imagen 3. Ancho de la vellosidad representado con línea recta en color amarillo y el grosor de la vellosidad se muestra con línea en color rojo

Profundidad de la cripta de Lieberkühn (μm) se midió desde la capa muscular de la mucosa intestinal hasta la región de transición cripta-vellosidad (Imagen 4).



Profundidad de la cripta de Lieberkühn

Imagen 4. Profundidad de la cripta de Lieberkühn representado con línea recta en color azul

Número de vellosidades. Se midieron por la cara frontal de la vellosidad realizando un conteo en un área aproximada de 1,000 μm^2 . (Imagen 5)



Número de vellosidades

Imagen 5. Numero de vellosidades determinado dentro del cuadrado de color rojo

Índice L/PC. Es una relación entre la longitud de la vellosidad y la profundidad de la cripta de Lieberkühn y se calculó por medio de la siguiente formula:

Índice L/P=

Longitud de la vellosidad

Profundidad cripta de Lieberkühn

Capacidad de superficie de área de contacto con los nutrientes (μm^2). Considerando que la vellosidad intestinal tiene forma de un “paralelepípedo rectangular”, el área se calculó a través de fórmula matemática que incluye los valores obtenidos en el longitud, ancho, grueso y número de las vellosidades, con la siguiente formula:

$$\text{Área de superficie} = \frac{(\text{longitud} \times \text{ancho}) \times 2 + (\text{longitud} \times \text{grueso}) \times 2 + (\text{ancho} \times \text{grueso}) \times \text{número de vellosidades}}{1.000.000 \mu^2}$$

Rendimiento en canal

A los 42 días de edad, se sacrificaron 3 aves por repetición, de acuerdo con lo establecido en la NOM-033-ZOO-2014; NORMA Oficial Mexicana Sacrificio Humanitario de los Animales domésticos y silvestres (2014), se determinó el peso corporal en vivo, peso de la canal (sin plumas, sangre, viseras y patas), peso de pechuga, piernas y muslos, para obtener el peso relativo en porcentaje, aplicando la siguiente formula:

$$\text{Peso Relativo} = \frac{\text{Peso de la canal} \times 100}{\text{Peso corporal vivo}}$$

Pigmentación en la piel

Las aves sacrificadas se mantuvieron en refrigeración durante 24 horas, practica empleada en la industria para lavar, reducir la contaminación y enfriar la canal para su apariencia, inocuidad y vida útil. La evaluación se realizó en el lado derecho de la región del músculo pectoral llamada región de la vena de la grasa, con un colorímetro de reflectancia CR-300 (iluminante D65, 2 ° observador estándar de 8 mm de apertura del diafragma \emptyset) bajo la escala CIELab del Comité Internacional de Colores. (Imagen 6)



Imagen 6. Medición de la pigmentación en piel a través de colorímetro.

Costo kilogramo de carne producido por concepto de alimento.

Al final del trabajo se realizó el costo por kilogramo de carne producido por concepto de alimento para cada uno de los tratamientos estudiados mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

Costo del kilogramo de carne producido por concepto de alimento=

Índice conversión alimenticia a los 42 días de edad

Costo total del alimento consumido

RESULTADOS

Los resultados de los parámetros zootécnicos, promedio del tránsito de alimento a través del tracto digestivo y costos por kilogramo de carne producido por concepto del alimento a los 42 días de edad, se muestran en el Tabla 6. Con relación al peso corporal no se encontraron diferencias ($p > 0.05$) entre los efectos principales de los niveles de fibra (2.5 vs 5.0%) de fitasa (500 vs 2000 FTU) y de los xilo-oligosacárido (0 vs 100 g), tampoco se encontraron diferencias ($p > 0.05$) entre las interacciones.

Con relación al consumo de alimento acumulado se observó diferencia ($p < 0.01$) en el nivel de fibra al 5%, el cual presentó menor consumo con la dieta con fibra al 2.5% (4.471 vs 4.518 kg), sin mostrar efecto ($p > 0.05$) en los niveles de fitasa y xilo-oligosacárido. Se encontró interacción ($p < 0.038$) entre los tratamientos de 2.5% de fibra+ 500 FTU fitasa y 100 g de XOS, en el cual se encontró un menor consumo de alimento en relación con el tratamiento donde no se incluyó el xilo-oligosacárido. (4.514 y 4.528 g).

En el índice de conversión alimenticia acumulada se encontraron diferencias ($p < 0.039$) en los niveles de fibra, siendo más eficiente el tratamiento con inclusión al 5% con relación al 2.5% (1.659 vs 1.672 kg/kg), sin manifestar efectos ($p > 0.05$) en los niveles de fitasa y xilo-oligosacárido.

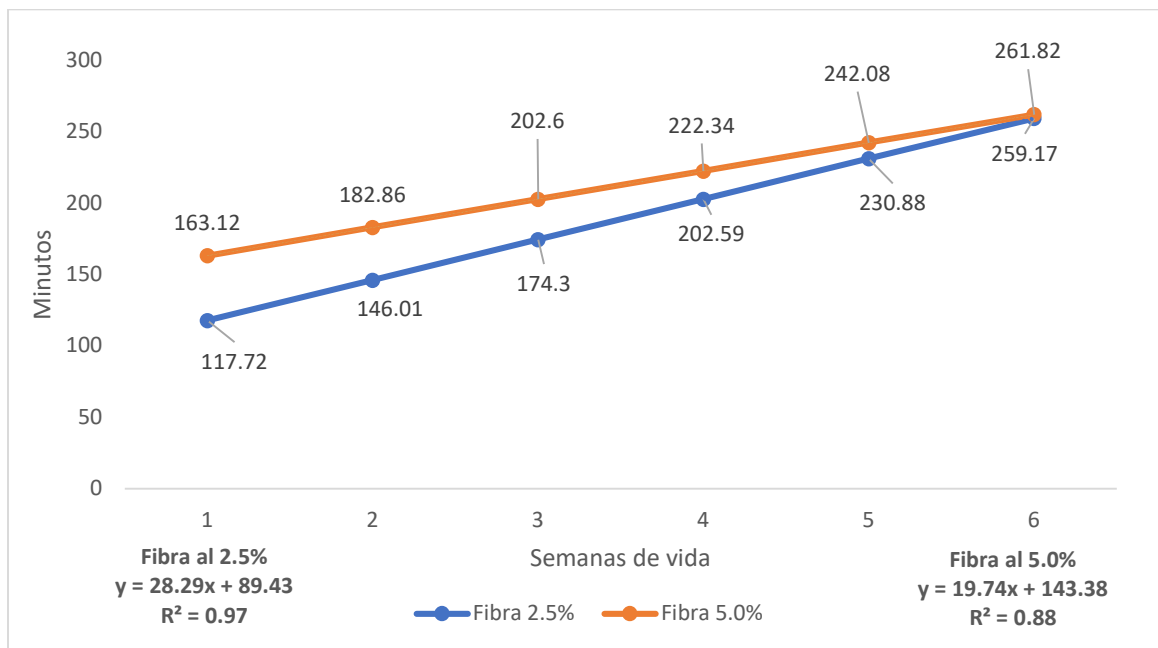
El análisis de la mortalidad general acumulada de las aves no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los efectos estudiados o sus interacciones.

Con respecto al tiempo de tránsito digestivo, se observaron diferencias ($p < 0.01$) entre los niveles de fibra; los pollos con dietas al 5% presentaron un mayor promedio del tiempo en el tránsito del bolo alimenticio a través del tracto gastrointestinal con respecto a las aves con dietas al 2.5% de fibra (212 vs 200 min). No hubo diferencia ($p > 0.05$) en los

niveles de fitasa y xilo-oligosacárido. Hubo interacción ($p = 0.002$) en los tratamientos con de fibra de 2.5 y 5% de fibra con 2000 FTU de fitasa con 0 y 100 g de XOS, observándose un mayor tiempo en los tratamientos con fibra al 5%.

Al analizar la variable de tránsito digestivo por medio de regresión lineal se encontró que en el grupo con 2.5% de fibra existe una relación lineal donde cada semana de vida el tiempo de tránsito digestivo (TTD) aumentaba 28.29 minutos con relación a la dieta del 5%, la cual aumento 19.74 min, marcándose una diferencia entre tratamientos de 8.55 minutos, siendo mayor el tiempo para la dieta alta en fibra. (Grafica 1).

Grafica 1. Regresión lineal en el tiempo de tránsito digestivo semanal en el pollo de engorda en dietas con dos niveles de fibra



Al analizar el costo del kilogramo de carne producido por concepto de alimento, se presentaron diferencias para los niveles de fibra ($p = 0.01$) encontrando que dietas con 2.5% permitieron costos de producción más eficientes económicamente que dietas con 5% (19.02 vs 20.14 MN). Con respecto a la inclusión de dos diferentes niveles de fitasa, se encontraron diferencias ($p = 0.01$), la adición de 2000 FTU de la enzima permitió dietas

más rentables que con dosis convencionales de fitasa (500 FTU), lo cual favoreció los costos de producción. No se encontró diferencia ($p < 0.05$) en los costos por efecto de los niveles del xilo-oligosacárido.

Tabla 6. Parámetros zootécnicos, promedio del tránsito de alimento a través del tracto digestivo y costos por kilogramo de carne producido por concepto del alimento del pollo de engorda a los 42 días de edad

<i>Parámetros evaluados</i>						
	Peso corporal (Kg)	Consumo alimento acumulado (Kg)	Índice conversión alimenticia (Kg/kg)	Mortalidad acumulada (%)	Promedio Tiempo de tránsito digestivo (Min)	Costo kg carne por alimento (MN)
Promedio de los efectos principales						
F2.5	2.746± 0.01 a	4.518± 0.01 b	1.672± 0.01 b	3.81± 0.46 a	200± 0.01 b	19.02± 0.06 a
F5.0	2.738± 0.01 a	4.471± 0.01 a	1.659± 0.01 a	4.37± 0.34 a	212± 0.01 a	20.14± 0.07 b
Fit500	2.747± 0.01 a	4.497± 0.01 a	1.663± 0.01 a	4.37± 0.40 a	209± 0.01 a	19.81± 0.11 b
Fit2000	2.737± 0.01 a	4.493± 0.01 a	1.667± 0.01 a	3.81± 0.40 a	202± 0.01 a	19.35± 0.10 a
Xos0	2.745± 0.01 a	4.486± 0.01 a	1.660± 0.01 a	3.95± 0.47 a	203± 0.01 a	19.53± 0.11 a
Xos100	2.738± 0.01 a	4.504± 0.01 a	1.671± 0.01 a	4.23± 0.33 a	209± 0.01 a	19.64± 0.12 a
Tratamientos						
F2.5+Fit500+Xos0	2.764±0.01 a	4.528±0.01 bc	1.665 ±0.01 a	3.61 ± 1.19 a	199± 0.01 ab	19.23 ± 0.08 b
F2.5+Fit500+Xos100	2.747±0.01 a	4.514±0.02 abc	1.670± 0.01 a	4.72 ± 0.65 a	223± 0.01 a	19.20 ± 0.09 b
F2.5+Fit2000+Xos0	2.743±0.01 a	4.495±0.02abc	1.665 ± 0.01 a	3.33 ± 1.10 a	190± 0.01 b	18.69 ±0.07 a
F2.5+Fit2000+Xos100	2.730±0.01 a	4.538±0.02 c	1.689 ±0.01 a	3.61 ± 0.73 a	187± 0.01 b	18.96 ±0.10 ab
F5.0+Fit500+Xos0	2.740±0.01 a	4.462±0.01 a	1.655 ± 0.01 a	4.44 ± 0.81 a	203± 0.01 ab	20.34 ± 0.10 de
F5.0+Fit500+Xos100	2.737±0.01 a	4.486±0.01abc	1.665± 0.01 a	4.72 ± 0.50 a	212± 0.01 ab	20.47 ± 0.10 e
F5.0+Fit2000+Xos0	2.736±0.01 a	4.461±0.01 a	1.656 ± 0.01 a	4.44 ± 0.69 a	220± 0.01 a	19.86 ±0.05 c
F5.0+Fit2000+Xos100	2.741±0.01 a	4.478±0.02 ab	1.660± 0.01 a	3.89 ± 0.73 a	212± 0.01 ab	19.91 ±0.15 cd
ANOVA Factorial (valor de P)						
Niveles de Fibra	0.366	0.001	0.039	0.347	0.010	0.001
Niveles de Fitasa	0.264	0.725	0.516	0.347	0.119	0.001
Niveles de Xos	0.389	0.198	0.071	0.637	0.192	0.145
Interacción Fibra x Fitasa x Xos	0.921	0.038	0.165	1.000	0.002	0.001

F: fibra; Fit: fitasa; Xos: xilo-oligosacárido; Kg: kilogramo; valor de P: probabilidad. a,b,c las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($P < 0.05$). Valores son expresados como el promedio ± error estándar de 9 réplicas.

Los resultados del rendimiento en canal y la evaluación de pigmentación en piel a los 42 días de edad, se muestran en la Tabla 7. Con relación al rendimiento en la canal entera no se encontraron diferencias ($p < 0.05$) entre los efectos principales de los niveles de fibra (2.5 vs 5.0%) de fitasa (500 vs 2000 FTU) y de los xilo-oligosacárido (0 vs 100 g), tampoco

se encontraron diferencias ($p < 0.05$) entre las interacciones. Del mismo modo, el análisis de la pechuga, muslos y piernas no presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$), excepto en piernas con el efecto de los niveles de xilo-oligosacáridos donde se observó diferencias ($p < 0.046$), donde se observó un efecto negativo la adición de los XOS viéndose disminuido el rendimiento en los tratamientos con 100 g del estímbiótico (9.28 vs 9.12 %). Hubo interacción ($p < 0.080$) en el rendimiento de las piernas encontrando que la presencia de los XOS tuvo un efecto negativo en dietas con 5% de fibra (9.10 y 9.13%). El análisis de la pigmentación (amarillamiento y enrojecimiento) de la piel no mostró diferencias ($p < 0.05$) por los efectos principales o sus interacciones.

Tabla 7. Rendimiento en canal y pigmentación en piel del pollo de engorda a los 42 días de edad.

	<i>Parámetros evaluados</i>					
	Canal entera (%)	Pechuga (%)	Muslos (%)	Piernas (%)	Pigmento amarillo (deltas)	Pigmento Rojo (deltas)
Promedio de los efectos principales						
F2.5	76.26±0.16 a	26.55±0.12 a	10.45±0.07 a	9.19±0.05 a	42.91±0.27 a	1.52±1.98 a
F5.0	75.95±0.16 a	26.52±0.12 a	10.52±0.08 a	9.21±0.05 a	43.28±0.27 a	1.56±2.06 a
Fit500	76.09±0.15 a	26.59±0.12 a	10.54±0.08 a	9.15±0.05 a	43.03±0.27 a	1.55±2.05 a
Fit2000	76.12±0.17 a	26.48±0.12 a	10.43±0.07 a	9.25±0.05 a	43.16±0.27 a	1.53±1.99 a
Xos0	76.00±0.16 a	26.50±0.12 a	10.40±0.07 a	9.28±0.06 a	43.05±0.28 a	1.37±1.85 a
Xos100	76.21±0.16 a	26.57±0.12 a	10.57±0.08 a	9.12±0.05 b	43.14±0.27 a	1.71±2.20 a
Tratamientos						
F2.5+Fit500+Xos0	75.90±0.30 a	26.57±0.26 a	10.54±0.15 a	9.14±0.10 ab	42.89±0.55 a	0.57±1.36 a
F2.5Fit500Xos100	76.53±0.30 a	26.64±0.24 a	10.46±0.15 a	9.14±0.12 ab	42.31±0.55 a	1.91±2.97 a
F2.5Fit2000Xos0	75.87±0.32 a	26.39±0.24 a	10.37±0.15 a	9.39±0.13 a	43.11±0.54 a	2.00±2.94 a
F2.5Fit2000Xos100	76.74±0.34 a	26.61±0.23 a	10.43±0.15 a	9.10±0.08 b	43.33±0.54 a	1.60±2.57 a
F5.0Fit500Xos0	76.14±0.33 a	26.45±0.24 a	10.39±0.16 a	9.22±0.13 ab	43.66±0.56 a	1.77±2.94 a
F5.0Fit500Xos100	75.80±0.26 a	26.69±0.24 a	10.76±0.17 a	9.10±0.10 b	43.25±0.47 a	1.94±2.99 a
F5.0Fit2000Xos0	76.11±0.35 a	26.60±0.24 a	10.29±0.16 a	9.38±0.12 ab	42.52±0.55 a	1.11±2.10 a
F5.0Fit2000Xos100	75.77±0.36 a	26.35±0.26 a	10.62±0.16 a	9.13±0.10 ab	43.66±0.56 a	1.38±2.36 a
ANOVA Factorial (valor de P)						
Niveles de Fibra	0.181	0.859	0.563	0.844	0.344	0.925
Niveles de Fitasa	0.893	0.556	0.323	0.211	0.741	0.944
Niveles de Xos	0.368	0.693	0.137	0.046	0.813	0.319
Interacción Fibra x Fitasa x Xos	0.794	0.361	0.669	0.080	0.623	0.185

F: fibra; Fit: fitasa; Xos: xilo-oligosacarido; Kg: kilogramo; valor de P: probabilidad. a,b,c las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($P < 0.05$). Valores son expresados como el promedio \pm error estándar de 9 réplicas

Los resultados de la morfometría de duodeno, yeyuno e íleon a los 42 días de edad se muestran en la Tabla 8. Con relación a la evaluación del duodeno no se encontró diferencia ($p > 0.05$) en el índice y el área de contacto por los niveles de fibra. Por el contrario, el nivel de fitasa presentó diferencia ($p = 0.027$) para la relación longitud de vellosidad/profundidad de cripta, obteniéndose un mayor valor en las dietas con inclusión de 2000 FTU de fitasa con relación a aquella con 500 (8.02 vs 7.67). En el nivel de xilo-oligosacáridos se encontró diferencia (0.039), cuyo mayor índice fue alcanzado por el tratamiento que contaba con la adición del estimbiótico a dosis de 100 g (8.01 vs 7.68).

En el yeyuno, el nivel de fibra presentó diferencia (0.001), donde las dietas con 2.5% de fibra presentaron una mayor relación de longitud de vellosidad/ profundidad de cripta respecto a las dietas con 5.0% (7.05 vs 5.96). El análisis de los efectos de fitasa y xilo-oligosacárido no evidenciaron diferencias para esta sección anatómica. La interacción observada en las dietas con 5% de fibra y 100 g de xilo-oligosacáridos en los dos niveles de fitasa ($p = 0.001$) mostró que la presencia de los XOS no favoreció el índice en el yeyuno. No se presentaron diferencias ($p > 0.05$) para el área de contacto por los factores estudiados o su interacción.

En el íleon, no se encontró diferencia ($p > 0.05$) en el índice o el área de contacto en los efectos principales o su interacción.

Tabla 8. Morfometría duodeno, yeyuno e íleon del pollo de engorda a los 42 días de edad

	<i>Parámetros evaluados</i>					
	Duodeno		Yeyuno		Íleon	
	Índice L/P (micras)	Área de Contacto	Índice L/P	Área de Contacto	Índice L/P	Área de Contacto
<i>Promedio de los efectos principales</i>						
F2.5	7.80±0.11 a	37.35±0.50 a	7.05±0.12 a	34.94±0.45 a	6.21±0.10 a	25.90±0.34 a
F5.0	7.89±0.11 a	38.62±0.54 a	5.96±0.10 b	33.63±0.49 a	6.21±0.09 a	26.20±0.37 a
Fit500	7.67±0.11 b	38.39±0.48 a	6.46±0.10 a	33.69±0.51 a	6.26±0.10 a	26.28±0.30 a
Fit2000	8.02±0.11 a	37.57±0.56 a	6.56±0.11 a	34.89±0.48 a	6.16±0.09 a	25.82±0.40 a
Xos0	7.68±0.11 b	38.05±0.52 a	6.55±0.13 a	33.95±0.47 a	6.24±0.10 a	25.58±0.34 a
Xos100	8.01±0.12 a	37.92±0.53 a	6.46±0.13 a	34.63±0.52 a	6.185±0.09 a	26.51±0.36 a
<i>Tratamientos</i>						
F2.5+Fit500+Xos0	7.56±0.23 c	37.21±0.98 a	7.24±0.22 a	34.24±1.17 a	6.32±0.23 a	25.83±0.65 a
F2.5Fit500Xos100	7.60±0.27 c	37.56±0.91 a	6.65±0.17 abc	34.74±0.88 a	6.09±0.20 a	26.01±0.65 a
F2.5Fit2000Xos0	7.76±0.17 bc	36.65±0.87 a	6.93±0.29 ab	35.05±0.91 a	6.25±0.22 a	25.49±0.52 a
F2.5Fit2000Xos100	8.28±0.20 ab	38.00±1.21 a	7.41±0.23 a	35.75±1.02 a	6.17±0.19 a	26.29±0.86 a
F5.0Fit500Xos0	7.83±0.23 bc	39.20±0.98 a	6.03±0.19 bc	32.40±0.70 a	6.14±0.15 a	26.16±0.57 a
F5.0Fit500Xos100	7.670±0.19 bc	39.57±0.97 a	5.95±0.23 c	33.41±1.20 a	6.48±0.20 a	27.11±0.51 a
F5.0Fit2000Xos0	7.57±0.21 c	39.19±1.25 a	6.01±0.25 bc	34.10±0.86 a	6.23±0.19 a	24.82±0.97 a
F5.0Fit2000Xos100	8.45±0.25 a	36.51±1.10 a	5.89±0.16 c	34.65±1.02 a	5.99±0.14 a	26.62±0.81 a
<i>ANOVA Factorial (valor de P)</i>						
Niveles de Fibra	0.575	0.088	0.001	0.063	0.984	0.585
Niveles de Fitasa	0.027	0.280	0.556	0.090	0.460	0.347
Niveles de Xos	0.039	0.837	0.610	0.325	0.691	0.062
Interacción Fibra x Fitasa x Xos	0.026	0.170	0.001	0.815	0.184	0.908

F: fibra; Fit: fitasa; Xos: xilo-oligosacarido; Kg: kilogramo; valor de P: probabilidad. a,b,c las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($P < 0.05$). Valores son expresados como el promedio \pm error estándar de 9 réplicas.

DISCUSIÓN

Dentro de la fibra cruda se encuentra la celulosa y la lignina insoluble presentes en los ingredientes empleados en la fabricación de los alimentos. La definición de fibra dietética (FD) ha sido históricamente debatida debido a las discrepancias en la técnica de análisis de fibra y, por lo tanto, surgieron variaciones posteriores debido a las composiciones químicas y los efectos fisiológicos en las aves. Sin embargo, una definición comúnmente aceptada es que FD son polímeros de carbohidratos con tres o más unidades monoméricas, que no son hidrolizados por enzimas endógenas en el TGI (Jones, 2014). Investigaciones muestran que la inclusión de niveles de fibra en las dietas mejora el rendimiento corporal de las aves, Vandeplass y Bodin (2012), observaron que la adición de esta enzima exógena en sus tratamientos logró la disminución de los efectos anti nutricionales contenidos en los ingredientes, aumento la valorización de los ingredientes y reducción de la viscosidad intestinal, lo que se tradujo un mayor rendimiento del peso de las aves. Estudio realizado por González *et al.*, (2015), encontraron que dietas con un contenido de 10% de fibra adicionadas con xilanasas obtuvieron un mayor peso corporal debido a que una mayor inclusión de ingredientes con contenido de polisacáridos no amiláceos conlleva a una mayor digestibilidad de energía ileal que antes no era digestible y esto se reflejaría directamente en el rendimiento de las aves. Tang *et al.*, (2017), afirman que cambios significativos en la inclusión de fibra ha demostrado efectos positivos en la energía metabolizable aparente la cual es aprovechada y convertida en carne por las aves. Sarikhan *et al.*, (2010) encontraron que pollos criados a 42 días, alimentados con inclusión de 0.25, 0.50 y 0.75% de fibra en la dieta, presentaron un mayor peso corporal en todos los tratamientos excepto en el grupo control con 0% de fibra cruda. Recientemente Ferreyros (2020), informo que la inclusión de 3-10% de cascarilla de avena resulto en una mayor digestibilidad del almidón fecal, proteína y grasa, así como del almidón ileal. Para este estudio, el peso corporal no presento diferencias ($p > 0.36$) entre los niveles de 2.5 y 5% de fibra, lo que

podría indicar que la inclusión de mayores fracciones de PNAs contenidos en ingredientes como canola y trigo, en dietas suplementadas con xilanasas no afectaron el desarrollo corporal por efecto de los factores anti nutricionales en comparación con la dieta tradicional maíz y harina de soya, con 2.5% de fibra (2.738 vs 2.746 g). Durante este estudio fue relevante la determinación de las fracciones de fibra de los ingredientes empleados, donde en las dietas con fibra al 5% se sustituyeron ingredientes convencionales por canola y trigo como principales fuentes de fibra; mediante NIRS se estableció que estos dos ingredientes contenían niveles más altos de PNAs totales, arabinoxilanos totales, betaglucanos totales, así como un mayor porcentaje de FDN y FDA en comparación al maíz y harina de soya. Estas fracciones de fibra son consideradas factores anti nutricionales (Jha y Berrocoso, 2015), factores que durante este estudio mediante la acción de la enzima xilanasas se cree pudieron ser hidrolizados de tal manera que no generaron un impacto negativo en el desarrollo corporal del pollo de engorda, lo que explicaría la obtención de pesos corporales estadísticamente iguales al tratamiento con 2.5% de fibra.

En el consumo de alimento acumulado (CAA) presentó diferencia ($p < 0.01$), observándose que las aves alimentadas con dieta con 5% de fibra tuvo un menor CAA al día 42 (4.471 vs 4.518 g). Estos resultados coinciden con González Alvarado *et al.*, (2006), y Jiménez Moreno *et al.*, (2005), quienes encontraron que el CAA podría verse disminuido en dietas con contenido fibroso ya que, a su paso por el tracto gastrointestinal, la fibra aumenta su voluminosidad generando una sensación de saciedad en las aves por efectos de distensión física, lo que da lugar a un menor consumo de alimento en dietas con ingredientes fibrosos como canola y trigo, entre otros. Otro mecanismo de acción que regula el consumo de alimento podría explicarse a través de la energía metabolizable. Durante este estudio se encontró que las aves con 5% de fibra presentaron un menor consumo respecto a las aves con 2.5%, esto podría explicarse por medio de la EMA resultante de la adición de xilanasas exógena sobre la fibra, enzima que aporta 150 kcal/kg en dietas consideradas de alta viscosidad al contener canola y trigo, energía que es

empleada por el ave; regulado su consumo alimenticio; esto concuerda con Moreno *et al.*, (2013), quienes afirman que los pollos modernos pueden regular la ingestión de alimento por la cantidad de energía metabolizable aparente (EMA), que consumen.

Aves alimentadas con niveles de fibra al 2.5% con 500 FTU de fitasa y 100 g de xilo-oligosacáridos presentaron una disminución en el consumo de alimento. Esto podría atribuir a la liberación mediada por xilanasas de xilo-oligosacáridos (XOS) en el intestino, permitiendo la degradación de los arabinoxilanos insolubles de la pared celular para liberar los nutrientes incluidos y los arabinoxilanos solubles para reducir la viscosidad de la digesta, mejorando así la digestibilidad de los nutrientes (Schutte, 1991).

El índice de conversión alimenticia es el resultado del consumo de alimento acumulado que tuvieron las aves durante el periodo productivo respecto al peso corporal alcanzado durante este mismo; como se mencionó antes, para este estudio el tratamiento con fibra al 5% no obtuvo diferencia en el peso corporal al compararlo con el tratamiento con 2.5%, pero con respecto al CAA, hubo diferencia, presentando una menor cantidad de alimento ingerido, dando como resultado que el ICA en las dietas con fibra al 5% fueran más eficiente que en las dietas con 2.5% (1.659 vs 1.672). Este resultado coincide con Ferreyros (2020), quien reportó que pollos alimentados con niveles de 10 al 20% de trigo tenían mejor digestibilidad de los aminoácidos, almidón fecal e ileal, proteína y grasa, lo que beneficiaría la conversión alimenticia en las aves. Un estudio realizado por Aftab y Bedford (2018), confirmaron la interacción positiva que existe entre la fibra y la adición de xilanasas permitiendo la solubilización y degradación de los PNAs lográndose la disminución de la viscosidad intestinal generada como efecto anti nutricional, lo que favorece la digestibilidad de los nutrientes y el rendimiento productivo de las aves, lo que se piensa que favoreciendo el ICA. Estos resultados positivos podrían explicarse a la hidrólisis de los PNAs, los cuales al ser fragmentados no pueden unirse a ácidos biliares,

colesterol o grasas que eventualmente podrían reducir el valor de la EMA del alimento y, por lo tanto, afectar el rendimiento productivo de las aves.

Por el contrario, un estudio realizado por Röhe *et al.*, (2020) se observó un efecto negativo de la FD en la digestibilidad ileal aparente de la proteína cruda y la energía bruta, repercutiendo en el comportamiento productivo de las aves, impactando directamente en el índice de conversión alimenticia, este efecto podría atribuirse al efecto abrasivo que tiene la fibra, principalmente la insoluble sobre a mucosa intestinal, afectando la absorción de diversos nutrientes (Montagne *et al.*,2003).

No se presentan diferencias ($p > 0.05$), en el porcentaje de mortalidad general acumulada entre los dos niveles de fibra (2.5 vs 5%), resultados similares a lo encontrado por Castellón Poma (2021), en donde la inclusión de subproductos de trigo en las fases de inicio y finalización junto con la adición de xilanasa en dietas de pollo de engorda no influyó en la mortalidad acumulada de las aves. Contrario a esto, un estudio realizado por Tellez *et al.*,2006 mostro como, la inclusión de fibras solubles puede ingresar en el intestino posterior, favoreciendo la proliferación de bacterias patógenas como Clostridium, generando brotes de enfermedades entéricas como la enteritis necrótica.

En investigación realizada por Angel *et al.*, (2013), se afirma que la velocidad del paso del alimento a través del tracto gastrointestinal (TGI), podría influir en la cantidad de nutrientes extraídos de la dieta principalmente por la exposición que estos tienen por las diferentes enzimas digestivas y a las superficies de absorción. El tiempo de tránsito digestivo (TTD), en aves es rápido en general, su paso a través de los distintos órganos tiene diferentes velocidades, siendo la molleja el de mayor grado de influencia, los ingredientes de la dieta, y sus propiedades físicas y químicas también juegan un papel importante (Svihus, 2011). Diferentes fuentes de fibra pueden alterar el tiempo de tránsito digestivo de acuerdo con su capacidad para formar geles

según Raza *et al.*, (2019), así mismo, el tamaño de partícula de los ingredientes fibrosos también contribuye a la velocidad con la que el bolo alimenticio pasa a través del TGI. Para analizar el TTD durante el desarrollo de esta prueba con niveles de 2.5 y 5% en dietas donde se incluyó maíz, harina de soya, canola y trigo, y la adición de xilanasas, los resultados mostraron diferencia ($p < 0.01$) donde la inclusión de 5% de fibra tuvo un mayor tiempo de tránsito respecto al 2.5% (212 vs 200 min). Estos resultados concuerdan con Montagne *et al.*, (2003), quienes observaron que el paso del alimento en aves que consumían dietas altas en fibra insoluble se movía más lento a través de la molleja lo que provocaría un tiempo de tránsito mayor a través de TGI. Los resultados fueron analizados por medio de regresión lineal para ambas dietas (2.5 y 5.0% de fibra) encontrándose que, a sexta semana de vida del pollo, el tiempo del tránsito del bolo alimenticio no presenta diferencia entre los dos niveles de inclusión.

El alimento balanceado representa alrededor del 70% de los costos de producción avícola (Costa *et al.*, 2008), motivo por el cual muchos investigadores han enfocado sus estudios en la búsqueda de alternativas para incrementar la eficiencia en la utilización de diferentes ingredientes con el objetivo de mejorar la digestibilidad de sus nutrientes (Bedford, 2018), la cual está limitada por la presencia de factores anti nutricionales inherentes a cereales. Una estrategia para mejorar la eficiencia alimenticia ha sido el uso de mayores niveles de fibra con la adición de carbohidrasas, cuya finalidad es lograr un óptimo aprovechamiento de los nutrientes provenientes de las materias primas que permitan la reducción de los costos en las dietas y un mayor rendimiento productivo de las aves (Chotinsky, 2015). Durante este estudio, se encontraron diferencias ($p < 0.01$), en los costos por kilogramo de carne producido por concepto de alimento entre los niveles de fibra, observándose que este costo fue mayor en el tratamiento con 5% de fibra vs con 2.5% a pesar de que el índice de conversión fue significativamente menor ($p < 0.03$), para el tratamiento con fibra al 5% (19.02 vs 20.14 MN). Estos resultados se podrían atribuir al mayor costo de adquisición de las materias primas empleadas para la elaboración de

este alimento (harina de canola, trigo y aceite de canola), respecto al costo de los ingredientes usados en las dietas con fibra al 2.5% (maíz, pasta de soya y aceite de soya). Sin embargo, Castellón (2021), reporto retribución económica al evaluar la inclusión de xilanasa en dietas convencionales donde redujeron 50 y 70 Kcal/ kg en las dietas de pollos de engorde. Según sus hallazgos, la interacción de los ingredientes con la adición de xilanasa permite la degradación de los PNAs incrementando la digestibilidad de los nutrientes, principalmente energía, que fue reducida en la dieta impactado en el costo, además de que esta energía fue aprovechada por el ave para su rendimiento productivo.

La inclusión de fibra, principalmente fibra insoluble presenta efectos abrasivos sobre la mucosa intestinal, provocando la pérdida de varios nutrientes como proteína, aminoácidos, minerales y vitaminas según estudio de Coudray *et al.*, (2003). Así mismo, de acuerdo con Hetland *et al.*, (2005), dietas ricas en PNAs inducen a modificaciones en la morfometría intestinal de aves, dependiendo de la fuente pueden observarse cambios en la altura y el número de vellosidades; lo que impacta directamente en variables como índice y capacidad de superficie de área de contacto con nutrientes evaluadas en este estudio.

Según Vallejo *y col*, (2015), una mayor área de absorción se puede evaluar a través de la relación que existe entre la altura de una vellosidad y la profundidad de la cripta de Lieberkühn, y aunque esta relación no tiene una medida, permite la comparación entre tratamientos. Los efectos de los niveles de fibra sobre el índice mostraron diferencias ($p < 0.01$), en el yeyuno, en dietas con 2.5% de fibra, encontrando que una menor inclusión podría haber sido más beneficiosa para el crecimiento de las vellosidades y el desarrollo de la profundidad de la cripta, aunque este efecto no se observó en duodeno e íleon; según Singh y Kim (2021), la fibra insoluble contenida en ingredientes como trigo afecta la integridad de las vellosidades en aves jóvenes e inmaduras, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el grupo de aves a las

cuales se les administro un mayor porcentaje (5%) de fibra desde el primer día de edad en esta investigación.

Buscando maximizar la digestibilidad de los nutrientes, la suplementación de dietas con fitasa resulta en la liberación directa de fósforo fítico y aumenta la utilización del fósforo (P) presente en los ingredientes de origen vegetal; adicionalmente, reduce la cantidad de fitato presente en el tracto digestivo, resultando en la liberación de otros nutrientes como almidón, proteína y minerales como el calcio, disminuyendo así el efecto anti-nutricional atribuido al fitato (Cowieson, Acamovic y Bedford, 2006). Al evaluar los efectos principales de fitasa sobre el peso corporal, consumo de alimento acumulado e índice de conversión alimenticia acumulada a los 42 días de edad no se observan diferencias ($p > 0.05$) entre los tratamientos con 500 y 2000 FTU de fitasa. Esto puede deberse al diseño de las dietas, las cuales como se observa en los cuadros no. 1, 2, 3 y 4 fueron formuladas con contenido nutricional similar y basadas en los valores de matriz para cada dosis de fitasa, por lo que no se esperaba diferencia ($p > 0.05$) en los parámetros productivos entre los tratamientos. Estos resultados coinciden con lo reportado por Nascimento *et al.*, (2021), quienes encontraron que pollos de engorde sometidos a dietas con dosis de 500, 1000 y 1500 FTU de fitasa presentaron similar comportamiento productivo entre los tratamientos. De la misma manera, Freitas *et al.*, (2019), no observaron diferencias en el rendimiento del crecimiento de los pollos de engorde al compararlos con 500, 1000 y 1500 FTU/kg de fitasa incluidas en dietas, lo que concuerda con el presente estudio. Por el contrario, Walters *et al.*, (2019), afirman que la inclusión de dosis altas de fitasa en 1000, 2000 y 3000 FTU/kg produce mejora en el rendimiento productivo de las aves y digestibilidad de nutrientes que, en tratamientos con inclusiones de 250, 500 y 750 FTU. Así mismo, Gautier *et al.*, (2018) encontraron que la fitasa en dosis de 1500 FTU influye en el rendimiento de las aves, y la digestibilidad en pollos de engorde; investigación realizada por Amerah *et al.*, (2014) mencionan que la mayor disponibilidad de fósforo, otros minerales y nutrientes se debe a una mayor acción

de la fitasa, lo que favorece el peso corporal de las aves, afirmaciones que no coinciden con los resultados obtenidos con el presente estudio. No se presentó interacción ($p > 0.05$) entre los efectos principales de fitasa con los efectos principales de fibra y xilo-oligosacáridos en los parámetros productivos.

Basándonos en la matriz de formulación de la fitasa que se usó en este estudio, según el Cuadro no.4, permite por incremento de la digestibilidad, la liberación de diferentes nutrientes en las dietas de acuerdo con su nivel de inclusión, donde con 2000 FTU se logra una mayor liberación de algunos nutrientes, especialmente P causando diferencia ($P < 0.05$), en el costo de producción del kilo de carne producido en el tratamiento con superdosis de fitasa, dieta que tuvo un menor valor al no requerirse la adición de fosfato mono cálcico al 22%P, ingrediente considerado el tercero más costoso en una dieta avícola, efecto que no se encontró ($p > 0.05$) en la dieta con 500 FTU de fitasa donde si fue necesario adicionar esta fuente de P inorgánico. Estos resultados coinciden con Nascimento *et al.*,(2021), quienes concluyeron que con el uso de superdosis de fitasa en dietas reducidas en calcio, fósforo , proteína bruta y energía metabolizable se lograba disminuir el costo de producción, así, por cada 500 FTU/kg de fitasa dietética incluida en la matriz nutricional, el costo total de la dieta disminuyó. No se presentó interacción ($p > 0.05$) entre los efectos principales de fitasa con los efectos principales de fibra y xilo-oligosacáridos en los costos del kilogramo de carne producida por concepto de alimento.

Los requerimientos de fósforo disponible en dietas de pollo de engorde según su etapa de crecimiento son importantes para la supervivencia de las aves. En el presente estudio no se encontró diferencia ($p > 0.05$) entre los dos niveles de inclusión de fitasa en porcentaje de mortalidad acumulada a sexta semana, esto indicaría que la formulación de 500 y 2000 FTU de la enzima permitió cumplir las necesidades nutricionales de fósforo al liberarse una mayor cantidad de este elemento con un nivel mayor de fitasa. Estos resultados coinciden con la

investigación realizada por Aguilar y col. (2018) quienes encontraron que dietas con niveles de P adecuados no presentan mortalidad e incluso dietas deficientes en P (0.20%) y suplementadas 500 FTU presentan porcentaje de mortalidad considerados aceptables (4%), por el contrario, dietas bajas en P sin suplementación de fitasa o con 250 FTU pueden observarse porcentajes de mortalidad hasta del 10%. Según Da Silva *et al.*, (2016) la suplementación de fitasas proporciona al pollo de engorda beneficios que se ven reflejados en la supervivencia a través de la eliminación del efecto anti nutricional que genera el ácido fítico permitiendo la liberación de diferentes nutrientes que le permiten al ave un mejor desarrollo y por lo tanto un mayor porcentaje de viabilidad durante su proceso productivo. No se presentó interacción ($p > 0.05$) entre los efectos principales de fitasa con los efectos principales de fibra y xiloligosacáridos en el porcentaje de mortalidad acumulada.

Con respecto al tiempo de paso del bolo alimenticio en el tracto digestivo, en el presente estudio no se encontró efectos ($p > 0.05$) entre los dos niveles (500 vs 2000 FTU), de fitasa utilizado. Estos resultados no coinciden con Watson *et al.*, (2006), quienes encontraron que dietas suplementadas con fitasa presentan un tiempo de tránsito digestivo más lento pero podría estar influenciada por niveles deficientes de calcio y fósforo disponible (10% menos que niveles normales).

Otra variable analizada durante la investigación fue el rendimiento en canal, para el cual la suplementación de fitasa en 500 y 2000 FTU no generó ningún efecto ($p > 0.05$), esto probablemente se relaciona a que en el peso corporal no se presentaron diferencias ($p > 0.05$) entre los diferentes niveles de fitasa. Estos resultados no coinciden con diferentes autores. Por ejemplo, Bharathidhasan *et al.*, (2009) realizaron un estudio con diferentes niveles de fitasa (0, 250, 500, 750 y 1,000 g/t) observando que había un incremento lineal en el rendimiento en la canal conforme se incrementaba la dosis de enzima, concluyendo que hay una mejora creciente de

acuerdo con el nivel de fitasa aplicado. Cruz (2010) realizó un experimento encontrando un rendimiento en canal del 79.02% para aves suplementadas con 5000 FTU de fitasa y 76.04% para aquellas donde no se adicionó la enzima. Eso significa que, las aves alimentadas con superdosis de fitasa tuvieron un 3% mejor de rendimiento en canal. Así mismo, Junqueira *et al.*, (2011) realizó estudio con diferentes niveles de fitasa, encontrando que la suplementación de 514 FTU/kg mejoraba el rendimiento en canal. No se presentó interacción ($p < 0.05$) entre los efectos principales de fitasa con los efectos principales de fibra y xilo-oligosacáridos en el rendimiento en canal.

En la producción de pollo de engorda es importante la pigmentación en la piel para su comercialización, y al no presentarse variaciones relevantes en la energía aparente metabolizable por efecto de los niveles de fitasa (500 vs 2000 FTU) y teniendo en cuenta que los pigmentos son sustancias liposolubles, no se presentó efecto de la adición de la enzima sobre esta variable. No se presentó interacción ($p < 0.05$) entre los efectos principales de fitasa con los efectos principales de fibra y xilo-oligosacáridos en la pigmentación en piel.

Al analizar la morfometría a nivel de duodeno, yeyuno e íleon con los diferentes niveles de fitasa, no se encontró diferencia ($p < 0.05$) con respecto al índice y área de contacto con nutrientes excepto en el duodeno donde el tratamiento con inclusión de 2000 FTU de fitasa obtuvo un mayor índice que el tratamiento con 500 FTU de enzima. Este mayor valor en el índice coincide con Dersjant-Li *et al.*, (2015), quienes observaron que hay una influencia entre la dosis de fitasa matrizada y la relación vellosidad/cripta, incrementándose 0.1 puntos por cada 1000 unidades de incremento de dosis, lo cual puede estar relacionado con una menor acción anti-nutricional de los fitatos y sus ésteres cuanto mayor es la acción de la fitasa sobre ellos. Así mismo, Cowieson *et al.*, (2014) afirma que la acción favorable del inositol como producto final, sobre el transporte de nutrientes y deposición proteica puede favorecer el crecimiento de las vellosidades.

No se presentó interacción ($p < 0.05$) entre los efectos principales de fitasa con los efectos principales de fibra y xilo-oligosacáridos en la morfometría intestinal.

Se ha promovido el uso de prebióticos, entre ellos se encuentran algunos en base a fibra dietaria, cuyo objetivo es mejorar la salud intestinal de las aves y promover un mejor rendimiento de estas. Al evaluar los efectos principales de los xilo-oligosacáridos sobre los parámetros productivos, en este estudio no se observaron diferencias ($p < 0.05$) en el peso corporal, consumo de alimento acumulado ni índice de conversión alimenticia. Estos resultados coinciden con Singh *et al.*, (2021) quienes encontraron que la adición de xilo-oligosacárido en 3 niveles (0, 50 y 100 gramos) no generó cambios en el peso corporal ni en el índice de conversión alimenticia a los 42 días de edad del pollo de engorde. En lo que no coinciden es en el seguimiento del microbioma intestinal para el cual observaron un incremento de diferentes comunidades microbianas, pero a pesar de ello, esto no se vio reflejado en el rendimiento productivo del pollo de engorda. Por otro lado, Brown *et al.*, (2017) encontraron que los niveles crecientes de XOS aumentan ($p < 0,05$) el consumo de alimento, lo que conduce a aumentos en el peso corporal del día 35 independientemente en los pollos de engorda. No se presentó interacción ($p < 0.05$) entre los efectos principales del xilo-oligosacárido y los efectos principales de fibra y fitasa en las variables analizadas.

Sobre el porcentaje de mortalidad acumulada, el xilo-oligosacárido (0 y 100 gramos) no influyó en la supervivencia de las aves. No se presentó interacción ($p < 0.05$) entre los efectos principales del xilo-oligosacárido y los efectos principales de fibra y fitasa en las variables analizadas.

Al evaluar el costo de producción de carne por concepto de alimento, no se presentó diferencia ($p < 0.05$) entre los tratamientos sin adición de XOS y el tratamiento donde se adicionaron los 100 gr del xilo-oligosacárido. Es probable que esto se deba, por un lado, a que la inclusión del

prebiótico no modifica las dietas nutricionalmente donde se pudiera ver un ahorro que beneficiara al costo de las dietas y zootécnicamente no se presentaron diferencias en el índice de conversión alimenticia o en el rendimiento en canal de los tratamientos, variables que pudieron haber impactado en el costo del kg de carne producido de cada uno de los tratamientos. No se presentó interacción ($p < 0.05$) entre los efectos principales del xilo-oligosacárido y los efectos principales de fibra y fitasa en la variable analizada.

Según López *et al.*, (2013), la velocidad del tránsito digestivo se ve afectada por la cantidad y calidad de fibra usada en la dieta, que afecta directamente los procesos de digestión en las aves, el uso xilo-oligosacáridos ayuda a disminuir la viscosidad ocasionada como factor anti-nutricional por algunos ingredientes debido su beneficio como prebiótico estimulando al microbioma para que fermenten principalmente fibra, mejoran así la función intestinal. El evaluar la variable de velocidad de paso del bolo alimenticio de este estudio no se encontró diferencia ($p < 0.05$) entre el tratamiento al cual se le administro el XOS y al cual no se le adiciono, lo que podría indicar que, para este trabajo, el prebiótico no influyo en la velocidad del tránsito digestivo de las aves tratadas. No se presentó interacción ($p < 0.05$) entre los efectos principales del xilo-oligosacárido y los efectos principales de fibra y fitasa en la variable analizada.

Como se ha mencionado anteriormente en esta discusión, en la producción de pollo de engorda es importante los niveles de pigmentación en piel, para lo cual la adición de los 100 gramos del xilo-oligosacárido no presento ningún efecto ($p < 0.05$) con respecto al tratamiento al cual no se adiciono el prebiótico. No se presentó interacción ($p < 0.05$) entre los efectos principales del xilo-oligosacárido y los efectos principales de fibra y fitasa en la variable analizada.

El evaluar el rendimiento en canal entre los dos niveles de XOS (0 vs 100 gramos) no se encontró diferencia ($p < 0.05$) en la variable estudiada. Esto puede deberse a que no se presentó diferencia en el peso corporal entre los dos tratamientos, lo cual no permitió hallar un rendimiento

en canal o por piezas estadísticamente diferente. No se presentó interacción ($p < 0.05$) entre los efectos principales del xilo-oligosacárido y los efectos principales de fibra y fitasa en la variable analizada.

Los xilo-oligosacáridos han sido empleados para estimular el microbioma intestinal. Este efecto ha permitido obtener vellosidades intestinales largas y criptas de Lieberkühn poco profundas que ayudan a aumentar la absorción de nutrientes al proporcionar una mayor área de superficie y menores tasas de proliferación y renovación de enterocitos, lo que resulta en una maduración más eficiente de células y producción de enzimas (Chacher *et al.*, 2017). Durante este estudio se encontró diferencia ($p < 0.05$) en la relación de la altura de la vellosidad y la profundidad de la cripta, conocida como índice, siendo mayor para el tratamiento con adición de 100 gramos de XOS, lo cual, según Valle *et al.*, (2015) indica una mayor área de absorción de nutrientes, lo que favorecería el rendimiento de las aves. Esta diferenciación morfológica debería al efecto prebiótico que pueden tener los XOS al estimular a las diferentes bacterias benéficas que conforman el microbioma intestinal para la producción de AGCC que favorecerían la diferenciación y proliferación celular en la mucosa intestinal (Fukunaga, *et al.*, 2003). Para los segmentos de yeyuno e íleon no se observaron diferencias ($p < 0.05$) en la morfometría intestinal.

CONCLUSIONES

La inclusión de un mayor nivel de fibra mediante la inclusión de ingredientes como canola y trigo tuvo un impacto positivo sobre el consumo de alimento acumulado e índice de conversión alimenticia a día 42 de vida del pollo de engorda, sin efectos sobre el peso corporal.

Se encontró que el mayor nivel de fibra tuvo un efecto sobre el tiempo de tránsito digestivo haciéndolo más lento a su paso por el tracto gastrointestinal en 8.55 minutos semanalmente.

La inclusión de dosis altas de fitasa permitió formular dietas más rentables que dosis convencionales sin afectar el rendimiento productivo de las aves, liberando 0.24% de fósforo y 0.26% de calcio en comparación con la dosis baja de fitasa que libero 0.15% de fósforo y 0.16% de calcio.

La inclusión de ingredientes alternativos como canola y trigo impactaron negativamente el costo de kilogramo de carne producido por concepto de alimento.

La interacción observada en el tratamiento de 2.5% de fibra con la adición de 500 FTU de Fitasa y 100 g de XOS disminuyo el consumo de alimento con relación al tratamiento sin la adición del XOS, posiblemente a una mejor digestibilidad de la fibra; este efecto se reflejó en el costo de producción en un 0.16%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, A., Cárdenas, M. (2006). 'Enzimas en la alimentación de las aves.
- Aftab, U., Bedford, M.R., (2018). *World's Poultry Science Journal*, 74 (2): 277-286
- Aguilar, V., J. Zea., M., O., Vílchez, P. C. (2018). 'Rendimiento Productivo e Integridad Ósea de Pollos de Carne en Respuesta a Suplementación Dietaria con Cuatro Fuentes de Fitasa Comercial', *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(1), pp. 169–179. doi: 10.15381/rivep.v29i1.14078.
- 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>
- Amorim, C., Silvério, S.C., Prather, K.L., Rodrigues, L.R. (2019). "From lignocellulosic residues to market: Production and commercial potential of xylooligosaccharides," *Biotechnol. Adv.*, vol. 37, no. 7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.05.003>.
- Angel, R. (2013). 'Velocidad de paso y pH intestinal en aves: Implicaciones para la digestión y el uso de enzimas', *XXIX Curso de Especialización FEDNA*, p. 14. Available at: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_aves/produccion_avicola/05-13CAP_VIIItrad.pdf
- Axe, D.E. (1993) *Macrominerals*. IMC-Agrico. Feed Ingredients Division, Mundelein. Illinois.
- Barletta, A. (2010). *Enzymes in Farm Animal Nutrition*, 2Nd Edition. (M. R. Bedford & G. G.Partridge, Eds.)
- Bharathidhasan, A., Chandrasekaran, D., y Natarajan, A. (2009). Effect on enzyme supplementation on carcass quality, intestinal viscosity and ileal digestibilities of broilers to nutrient reduced diet. *Tamilnadu J. Veterinary & Animal Sciences*, 5(6), 239-245.
- Bautil, A. (2020) 'Arabinoxylan-oligosaccharides kick-start arabinoxylan digestion in the aging broiler', *Poultry Science*, 99(5), pp. 2555–2565. doi: 10.1016/j.psj.2019.12.041.
- Bautil, A., Courtin, C.M., Gonzalez-Ortiz. (2019) *Fibres making up wheat cell walls in the context of broiler diets. The value of fibre – engaging the second brain for animal nutrition* Wageningen Academic Publishers, p 17-46 (2019)
- Bayer, R.C; Chawan, C.B; Bird, F.H; Musgrave, S.D. (1975). Características de la superficie de

- absorción del intestino delgado del pollo de 1 día a 14 semanas de edad. *Ciencia avícola*, 54 (1), 155-169.
- Bedford, M.R., Partridge, C. (2001) Enzyme in farm animal nutrition. Feed enzymes, the future: Bright hope or regulatory Minefield? 304-311.
- Bedford, M., Walk, C., (2016). Reduction of phytate to tetrakisphosphate to triphosphate, or perhaps even lower, does not remove its antinutritive properties. Phytate destruction consequences for precision animal nutrition. The Netherlands, Wageningen Academic Publishers.45-49.
- Bedford, M.R. (2018). The evolution and application of enzymes in the animal feed industry: The role of data interpretation. *Br. Poult. Sci.* 59, p. 486-493. <https://doi.org/10.1080/00071668.2018.1484074>
- Bedford, M.R. (1996) *Journal of Applied Poultry Research*. 5: 370-378.
- Bederska-Łojewska, D.; Swińtowski, S.; Arczewska-Włosek, A.; Schwarz, T.(2017). Rye non-starch polysaccharides: Their impact on poultry intestinal physiology, nutrients digestibility and performance indices—A review. *Ann. Anim. Sci.* 17, 351–369.
- Bjerrum, L., R. M. Engberg, T. D. Leser, B. B. Jensen, K. Finster, and K. Pedersen. (2006). Microbial community composition of the ileum and cecum of broiler chickens as revealed by molecular and cellular-based techniques. *Poult. Sci.* 85:1151–1164.
- Boling, S. D., Douglas, M. W., Johnson, M. L., Wang, X., Parsons, C. M., Koelkebeck, K. W., & Zimmerman, R. A. (2000). The effects of dietary available phosphorus levels and phytase on performance of young and older laying hens. *Poultry Science*, 79(2), 224–30. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10735751>
- Chacher, M.F.A., Kamran, Z., Ahsan, U. (2017). Uso de oligosacáridos de manano en dietas de pollos de engorde: una visión general de los mecanismos subyacentes. *Worlds Poult Sci J* 73, 831–844.
- Choct, M.; Annison, G. (1992). Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: Roles of viscosity and gut microflora. *Br. Poult. Sci.*, 33, 821–834.
- Choct, M. (2006) 'Enzymes for the feed industry: Past, present and future', *World's Poultry Science Journal*, 62(1), pp. 8–13. doi: 10.1079/WPS200480.
- Choct, M. (2015) 'Fibre - Chemistry and Functions in Poultry Nutrition', *LII Simposio Científico de Avicultura*, 28(30), pp. 113–119. Available at: https://www.wpsa-aeca.es/aeca_imgs_docs/16478_fibra_mingan.pdf.
- Chotinsky, D. (2015). The use of enzymes to improve utilization of nutrient in poultry diets. *Bulg.*

- J. Agric. Sci. 21, p. 429-435
- Chutkan, R.; Fahey, G.; Wright, W.L.; McRorie, J.(2012). Viscous versus nonviscous soluble fiber supplements: Mechanisms and evidence for fiber-specific health benefits. *J. Am. Acad. Nurse Pract.* 24, 476–487. [CrossRef] [PubMed]
- Claver, J. A. (2014). Aparato digestivo de las aves. Buenos Aires, Argentina: Áres Histología y Embriología, Disponible en: <https://goo.gl/N8o97S>
- Coelho, M.B. (1996). Ecological Nutrition: A Costly or Smart Move In: Phytase in Animal Nutrition 386 *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 40, No. 4, 2006. and waste management, a BASF Reference Manual Ed. by Michael B. Coelho and E.T Kornegay 41- 60. USA.
- Costa, T. (2008). Economic and environmental impact of using exogenous enzymes on poultry feeding. *Int. J. Poult. Sci.* 7, p. 311-314. <https://doi.org/10.3923/ijps.2008.311.314>
- Coudray, C., Demigné, C. y Rayssiguier, Y. (2003) Efectos de las fibras dietéticas sobre la absorción de magnesio en animales y humanos. *La Revista de Nutrición*, 133, 1-4. <https://doi.org/10.1093/jn/133.1.1>
- Cowieson, A., Bedford, M., York, T., Wyatt, C. (2013). Exploit Benefits From ‘Superdosing’ Phytase. Retrieved from http://mydigimag.rrd.com/article/Exploit_Benefits_From_%2525E2%252580%252598Superdosing%2525E2%252580%252599_Phytase/1295591/144166/article.html.
- Cowieson, A.J., Bedford, M.R., Ravindran, V. (2010). Interactions between xylanase and glucanase in maize-soy-based diets for broilers. *Brit Poult Sci* ;51(2): 246-257.
- Cowieson, A. J., Acamovic, T. y Bedford, M. R. (2006). ‘Phytic acid and phytase: Implications for protein utilization by poultry’, *Poultry Science*, 85(5), pp. 878–885. doi: 10.1093/ps/85.5.878
- Cowieson, A. J., Hruby, M., Pierson, E. E. M. (2006). Evolving enzyme technology: impact on commercial poultry nutrition. *Nutrition Research Reviews*. <http://doi.org/10.1079/NRR2006121>
- Cowieson, A. J. (2009) ‘Phytate and microbial phytase: Implications for endogenous nitrogen losses and nutrient availability’, *World’s Poultry Science Journal*, 65(3), pp. 401–418. doi: 10.1017/S0043933909000294.
- Cowieson, A. J. (2016) ‘Phytate-free nutrition: A new paradigm in monogastric animal production’, *Animal Feed Science and Technology*, 222, pp. 180–189. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.10.016.
- Cowieson, A.J., Aureli, R., Guggenbuhl, P., Fru-Nji, F. (2014). Fitasas y Myo-inositol, mejorando la eficiencia en la producción avícola. *Animal Production Science*, 1–14. Retrieved from

- <https://avicultura.info/fitasas-y-myo-inositol-mejorando-la-eficiencia-en-la-produccion-avicola/>
- Cowieson, A. J., Wilcock, P., Bedford, M. R. (2011) 'Super-dosing effects of phytase in poultry and other monogastrics', *World's Poultry Science Journal*, 67(2), pp. 225–235. doi: 10.1017/S0043933911000250.
- Cowieson, A., Masey-O'Neill, H., Bedford, M. (2013). Enzymes Beyond Phytase in Poultry Nutrition. *Poultry Research Foundation*, (2009), 1–11. Retrieved from <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>
- Cowieson, A.J., Aureli, R., Guggenbuhl, P., Fru-Nji, F. (2014). Possible involvement of myo-inositol in the physiological response of broilers to high doses of microbial phytase. *Animal Production Science* 55(6):710-719. doi: 10.1071/AN14044
- Cruz, J. (2010). Evaluación de la canal de pollos de engorda alimentados con dietas suplementadas con Fitasa.
- Cuca, G.M, Avila.G.E, Martinez. P.A. (2008). Alimentación de las aves.
- Da Silva Catalan, A., Krabbe, E. (2016). Enzimas: Fitase (superdose). *facta, Nutricao: matrizes e frangos. Campiñas.*
- Da Siva, A. K., E. Silveira., V. Lopez., L.Nunes., A. Zanella., M. Goncalves., E. (2016). Phytase-phosphorus and Phytase contents on relative weight of organs, intestinal morphometry and performance of Broilers. *Ciencia Rural*, 46(10),1858-1864. Doi:10.1590/0101-8478cr20150892.
- Delgado, M. J., Camargo, M. G. (2013) 'Universidad de Cuenca - tesis.pdf', *Articulo Ecuador*, 1(5), pp. 1–127
- Delgado, E., Orozco, Y. Uribe, P. (2013) 'Comportamiento productivo de pollos alimentados a base de harina de plátano considerando la relación beneficio costo Productive performance of chickens fed with plantain flour considering benefit cost', 31(4), pp. 279–290.
- Dersjant-Li Y, Awati A., Schulze H., Partridge G. (2015) Phytase in non-ruminant animal nutrition: A critical review on phytase activities in the gastrointestinal tract and influencing factors. *J Sci Food Agric.*;95(5):878–96.
- De Groote, G. (1990) En: *VI Curso de Especialización FEDNA*. Madrid. 45 pp.
- De Maesschalck, C. (2015) 'Effects of Xylo-oligosaccharides on broiler chicken performance and microbiota', *Applied and Environmental Microbiology*, 81(17), pp. 5880–5888. doi:

10.1128/AEM.01616-15.

- Dos Santos, T., Srinongkote, S., Bedford, M. R., Walk, C. L. (2013). Effect of high phytase inclusion rates on performance of broilers fed diets not severely limited in available phosphorus. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(2), 227–232. <http://doi.org/10.5713/ajas.2012.12445>
- Ejby M, Fredslund F., Vujicic-Zagar A. (2013). Structural basis for arabinoxylo-oligosaccharide capture by the probiotic *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis*. *Mol Microbiol* 90, 1100–1112.
- Freitas, H. B.; Nascimento, K. M., R. S.; Kiefer, C.; Gomes, G. A.; Santos, T. T.; Garcia, E. R. M.; Silva, T. R.; Paiva, L. L. y Berno, P. R. (2019). Graded levels of phytase on performance, bone mineralization and carcass traits of broiler fed reduced dicalcium phosphate. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 32:691-700. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0228>
- Gautier, A.E., Walk, C.L., Dilger, R.N. (2018). Efectos de un alto nivel de fitasa en el rendimiento de pollos de engorde, cenizas óseas, utilización de fósforo y desfosforilación de fitato a inositol. *Ciencia avícola*, 97 (1), 211–218. <https://doi.org/10.3382/ps/pex291>
- Gracia, M.I., Aranibar, M.J., Lázaro, R., Medel, P., Mateos, G.G. (2003) Amylase Supplementation of Broiler Diets Based on Corn. *Poult Sci.*;82(3):436–42.
- Graham, H., Aman, P., (1991). *Anim. Feed Sci. Technol.* 32: 143–158.
- Greiner, R., Konietzny, U. (2011). Phytases: Biochemistry, enzymology and characteristics relevant to animal feed use. *Enz.Farm.Anim.Nut.*96-128.
- Gibson, D.M., Ullah, A.B. (1990). Inositol metabolism in plants. Eds. D.J. Morre, W.F. Boss y F.A. Loewus. Wiley-Liss. New York. p. 77.
- Gibson, GR., y Roberfroid, M.B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *J Nutr* 125, 1401–1412.
- González G, Mirza W, Pirgozliev V, Bedford M. (2015). Efecto de la adición de xilanas y fitasa en pollos broiler alimentados con dietas en base a trigo. *LII Simp Científico Avic*;241–50.
- Gutzeit, C., Magri, G., y Cerutti, A. (2014). Producción intestinal de IgA y su papel en la interacción huésped-microbio. *Immunol Rev* 260, 76–85.
- Glitsoe, V., Ruckebusch, J.-P., Knap, I. (2015). Innovation in enzyme development.
- Hamdi, M., López-VergCrossed, D., Sign, S., Manzanilla, E.G., Barroeta, A.C., Pérez, J.F. (2015). Effect of different levels of calcium and phosphorus and their interaction on the

- performance of young broilers. *Poult Sci.*;94(9):2144–51.
- Herrera, J. M., Huberman, Y., Felipe, A. (2018). Facultad de Ciencias Veterinarias.
- Hetland, H., Svihus, B., Choct, M., (2005). Papel de la fibra insoluble en la actividad de la molleja en ponedoras. *Revista de Investigación Avícola Aplicada* , 14(1), pp.38-46.
- Hetland, H., Svihus, B. (2001). Efectos de la cáscara de avena sobre el rendimiento de la capacidad intestinal y el tiempo de paso del alimento en pollos de engorde. *Británico Poultry Sci.*, 42: 354-361.
- Holscher, H.D. (2017) La fibra dietética y los prebióticos y la microbiota gastrointestinal. *Microbios intestinales*, 8, 172-184 <https://doi.org/10.1080/19490976.2017.1290756>
- Howard, R.L., Abotsi, E., Van-Rensburg, E.L.J., Howard, S.(2003). Lignocellulose biotechnology: Issues of bioconversion and enzyme production. *African J Biotechnol*;2(12):702–33.
- Hu, H. L., Wise, A., Henderson, C. (1996) 'Hydrolysis of phytate and inositol tri-, tetra-, and penta-phosphates by the intestinal mucosa of the pig', *Nutrition Research*, 16(5), pp. 781–787. doi: 10.1016/0271-5317(96)00070-X.
- Humphrey, C., Turk, D. (1974) "The Ultrastructure of Normal Chick Intestinal Epithelium", *Poultry Science*, 53, pp. 990–1000.
- Ibuki, M., Fukui, K., Kanatani, H. (2014). Anti-inflammatory effects of mannanase-hydrolyzed copra meal in a porcine model of colitis. *J Vet Med Sci* 76, 645–651.
- Jaramillo, A. H. B. (2011). Evaluación de la mezcla de un prebiótico y un ácido orgánico en la salud intestinal y parámetros productivos de pollos de engorde.
- Jones, J.M. (2014) Las definiciones de fibra dietética alineadas con el Codex ayudan a cerrar la "brecha de fibra". *Revista Nutricional*, 13, Artículo No. 34 <https://doi.org/10.1186/1475-2891-13-34>
- Jha, R., Berrocoso, J.D. (2015) Utilización de fibra dietética y sus efectos sobre las funciones fisiológicas y la salud intestinal de los cerdos. *Animales*, 9, 1441-1452 <https://doi.org/10.1017/S1751731115000919>
- Junqueira, O., Ferreira, K., Assuena, V. (2011). Effect of phytase supplementation on performance, bone densitometry and carcass yield in broilers chicks. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 33(3).
- Kalantar, M. (2019) 'Effect of different cereal-based diets supplemented with multi-enzyme blend on growth performance villus structure and gene expression (SGLT1, GLUT2, PepT1 and MUC2) in the small intestine of broiler chickens', *Gene Reports*, 15(22), p. 100376. doi: 10.1016/j.genrep.2019.100376.

- Kebreab, E., Hansen, A. V., Leytem, A. B. (2013) 'Feed management practices to reduce manure phosphorus excretion in dairy cattle', *Advances in Animal Biosciences*, 4, pp. 37–41. doi: 10.1017/s2040470013000290.
- Kemme, P. A. (2006) *Phytate and phytases in pig nutrition*. PhD Thesis. Agricultural University of Wageningen, Países Bajos. Khattak, F. M., Pasha, T. N., Hayat, Z., Mahmud. Enzymes in poultry nutrition. *Journal of Animal and Plant Sciences*.
- Kiarie, E. (2016). «Phytase improved digestible protein, phosphorous, and energy contents in camelina expellers fed to growing pigs». *Journal of Animal Science*, 94(7), 215–218. doi: 10.2527/jas2015-9735
- Konietzny, U., Greiner, R. (2002) *International_Journal_of_Food_Science_&_Technology.pdf*’, *International Journal of Food Science and Technology*, 37, pp. 791–812.
- Kornegay, E.T. (1999). En: *Biotechnology in the feed industry*. Proc. Alltech’s 15th Annual.
- Kröber, T.S., Bartsch, M., Fiedler, D. (2022) Pharmacological tools to investigate inositol polyphosphate kinases – Enzymes of increasing therapeutic relevance, *Advances in Biological Regulation*, 83, (100836). <https://doi.org/10.1016/j.jbior.2021.100836>
- Kuru, N. (2010) “Macroanatomic investigations on the course and distribution of the celiac artery in domestic fowl (*Gallus gallus domesticus*)”, *Scientific Research and Essays*, 5(23), pp. 3585–3591. Disponible en: <http://www.academicjournals.org/SRE>.
- López, K. P; Schilling, M. W., Corzo, A. (2011). Broiler genetic strain and sex effects on meat characteristics. *Poultry Science*. 90: 1105-1111.
- Maenz, D. D., Classen, H. L. (1998) 'Phytase Activity in the Small Intestinal Brush Border Membrane of the Chicken', *Poultry Science*, 77(4), pp. 557–563. doi: 10.1093/ps/77.4.557.
- Mancera-Maldonado, P. Avila- Ramos, F. (2021). 'Efecto prebiótico de la fibra de nopal en dieta con dos niveles de EM sobre el rendimiento de la canal en pollos de engorda. pp. 2–5.
- Martíns de Oliveira, S. (2017). Inmovilización y certeza de endoxilanasas de trichoderma reesei. Producción de xilo-oligosacáridos por hidrolisis enzimática de xilano.
- Martinez Rojas, I. Y. (2013) *Evaluación del efecto de fitasa y ácido láctico en dieta a base de sorgo y pasta de harina de soya sobre la utilización de fósforo, calcio y zinc en la gallina de postura*.
- Mateos, G.G. (2012). *Journal of applied Poultry Research* 21: 156-174.
- Mendis, M., Martens, E.C., Simsek, S. (2018). How fine structural dif-ferences of

- xylooligosaccharides and arabinooligosaccharides regulate differential growth of Bacteroides species. *J Agric Food Chem* 66, 8398–8405.
- Mendes, A., Lordelo, M. y Bodin J. (2011), Xilanasas de origen bacteriano en dietas en base de maíz y torta de soja; evaluación de la eficacia sobre los rendimientos 56 zootécnicos de los pollos engorde, XLVIII simposio científico de avicultura, Santiago de Compostela, Portugal 5 al 7 de octubre de 2011. Ochoa, W. (2015), Importancia de las enzimas en la nutrición avícola [en línea], Actualidad pecuaria, 03 de marzo del 2015, consultado: 22 de mayo del 2023 <http://www.actualidadavipecuaria.com/articulos/importancia-de-enzimas-en-lanutricion-avicola.htm>
- Méndez Rojas, P. M. (2011) 'Uso Estratégico De Enzimas En Nutrición Animal', p. 15.
- Montagne, L., Pluske, J.R., Hampson, D.J. (2003). A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Feed Sci. Technol*, 108:95-117
- Montagne, L., Pluske, J.R., Hampson, D.J. (2003) Una revisión de las interacciones entre la fibra dietética y la mucosa intestinal, y sus consecuencias sobre la salud digestiva en animales jóvenes no rumiantes. *Ciencia y tecnología de alimentación animal*, 108, 95-117 [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00163-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00163-9)
- Moreno, M., Antonio, M., Aguirre Rojas, R. J. (2013). Comparación de dos tipos de formulación de alimento balanceado en la cría de patos línea cherryvalley. *Universidad, Ciencia y Sociedad*, 31.
- Nascimento, R. A. (2021) 'Nutritional cost reduction and increase profitability in commercial broiler production using phytase superdosing', *Revista Brasileira de Zootecnia*, 50, pp. 1–15. doi: 10.37496/rbz5020200031.
- Neira, A., Nava, E., Iliná, A., Álvarez, G., Gaona, J., Martínez, J. (2013). Aspectos fundamentales de las fitasas. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*.
- Nielsen, A.V.F., Nyffenegger, C., Meyer, A. S. (2015). Performance of microbial phytases for gastric inositol phosphate degradation. *J.Agric.Food.Chem.*63(3):943-950.
- Ordaz-Ortiz, J.J., Saulnier, L. (2005). *Journal of cereal Science* 42 119-125.
- Otieno, D.O., Ahring, B.K. (2012). "The potential for oligosaccharide production from the hemicellulose fraction of biomasses through pretreatment processes: Xylooligosaccharides (XOS), arabinooligosaccharides (AOS), and mannoooligosaccharides (MOS)," *Carbohydr. Res.*, vol. 360, pp. 84–92. doi:

- 10.1016/j.carres.2012.07.017.
- Patwardhan, V. N. (1937). The occurrence of a phytin-splitting enzyme in the intestines of albino rats. *Biochem. J.* 31:560–564.
- Pirgozliev, V., Bedford, M. R. (2012). Energy utilisation and growth performance of chicken fed diets containing graded levels of supplementary bacterial phytase. *British Journal of Nutrition*, 1–6. <http://doi.org/10.1017/S0007114512000943>
- Polizeli, M.L., Rizzatti, A.C., Monti, R., Terenzi, H.F., Jorge, J.A, Amorim, D.S.(2005) Xylanases from fungi: properties and industrial applications. *Appl Microbiol Biotechnol.*Jun;67(5):577-91. doi: 10.1007/s00253-005-1904-7. Epub 2005 Jan 27. PMID: 15944805.
- Ramírez R. J., Ayala, A. M. (2014) ‘Enzimas: ¿Qué son y cómo funcionan?’, *Revista Digital Universitaria Universidad Autonoma de Mexico*, 15(12), pp. 1–13. Available at: <http://www.revista.unam.mx/vol.15/num12/art91/#>.
- Ravindran, V. (2013). Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities. *Journal of Applied Poultry Research*, 22(3), 628–636. <http://doi.org/10.3382/japr.2013-00739>
- Ravindran, V., Bryden, W.L., y Kornegay, E.T. (1995) *Poultry Av. Biol. Rev.* 6: 125-143.
- Ravindran V, Cabahug S, Ravindran G, Bryden WL. (1999). Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers. *Poult Sci* [Internet]. 1999;78(5):699–706. Available from: <http://dx.doi.org/10.1093/ps/78.5.699>
- Ravindran, V., Selle, P., Ravindran, G., Morel, P., Bryden, W. (2001). Microbial phytase improves performance, apparent metabolizable energy, and ileal amino acid digestibility of broilers fed a lysine-deficient diet. *Poult.Sci.* 2001; 80(3): 338-344.
- Raza, A., Bashir, S., Tabassum, R. (2019). An update on carbohydrases growth performance and intestinal health of poultry. *Heliyon.* 65 (4):e01437 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01437>
- Rebollar, P. G, Mateos, G. G. (2005) ‘Materias Primas Y Mejora De La Disponibilidad’. Available at:[http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Fósforo en Alimentación Animal.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Fósforo_en_Alimentación_Animal.pdf).
- Ríos, A.S. (2009). *Respuesta productiva de pollos Broilers a la adición de complejos enzimáticos (Proteasas, Xilanasas, Celulasas, Amilasas, Galactosidasa) y (Beta Glucanasas, Xilanasas, Pectinasas, Hemicelulasas) en dietas basadas en maíz y harina de soya.*
- Röhe, I., Metzger, F., Vahjen, W., Brockmann, G. A., Zentek, J. (2020) Efecto de la alimentación con diferentes niveles de lignocelulosa sobre el rendimiento, la digestibilidad de los nutrientes, la materia seca de los excrementos y la microbiota intestinal en pollos de

- engorde de crecimiento lento . Ciencia avícola, 99, 5018-5026
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.053>
- Rogel, A.M., Balnave, D., Bryden, W.L., Annison, E.F. (1987). Improvement of raw potato starch digestion in chickens by feeding oat hulls and other fibrous feedstuffs. *Aust J Agric Res* ;38(3):629–37.
- Rosen, G. D., Bedford, M. R., Partridge, G. G. (2010). Holo-analysis of the efficacy of exogenous enzyme performance in farm animal nutrition. In *Enzymes in farm animal nutrition*. Londres: CAB International. 273–303)..
- Ruiz, B. (2011). Puntos clave de las enzimas en la avicultura. Retrieved January 1, 2016, from <http://www.wattagnet.com/articles/10236-puntos-clave-de-las-enzimas-en-la-avicultura>.
- Sarikhan, M., Shahryar, H.A., Gholizadeh, B., Hosseinzadeh, M.H., Beheshti, B. and Mahmoodnejad, A. (2010) Effects of Insoluble Fiber on Growth Performance, Carcass Traits and Ileum Morphological Parameters on Broiler Chick Males. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12, 531-536)
- Sauveur, B. (1989) *INRA Produccion Animal*. 2: 343-351.
- Sacranie, A., Svihus, B., Denstadli, V., Moen, B., Iji, P.A., Choct, M. (2012) “The effect of insoluble fiber and intermittent feeding on gizzard development, gut motility, and performance of broiler chickens,” *Poult. Sci.*, vol. 91, no. 3, pp. 693–700, doi: 10.3382/ps.2011-01790.
- Selle, P., Cowieson, A.J., Cowieson, N.P., Ravindran, V. (2009). Consecuencias of calcium interactions with phytate and phytase for poultry and pigs. *Livestock.Sic.*124(1):126-141.
- Selle, P., Cowieson, A.J., Cowieson, N.P., Ravindran, V. (2012). Protein-phytate interactions in pig and poultry nutrition: a reappraisal. *Nutr.Res.Rev.*2012;25 (01):1-17.
- Selle, P. H., Moss, A. F., Truong, H. H., Yun, S. (2015). Dietary phytate and exogenous phytase: An expanding comprehension. In *Arkansas Nutrition Conference 2015*. Arkansas: University of Arkansas. Retrieved from <http://www.thepoultryfederation.com>
- Selle, P. H., Ravindran, V. (2007). Microbial phytase in poultry nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 135(1–2), 1–41. <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.06.010>
- Shastak Y, Ader P, Feuerstein D. (2015) -Mannan y man-nanase en la nutrición avícola. *Worlds Poult Sci J* 71, 161–174.
- Svihus, B. (2011). *Poult. Sci.* 68: 185-189.
- Silva, S.S.P. y Smithard, R.R. (1997). Digestión of protein, fat and energy in rye-based broiler diets is improved by the addition of exogenous xylanase and protease. *British Poultry*

- Science 38: S 38- S 39.
- Singh, A., Masey, H.V., Ghosh, T.K., Bedford, M.R., Haldar, S. (2012) Effects of xylanase supplementation on performance, total volatile fatty acids and selected bacterial population in caeca, metabolic indices and peptide YY concentrations in serum of broiler chickens fed energy restricted maize-soybean based diets. *Animal Feed Science and Technology* 177: 194-203.
- Singh, A.K., Mishra, B., Bedford, M.R., Jha, R. (2021). Efectos de la xilanasas y los xilooligosacáridos suplementarios sobre el rendimiento productivo y las variables de salud intestinal de los pollos de engorde. *Revista de Ciencia Animal y Biotecnología*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00617-8>
- Singh, A.K., Kim, W.K. (2021) Effects of Dietary Fiber on Nutrients Utilization and Gut Health of Poultry: A Review of Challenges and Opportunities. *Animals*, 11, Article No. 181. <https://doi.org/10.3390/ani11010181>
- StatSoft, Inc. (2011). STATISTICA (data analysis software system), version 10. www.statsoft.com.
- Sticklen, M. (2006). Plant genetic engineering to improve biomass characteristics for 97 biofuels. *Current Opinion in Biotechnology*. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2006.05.003>
- Tang, S., Sieo, C., Ramasamy, K., Saad, W., Wong, H., Ho, Y. (2017). Performance, biochemical and haematological responses, and relative organ weights of laying hens fed diets supplemented with prebiotic, probiotic and synbiotic. *BMC Veterinary research*. 13 (1): 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1160>
- Tellez, G., Higgins, SE, Donoghue, AM y Hargis, BM (2006) Fisiología digestiva y el papel de los microorganismos. *Revista de investigación avícola aplicada*, 15, 136-144 <https://doi.org/10.1093/japr/15.1.136>
- Travería, L. M. (2020) 'Facilitar la absorción de fósforo en animales monogástricos' Symposium. Ed. T.P. Lyons y K.A. Jacques. Nottingham University Press. Reino Unido. pp: 461-490.
- Topping, D.L., Clifton, M.P., (2001). Short chain fatty acids and human colonic functions: Roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. *Physiol. Rev.*, 81: 1031-1064.
- Trudy Mckee, J. R. M. (2013). *Bioquímica. Journal of Chemical Information and Modeling*. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Truong, H., Yu, S., Peron, A., Cadogan, D., Khoddami, A., Roberts, T. (2014). Phytase supplementation of maize, sorghum and wheat-based broiler diets with identified starch pasting properties influences phytate (IP6) and sodium jejunal and ileal digestibility. *Anim.Feed.Sci.Tech.* 1998:248-256.

- Vaintraub, I.A., Bulmaga, V.P. (1991). Effect of phytate on the in vitro activity of digestive proteinases. *J. Agri. Food. Chem.* 39(5):859-861.
- Valencia, T.Y, Cuca, G.M., Martinez, P.A., Becerril, P.C., Figueroa, V.J., Tovar, G.M. (2007). 'Niveles de fósforo disponible aparente en pollas Leghorn blanca durante las etapas de iniciación, crecimiento, desarrollo e inicio de postura Apparent available phosphorus levels for Leghorn White pullets during starter, growing, and development stage', 45(2), pp. 161–175.
- Van Der Wielen, P. W., S. Biesterveld, S. Notermans, H. Hofstra, B. A. P. Urlings, and F. van Knapen. (2000). Role of volatile fatty acids in development of the cecal microflora in broiler chickens during growth. *Appl. Environ. Microbiol.* 66:2536–2540.
- Vandeplass, S., Bodin, J. C. (2012) 'Acción de una xilanasa producida por bacillus subtilis. Efectos sobre la flora intestinal y el estado sanitario en las aves.', *En: Selecciones avícolas. Noviembre*, 54(11), pp. 19–22.
- Vásquez, A.M. (2013). *Producción de xilanasas por aspergillus sp: en fermentación sumergida y fermentación en medio sólido* (Tesis de maestría, Universidad Iberoamericana Ciudad de México. Departamento de Ingeniería y Ciencias Químicas).
- Vilches, C., Otavio Sorbara, J. (2014). Importancia de las Enzimas en la Nutrición Avícola. Retrieved August 19, 2022, from <http://www.actualidadavipecuaria.com/articulos/importancia-de-las-enzimas-en-la-nutricion-avicola.html>
- Waldroup, P.W., Kersey, J.H., Saleh, E.A., Fritts, C.A., Yang, F., Stilborn, H.L., Crum, R.C., Raboy, V. (2000). Non phytate phosphorous requirement and phosphorous excretion of broilers chicks fed diets composed of normal or high available phosphorous corn with and without microbial phytase. *Poult Sci* 78:1451
- Walk, C. L., Bedford, M. R., Olukosi, O. A. (2018). Effect of phytase on growth performance, phytate degradation and gene expression of myo-inositol transporters in the small intestine, liver and kidney of 21 day old broilers. *Poultry Science*. <http://doi.org/10.3382/ps/pex392>
- Walters, H.G., Coelho, M., Coufal, C.D., Lee, J.T. (2019). Efectos del aumento de los niveles de inclusión de fitasa en el rendimiento de los pollos de engorde, la digestibilidad de los nutrientes y la mineralización ósea en dietas bajas en fósforo. *Revista de Investigación Avícola Aplicada*, 28 (4), 1210–1225. <https://doi.org/10.3382/japr/pfz087>

ANEXOS

Anexo 1. Valores de matriz para fitasa a diferentes tasas de inclusión en la dieta de pollos de engorde

NUTRIENTES %	500 FTU/ Kg	2000 FTU/ Kg
Fósforo Disponible	0.150	0.240
Calcio	0.165	0.264
Sodio	0.035	0.056
Lisina	0.017	0.027
Metionina	0.004	0.006
Cisteína	0.035	0.056
Metionina + Cisteína	0.039	0.062
Treonina	0.033	0.053
Triptófano	0.019	0.030
Glicina + Serina	0.057	0.091
Arginina	0.013	0.021
Valina	0.023	0.037
Isoleucina	0.026	0.042
Proteína Cruda	0.421	0.674
Energía Metabolizable (kcal/kg)	52	83

Análisis realizados por Ab Vista company

Anexo 2. Alimentos determinados por NIRS

PARÁMETRO (%)	HARINA DE SOYA	CANOLA	MAÍZ	TRIGO
Humedad	12.78	12.47	13.36	13.98
Proteína	49.54	37.38	8.16	11.39
Almidón	5.31	5.24	63.57	57.53
Grasa (Hidrolisis ácida)	2.24	3.11	4.27	2.52
Fibra	3.88	12.61	2.03	2.36
Cenizas	6.68	6.31	1.18	1.50

Análisis realizados por Ab Vista company

Anexo 3. Determinación de aminoácidos totales y digestibles de los macro ingredientes empleados en la fabricación del alimento por NIRS

PARÁMETRO (%)	HARINA DE SOYA	CANOLA	MAÍZ	TRIGO
Lisina Total	2.975	1.966	0.266	0.321
Metionina Total	0.666	0.727	0.181	0.170
Cisteína Total	0.679	0.887	0.187	0.248
Metionina + Cisteína Total	1.355	1.627	0.374	0.416
Treonina Total	1.881	1.567	0.303	0.314
Triptófano Total	0.647	0.497	0.066	0.135
Arginina Total	3.493	2.201	0.413	0.544
Leucina Total	3.640	2.535	1.006	0.694
Isoleucina Total	2.180	1.441	0.293	0.353
Histidina Total	1.240	0.962	0.238	0.246
Valina Total	2.224	1.822	0.395	0.459
Lisina Dig	2.633	1.553	0.239	0.260
Metionina Dig	0.601	0.642	0.170	0.151
Cisteína Dig	0.515	0.673	0.157	0.206
Treonina Dig	1.571	1.153	0.250	0.256
Triptófano Dig	0.579	0.398	0.056	0.114
Arginina Dig	3.171	1.898	0.381	0.447
Leucina Dig	3.186	2.053	0.963	0.616
Isoleucina Dig	1.909	1.132	0.279	0.311
Histidina Dig	1.085	0.799	0.216	0.204
Valina Dig	1.926	1.418	0.352	0.396

Análisis realizados por Ab Vista company

Anexo 4. Determinación de las fracciones de fibra de los macro ingredientes empleados en la fabricación de alimento por NIRS

PARÁMETRO (%)	HARINA DE SOYA	CANOLA	MAÍZ	TRIGO
Polisacáridos no amiláceos Totales	14.24	19.19	6.17	9.23
Polisacáridos no amiláceos Insolubles	10.17	15.36	5.75	7.35
Polisacáridos no amiláceos Solubles	4.07	3.84	0.43	1.89
Arabinosilanos Totales	3.11	6.04	3.74	5.83
Arabinosilanos Insolubles	2.15	4.35	3.45	4.67
Arabinosilanos Solubles	0.95	1.69	0.28	1.16
Betaglucanos Totales	3.94	6.82	1.60	2.71

Betaglucanos Insolubles	3.68	6.77	1.65	2.20
Betaglucanos Solubles	0.26	0.05	0.05	0.51
Otras fibras totales	7.19	6.33	0.84	0.69
Fibra neutro detergente	7.38	25.73	9.45	14.82
Fibra ácido detergente	6.66	19.42	2.87	4.98
Obtención de energía por xilanasa (kcal/kg)	NDS*	NSD*	58.37	122.20

Análisis realizados por Ab Vista company, *NDS no se determino