



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

EVALUACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD, RESPUESTA
PRODUCTIVA, CARACTERÍSTICAS DE CANAL Y CALIDAD DE
CARNE DE CONEJOS EN ETAPA DE CRECIMIENTO-
FINALIZACIÓN, ALIMENTADOS CON DIETAS ADICIONADAS CON
LA ENZIMA XILANASA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTORA EN CIENCIAS
AGROPECURIAS Y RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A

JOHANA PAOLA GALEANO DIAZ



El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México; Abril de 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

**EVALUACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD, RESPUESTA PRODUCTIVA,
CARACTERÍSTICAS DE CANAL Y CALIDAD DE CARNE DE
CONEJOS EN ETAPA DE CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN,
ALIMENTADOS CON DIETAS ADICIONADAS CON LA ENZIMA
XILANASA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTORA EN CIENCIAS
AGROPECURIAS Y RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A

JOHANA PAOLA GALEANO DIAZ

DIRECTOR DE TESIS

Dr. JUAN EDREI SANCHEZ TORRES

CO-DIRECTOR DE TESIS

Dr. IGNACIO ARTURO DOMINGUEZ VARA

TUTOR

Dr. ERNESTO MORALES ALMARAZ



El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México; Abril de 2024

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), por el apoyo para la realización de los estudios de Doctorado en la Universidad Autónoma del Estado de México.

RESUMEN

En conejos no existe suficientes reportes científicos que justifiquen la adición de enzimas establecidas para algunos ingredientes. La enzima xilanasa como aditivo en la dieta para conejos que contengan triticale tiene como finalidad hidrolizar los enlaces de arabinosilanos y así influir positivamente en la productividad de la producción cunícola y en el aspecto histológico e histoquímico. El objetivo fue evaluar la adición de la xilanasa sobre el comportamiento productivo, respuesta productiva, características de la canal, calidad de carne y aspectos histológicos e histoquímicos del intestino delgado y apéndice cecal de conejos alimentados con dietas a base triticale. Se utilizaron 120 conejos distribuidos al azar a uno de los cuatro tratamientos diferenciándolos de la inclusión de la xilanasa (0, 4000, 8000 y 12000 XU/kg, respectivamente), se suministró por 35 días el alimento y agua ad libitum; y se recogió la excreción fecal en los días 7, 14, 21, 28 y 35 del periodo experimental, se realizó el pesaje de los animales semanalmente y finalizado el periodo experimental, se procedió a la matanza de los conejos, posterior a la matanza se midieron las características de la canal y la calidad de la carne, y se tomaron muestras del intestino delgado y apéndice cecal; las cuales fueron fijadas en formol al 10% durante 48 h, posteriormente fueron teñidas mediante la técnica estándar de Hematoxilina-Eosina (HE) para evaluación histológica y Azul Alcian (PAS), para contar el número de células caliciformes. La información fue analizada bajo un diseño experimental completamente al azar, donde los datos recabados fueron procesados con un análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM del SAS (2002), la comparación de medias se realizó por prueba de Tukey. Se observó un mayor ($P < 0,05$) peso vivo en los conejos alimentados con dietas con adición de enzima xilanasa en los días 4 y 7 del periodo experimental. Por otro lado, en la digestibilidad media total del tracto de la materia orgánica no se observaron diferencias significativas ($P > 0,05$), similar a lo ocurrido en las características de la canal y la calidad nutricional de la carne ($P > 0,05$). La inclusión de 8000 XU/kg de enzima xilanasa proporcionó los mejores valores de digestibilidad aparente de la proteína total del tracto y de la materia seca en la fase final de los conejos. Con respecto a los análisis histológicos se observó que la adición de la enzima xilanasa incremento la altura de las vellosidades del duodeno, yeyuno e íleon y aumento el alto del domo del apéndice cecal; y la proyección de polisacáridos ácidos, fueron mayores en el conteo de mucocitos epiteliales de los conejos alimentados con el 0 y 4000 XU/Kg de la enzima xilanasa.

SUMMARY

In rabbits there are not enough scientific reports that justify the addition of enzymes established for some ingredients, for this reason, the enzyme xylanase as an additive in the diet for rabbits containing triticale has the purpose of positively influencing the productivity of rabbit production and the histological and histochemical aspects. The objective was to evaluate the addition of xylanase on the productive behavior, productive response, carcass characteristics, meat quality and histological and histochemical aspects of the small intestine and cecal appendix of rabbits fed triticale-based diets. One hundred and twenty rabbits were randomly assigned to one of four treatments differentiated by xylanase inclusion (0, 4000, 8000 and 12000 XU/kg, respectively), fed for 35 days with feed and water *ad libitum*; and fecal excretion was collected on days 7, 14, 21, 21, 28 and 35 of the experimental period, the animals were weighed weekly and at the end of the experimental period, the rabbits were slaughtered, the characteristics of the carcass and the quality of the meat were measured, and samples were taken immediately after slaughter from the small intestine and cecal appendix; These were fixed in 10% formalin for 48 h, then stained using the standard Hematoxylin-Eosin (HE) technique for histological evaluation and Alcian Blue (PAS) to count the number of goblet cells. The information was analyzed under a completely randomized experimental design, where the data collected were processed with an analysis of variance using the GLM procedure of SAS (2002), the comparison of means was performed by Tukey's test. A higher ($P < 0.05$) live weight was observed in rabbits fed diets with added xylanase enzyme on days 4 and 7 of the experimental period. On the other hand, no significant differences ($P > 0.05$) were observed in the mean total tract digestibility of organic matter, similar to what occurred in carcass characteristics and meat nutritional quality ($P > 0.05$). The inclusion of 8000 XU/kg of xylanase enzyme provided the best values of apparent digestibility of total tract protein and dry matter in the final phase of the rabbits. With respect to histologicals, it was observed that the addition of xylanase enzyme increased the height of the villi of the duodenum, jejunum and ileum and increased the height of the dome of the cecal appendix; and the projection of acid polysaccharides, were higher in the epithelial mucocyte count of the rabbits fed with 0 and 4000 XU/kg of xylanase enzyme.

CONTENIDO

INDICE DE CUADROS	VII
-------------------------	-----

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

INDICE DE FIGURAS	VIII
INDICE DE GRAFICA	X
I. Introducción	1
II. Revisión de literatura	2
2.1 Fisiología del tubo digestivo del conejo.....	2
2.2 Alimentación en conejos	11
2.2.1 Requerimientos nutricionales	13
2.2.2 Principales ingredientes utilizados en la alimentación de conejos.....	16
2.2.3 Alternativas de ingredientes en la alimentación del conejo	17
2.2.3.1 Triticale	17
2.3 Factores antinutricionales	19
2.3.1 Ejemplos de factores antinutricionales	20
2.3.2 Arabinosilanos.....	22
2.4. Digestibilidad.....	25
2.4.1 Digestibilidad aparente	26
2.4.2 Digestibilidad real o verdadera.....	26
2.4.3 Métodos para medir la digestibilidad.....	27
2.4.3.1 Uso de marcadores.....	27
2.4.3.1.1 Marcadores internos	27
2.4.3.1.2 Marcadores externos	28
2.5 Aditivos usados en la alimentación animal.....	29
2.6 Enzimas	30
2.6.1 Modo de acción.....	34
2.6.2 Xilanasa	35
2.6.3 Utilización y beneficio del uso de las enzimas en la alimentación animal .	39
2.6.4. Actividad enzimática en conejos	40
III. Justificación	42
IV. Hipótesis	44
V. Objetivos.....	45
5.1 Objetivo general.....	45
5.2 Objetivos específicos	45
VI. Material y Métodos.....	46

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

6.1	Animales e instalaciones.....	46
6.2	Tratamientos y diseño experimental	46
6.3	Recolección muestra.....	48
6.4	Análisis histológicos e histoquímico	48
6.5	Determinación de digestibilidad	49
6.6	Parámetros a evaluar	50
6.6.1	Análisis químico-proximales	50
6.6.2	Comportamiento productivo.....	50
6.6.3	Determinación de pH en estomago e intestino delgado	52
6.6.4	Peso vivo al sacrificio, peso canal caliente, peso canal fría y rendimiento canal	52
6.6.5	Mediciones morfométricas.....	52
6.6.6	Composición química de la carne.....	53
6.6.7	Mediciones instrumentales	53
6.3.7.1	pH	53
6.3.7.2	Color	53
6.3.7.3	Pérdida de agua por cocción	54
6.3.7.4	Fuerza de corte.....	54
6.7	Análisis estadísticos	54
VII.	Límite de espacio	56
VIII.	Resultados y discusión.....	57
8.1	Comportamiento productivo	57
8.2	Digestibilidad.....	60
8.3	pH	62
8.4	Características de la canal.....	62
8.5	Histológico	63
8.6	Histoquímico	66
VIII.	Conclusiones.....	80
IX.	Literatura citada	81
X.	Anexos:.....	92
Anexo 1.	Artículo aceptado	93
Anexo 2.	Artículo enviado.....	95

Anexo 3. Constancias y memorias en participación de congresos..... 98

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Digestión de los principios nutritivos. 6

Cuadro 2. Contenido cecal, heces blandas y duras.	11
Cuadro 3. Requerimientos nutricionales.....	14
Cuadro 4. Ingredientes utilizados en la alimentación de los conejos.....	16
Cuadro 5. Composición química del Triticale.	18
Cuadro 6. Clasificación de los factores antinutricionales.....	19
Cuadro 7. Tipo de enzimas alimentarias, sustrato y materia prima.	32
Cuadro 8. Clasificación internacional de las enzimas.....	33
Cuadro 9. Composición de ingredientes de la dieta experimental y la composición nutricional calculada.....	47
Cuadro 10. Comportamiento productivo en conejos en etapa de crecimiento-finalización alimentados con dietas adicionadas con xilanasa.	69
Cuadro 11. Índices promedio de digestibilidad de conejos en etapa de crecimiento-finalización alimentados con dietas adicionadas con xilanasa.....	71
Cuadro 12. Valores medios de pH medidos en estómago, intestino delgado y ciego de conejos en etapa de crecimiento-finalización alimentados con dietas adicionadas con xilanasa.	73
Cuadro 13. Características de la canal, calidad y composición química de la carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización alimentados con dietas adicionadas con xilanasa.	73
Cuadro 14. Medición morfométrica de los cortes de las vellosidades intestinales de conejos alimentados con dietas adicionadas con xilanasa.	74
Cuadro 15. Medición morfométrica del área del domo del apéndice cecal de conejos alimentados con dietas adicionadas con xilanasa.	77
Cuadro 16. Conteo de células caliciformes presentes en las vellosidades intestinales del intestino delgado y apéndice cecal de conejos alimentados con dietas adicionadas con xilanasa.....	78

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema digestivo del conejo.	9
---	---

Figura 2. Posición de arabinosas en arabinosilanos.	23
Figura 3. Estructura química general de los arabinosilanos.	24
Figura 4. Actividad exo- y endo- de las enzimas de tipo xilanasa.	37
Figura 5. Ruta de las pentosas-fosfato y glucolisis.....	39
Figura 6. Imágenes histológicas de las vellosidades intestinales del duodeno de conejos Nueva Zelanda X California a los 70 días de edad (10x). a) Tratamiento control, b) tratamiento con 4000 XU/kg, c) tratamiento con 8000 XU/kg, d) tratamiento con 12000 XU/kg.	77
Figura 7. Imágenes histológicas del apéndice cecal de conejos Nueva Zelanda por California a los 70 días de edad (10x). a) Tratamiento control, b) tratamiento con 4000 XU/kg, c) tratamiento con 8000 XU/kg, d) tratamiento con 12000 XU/kg. La estructura piramidal.	78
Figura 8. Imágenes histoquímicas de la vellosidad intestinal (a) y apéndice cecal (b) de conejos nueva Zelanda por california a los 70 días de edad. Conteo de los gránulos de los mucocitos epiteliales de color azul.	79

Solamente hacer índice de figuras

INDICE DE GRAFICAS

Figura 9.

Grafica 1. Aumento de peso vivo de conejos en etapa de crecimiento-finalización alimentados con dietas adicionadas con Xilanas. 71

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

I. Introducción

La cunicultura se destaca por ser una alternativa para producir proteína animal a bajo costo y de alto valor nutricional. Debido a su alta eficiencia reproductiva; se caracteriza por ser una especie prolífica, con periodos cortos en sus ciclos reproductivos y un periodo de crecimiento y engorda de 40 días, siendo su principal característica la producción de carne (Palma y Hurtado, 2009). Actualmente la investigación en el sector cunícola está interesada en el desarrollo de estrategias de alimentación para ser más eficientes en el aprovechamiento de los nutrientes de los alimentos, y así aumentar aún más el valor nutricional de la carne. En los conejos, durante el periodo de destete, aun no logran que su tubo digestivo este bien desarrollado, por lo cual, tienen una capacidad enzimática digestiva limitada. En otras especies, como los cerdos y las aves, se adicionan enzimas exógenas para mejorar el comportamiento productivo, la calidad nutricional de la carne, y a la vez, satisfacer las necesidades de los consumidores (Ravidran, 2010). La principal razón para adicionar enzimas en la alimentación animal es la utilización eficiente de los nutrientes que contienen los ingredientes que se ofrecen a los animales, logrando maximizar el comportamiento productivo y reduciendo el periodo de tiempo de engorda. Las enzimas son altamente específicas y se deben cumplir ciertos requisitos para utilizarlas en la alimentación animal; Díaz Rojas (2004), recomienda tener en cuenta dos aspectos primordiales para la adición de enzimas en las dietas de especies pecuarias: a) considerar la resistencia al paso por el ambiente ácido del estómago, y b) tolerar altas temperaturas si el alimento es sometido a un proceso térmico. En conejos, no hay suficientes reportes científicos que justifiquen la adición de enzimas establecidas para algunos ingredientes, por tal motivo, la enzima xilanas usada como aditivo en la dieta para conejos con inclusión de triticale puede mejorar la disponibilidad y absorción de los nutrientes de las materias primas suministradas en la alimentación, reducir costos e incrementar los parámetros productivos.

II. Revisión de literatura

2.1 Fisiología del tubo digestivo del conejo

Las características del tubo digestivo que poseen los animales, es el principal factor que influye sobre las necesidades nutritivas y los tipos de alimentos que pueden suministrarse en las producciones, clasificando a los animales con respecto a su comportamiento alimentario y a la fisiología del tracto digestivo. El conejo ha desarrollado un tracto digestivo con adaptaciones anatómicas que alberga una población microbiana simbiótica de bacterias y protozoos; esta relación simbiótica sólida entre el conejo y la población bacteriana que coloniza en el ciego permite que el hospedador aproveche la capacidad de los microorganismos de degradar la celulosa, hemicelulosa y las pectinas de los sustratos fibrosos para utilizar sus productos de fermentación como nutrientes (Fondevila *et al.*, 2003).

No encontré donde indicas la información de los Cuadros 1 y 2.

Cuadros y Figuras en el texto van con mayúsculas.

El tubo digestivo está formado por: Boca, esófago, estómago, intestino delgado (duodeno, yeyuno e ilion), ciego (válvula íleo-cecal o saco redondo, cuerpo y apéndice), intestino grueso (colon proximal, colon distal y recto) y el ano. Y las glándulas anexas tales como las salivales, el hígado y el páncreas (González 2006).

Los procesos digestivos inician en el momento que se ingieren los alimentos, la digestión bucal es la primera fase del proceso digestivo y comprende un total de cuatro procesos: aprehensión del alimento, masticación, insalivación y deglución. La aprehensión corresponde al reconocimiento previo de los alimentos y a su respectiva captación del alimento; en la masticación se ejerce movimientos horizontales y verticales de la mandíbula inferior proceso en el que se reduce el tamaño de las partículas, la excepción en esta fase corresponde a los cecotrofos,

que son consumidos enteros, permaneciendo intactos en el estómago durante varias horas. En la siguiente fase que es la salivación facilita la deglución, en este proceso se lubrica el bolo alimenticio, desinfecta mediante la acción de las enzimas antimicrobiana lisozima e inicia la digestión de almidón, azúcares y grasas; en esta cavidad oral se conserva húmeda la mucosa bucal y facilita la masticación y deglución con ayuda de la mucina para paso de alimentos (Gonzalez, 2006).

El esófago es el órgano que comunica a la faringe con el estómago, tiene tres capas de musculo estriado y la mayor parte está cubierta por glándulas secretoras de moco que lubrican el bolo alimenticio permitiendo el paso hacia el estómago, los movimientos peristálticos son los causantes del paso del bolo alimenticio por el esófago, cerca de la unión gastroesofágica el moco protege la mucosa de los jugos gástricos que refluyen del estómago (Litterio y Aguilar, 2017).

El estómago es el órgano encargado de almacenar e iniciar el desdoblamiento de nutrientes y hacia el intestino delgado. En el estómago del conejo se distingue dos zonas (fúndica y pilórica), en la zona fúndica el pH es más elevado (3-5) y en ella permanecen los cecotrofos durante varias horas (6-8 horas) después de ser ingeridos y en la zona pilórica el pH es ácido (1-2) (Litterio y Aguilar, 2017), incluso en animales destetados precozmente, lo que asegura la desnaturalización de las proteínas y una barrera séptica frente a la contaminación microbiana por vía oral; los conejos recién destetados se caracterizan por ser muy susceptibles a las enfermedades gastrointestinales y una de las principales razones es que el pH del estómago no es lo suficientemente bajo. Amorós (2002), documenta que los gazapos que están en lactación, el pH del estómago es más alto entre 5 y 6.5 y después del destete desciende para asentarse entre 1 y 3.

Las secreciones del estómago están a cargo de las células especializadas de su pared, denominado mucosa gástrica. Se diferencia en dos grandes áreas, la mucosa oxintica, que recubre la zona fundica y el área de glándulas pilóricas; la

mucosa se caracteriza por presentar múltiples pliegues donde en su interior se encuentran las criptas gástricas (invaginaciones profundas del epitelio estomacal). (Pérez, 2019). Las glándulas gástricas están formadas por células secretoras, existiendo en el estómago tres tipos de células secretoras exocrinas en las paredes de las criptas de la mucosa oxintica: Las células mucosas: quienes recubren las criptas gástricas y la entrada a las glándulas; las células principales y las parietales que recubren las zonas más profundas de las glándulas gástricas; las células más numerosas son las células principales y secretan pepsinógeno y lipasa gástrica; y el tercer tipo de células secretoras exocrinas son las células parietales o también conocidas como oxínticas y estas secretan ácido clorhídrico (Pérez, 2019). Todas estas secreciones se evacuan a la luz estomacal y se denominan jugos gástricos. El ácido clorhídrico cumple las siguientes funciones, lo primero es que activa el pepsinógeno, convirtiéndolo en la enzima pepsina; segundo, desnaturaliza las proteínas del alimento modificando la estructura terciaria ocasionando que los enlaces peptídicos sean más accesibles a la acción digestiva, y la tercera función es que elimina la mayor parte de los microorganismos que han sobrevivido a la acción de la lisozima salival (Pérez, 2019).

El estómago actúa como órgano de almacenamiento que regula el paso de los alimentos al intestino delgado, el intestino delgado tiene una longitud aproximadamente de 3 metros en un animal adulto, y en él se vierten diferentes secreciones digestivas (pancreática, biliar e intestinal), el tránsito digestivo es muy rápido de 2 a 4 horas (De Blas *et al.*, 2002), el intestino delgado es el principal lugar de digestión y absorción, dividiéndose en tres partes fundamentales: duodeno, yeyuno e íleon. El contenido estomacal (quimo) pasa al intestino delgado, donde es sometido, en primer lugar, a la acción de la secreción biliar que juega un rol importante en los procesos digestivos y posteriormente a la secreción pancreática.

La bilis, procedente del hígado, contiene sales biliares que son la porción activa de la bilis en el proceso de digestión, ayudan principalmente a la digestión y absorción

de grasa y vitaminas solubles en grasa. Por el contrario, el jugo pancreático contiene una cantidad importante de enzimas digestivas que permiten la degradación de las proteínas (tripsina, quimotripsina), del almidón (amilasa) y de las grasas (lipasa) (DeRouchey, 2014).

La bilis, contenida en la vesícula biliar, es excretada en las primeras porciones de duodeno y tiene un pH cercano a la neutralidad (pH 6,4 - 6,7); junto a la secreción de las glándulas de la mucosa duodenal (pH 8 - 8,2) neutralizan la acidez del quimo (Gecele, 1986). El duodeno es la porción anterior y zona primaria de neutralización del material ácido procedente del estómago, mezclándose como consecuencia de los movimientos musculares, el conducto biliar desemboca en el duodeno cerca del esfínter pilórico, mientras que el conducto pancreático desemboca a cierta distancia del conducto biliar, el páncreas produce las principales enzimas digestivas que intervienen en la digestión de los carbohidratos, proteínas y grasas, así como secreciones alcalinas que neutralizan los ácidos procedentes del estómago. La bilis se forma en las células hepáticas (hepatocitos), segregándose en el intestino delgado por el conducto biliar, realizando una importante función los ácidos biliares en la absorción de las grasas y vitaminas; la pared del intestino está cubierta de vellosidades que incrementan el área superficial disponible para la absorción de nutrientes, inicia su trayecto en el pilórico y desemboca en la glándula íleo-cecal. (De Blass *et al.*, 2002).

Una vez que el quimo pasa a través del duodeno, ingresa a la parte media del intestino delgado, denominado yeyuno, en esta porción del intestino delgado involucra tanto el desdoblamiento de nutrientes, así como la continuación de la absorción de nutrientes, continuando hacia la sección final del intestino delgado, el íleon, esta absorción de nutrientes en yeyuno e íleon ocurre en el área conocida como borde cuticular o mucosa intestinal. La motilina es secretada por las células endocrinas del duodeno y yeyuno, el cual ayuda a estimular la motilidad en el intestino delgado, colon y recto (Litterio y Aguilar, 2017). La mucosa está compuesta

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

por vellosidades, la cuales tienen microvellosidades. Tanto los aminoácidos como los azúcares simples son descargados en la membrana del borde cuticular, siendo absorbidos primero por las microvellosidades, luego por las vellosidades y después pasan al sistema circulatorio. Los aminoácidos y los azúcares simples absorbidos van directamente al hígado vía la vena porta y la grasa de la dieta que es desnaturalizada y absorbida hacia el borde cuticular, ingresa al sistema linfático y es descargada en la circulación general vía el conducto torácico (DeRouchey, 2014). En el epitelio de la mucosa intestinal se encuentran al menos cinco tipos de células, las células maduras del epitelio intestinal se encuentran en las glándulas intestinales y la superficie de las vellosidades, estas células incluyen:

Enterocitos: Cuya función primaria es la absorción de nutrientes.

Células caliciformes: Son glándulas unicelulares secretoras de mucina.

Células de Paneth: Cuya función principal es mantener la inmunidad innata de la mucosa mediante la secreción de sustancias antimicrobianas.

Células M (células con micropliegues): Son células especializadas (enterocitos) en el epitelio que cubren los nódulos linfáticos en la lámina propia (Ross y Pawlina, 2007).

Cuadro 1. Digestión de los principios nutritivos?????. **Formato: que los cuadros queden en un sola hoja.**

Órgano	Glándulas	Secreciones	Enzimas	Sustancia Afectada	Producto final
Boca	Salivales	Saliva	Amilasa	Almidón	Maltosa
Estomago	Gástricas	Jugo gástrico y HCL	Pepsina	Proteína	Proteasas Peptonas
Duodeno	Páncreas	Jugo Pancreático	Amilasa	Almidón	Maltosa
	Hígado	Bilis	Tripsina	Proteasas y Peptonas	Polipectidos
			Lipasa	Grasas	Ac. grasos y glicerol
Yeyuno e íleon	Fosas de liberkun	Jugo intestinal o entérico	Erepsina	Polipectidos	Aminoácidos
			Maltasa	Maltosa	Glucosa

Sacarasa Sacarosa Fructosa y Glucosa

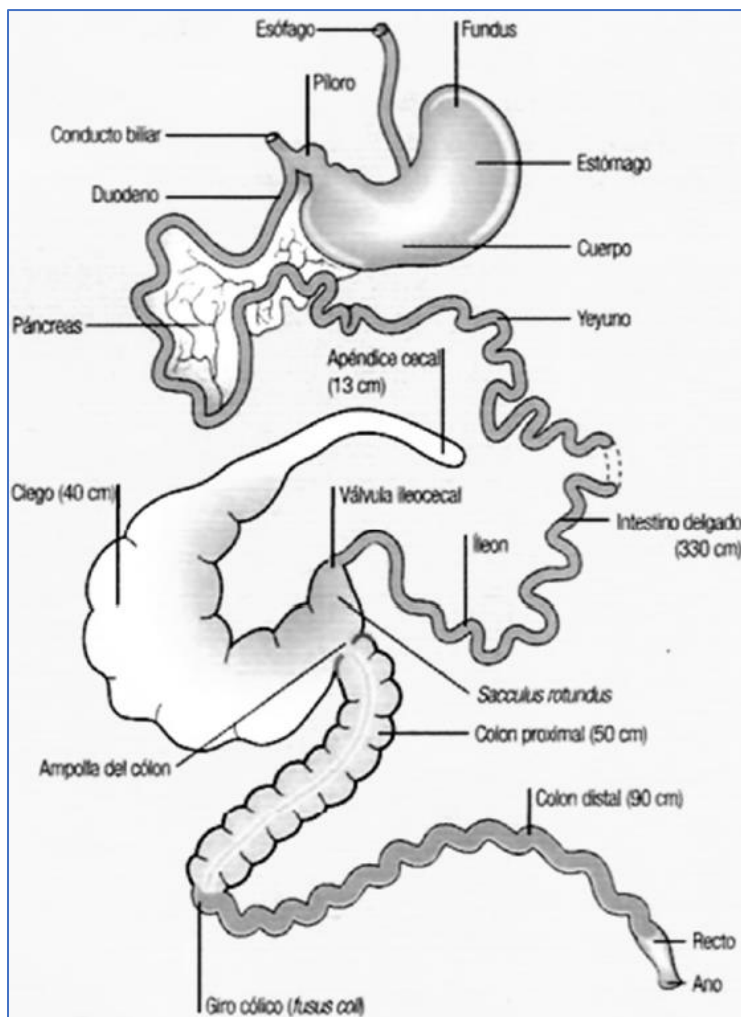
González, 2006.

Posteriormente el material indigerido, incluyendo la mayor fracción fibrosa, junto con secreciones endógenas, alcanza la zona fermentativa, localizada fundamentalmente en el ciego, en el reside una población de bacterias que pertenece principalmente a los géneros Bacteroides, Bifidobacterium, Clostridium, Streptococcus y Enterobacter (Sánchez *et al.*, 2001). La fermentación cecal es típicamente acética y utiliza como principales sustratos carbohidratos fibrosos, como fuente de energía, y secreciones endógenas (células epiteliales, secreciones digestivas, urea) como fuente de nitrógeno (Carabaño *et al.*, 2000). El ciego actúa como un gran depósito de fermentación donde la flora microbiana disgrega la celulosa y las proteínas en ácidos grasos volátiles que son absorbidos directamente hacia el torrente sanguíneo, y al igual que los rumiantes, el ácido graso volátil acético es el más predominante sin importar la dieta que se suministre a los conejos, seguido por el butírico y propiónico.

El intestino grueso realiza importantes funciones en la digestión del conejo, debido a la fermentación en el ciego, la excreción selectiva de fibra y la re-ingestión del contenido cecal (cecotrofia). El epitelio del intestino grueso tiene una gran capacidad para absorber agua, siendo su principal función. El íleon acaba en el *sacculus rotundus*, y vierte su contenido en el ciego y el colon. Los valores indicados de pH para la región del ciego y colon son de 6.0 y 6.6, respectivamente (Sánchez *et al.*, 2001). El colon inicia en una zona de la base del ciego denominada *ampulla coli*. El ciego del conejo es de gran tamaño, con un pliegue espiral que recorre toda su longitud y acaba en un saco ciego llamado apéndice. Los movimientos peristálticos hacen avanzar los productos de la digestión por el colon (O'Malley, 2007). El alimento que ingresa al ciego, proveniente del intestino delgado, ya ha sufrido una digestión gastroentérica por lo que uno de sus constituyentes principales son los productos celulósicos que no han sido afectados en las porciones anteriores;

el contenido cecal tiene una densidad bacteriana menor que la del rumen, en el ciego que hay predominancia de gérmenes anaeróbicos y especialmente bacilos no esporulados. Además, en ciego no existen protozoos, probablemente debido a la falta de sustratos adecuados (almidón, azúcares solubles). Las bacterias cecales producen ácidos grasos volátiles (AGV) que son absorbidos a nivel de ciego y colon proximal. El colon se divide en dos secciones, colon proximal (existe igualmente producción y absorción de AGV; sin embargo, el rol más importante que realiza el colon proximal está relacionado a su motricidad y la excreción de agua de manera de facilitar el retroceso de las partículas más pequeñas (fracción líquida) hacia ciego y que van a constituir los cecotrofos, y colon distal (tiene un rol activo en la formación de los cecotrofos y heces duras) (Gecele, 1986).

Figura 1. Sistema digestivo del conejo.



(O'Malley, 2007). Estandarizar la forma de citar, con o sin paréntesis.

Cecotrofia

El comportamiento de cecotrofia aparece en el conejo aproximadamente a los 18 días de edad y es en el momento en el que empiezan a consumir alimentos sólidos, además de la leche materna. La cecotrofia es la ingestión del contenido cecal, las heces blandas están rodeadas de una membrana mucilaginosa, segregada por las células secretoras de mucina del colon, y esta principal singularidad del sistema

digestivo del conejo resulta necesaria para lograr la máxima digestibilidad, tanto de las raciones de alto como de bajo contenido de fibra (Cheeke,1995). La excreción de cecotrofos depende del consumo de materia seca y del tipo de dieta.

La cecotrofia tiene un papel digestivo cíclico de primer orden parecido al que se da en los rumiantes, consiste en la producción y excreción de dos tipos de heces: heces blandas o cecótrofos y heces duras. Las heces blandas son excretadas según un ritmo circadiano (horas de la mañana), mientras que la expulsión de las heces duras sucede por las horas de la tarde. Informa Romero (2008), que la mayoría de los conejos presentan patrones monofásicos de excreción de cecótrofos desde las 8:00 hasta las 17:00 h, durante el periodo de cecotrofia, que ocurre durante 7 y 9 horas, en este tiempo hay ausencia de heces duras y el consumo de alimento es bajo. La síntesis de las heces blandas y duras se genera debido a los diversos movimientos contráctiles que es capaz de realizar el colon proximal. La excreción de las heces duras, las sustancias solubles, los microorganismos y partículas finas son revertidas hacia el ciego e introducidas en él a través de la válvula ileo-cecal, gracias a los movimientos antiperistálticos del colon. Por el contrario, la motilidad, tanto de la base del ciego como del colon proximal, decae durante la formación de las heces blandas, ocasionando que el contenido que sale del ciego se recubra en el colon proximal de una capa de mucina formando unos racimos de heces blandas de unos 5 mm de diámetro, y antes de ser liberados, estos cecotrofos son ingeridos por el conejo directamente desde el ano. Según Romero (2008), hormonas como las prostaglandinas desempeñan un papel importante en el control de los movimientos del intestino grueso y por lo tanto en la formación de los distintos tipos de heces. Los cecótrofos representan entre el 10 y 15% de la ingestión total diaria de un conejo, debido a la separación mecánica de partículas llevadas en el colon, la composición química de los cecótrofos es muy parecida a la del contenido cecal (Romero, 2008), el contenido proteico de las heces blandas está constituido en un 60% de proteína de origen bacteriano, siendo los microorganismos del ciego los responsables de la síntesis de fitasas, que permiten romper los enlaces de los

fitatos, haciendo que tras la ingestión de las heces blandas los conejos puedan aprovechar el fósforo de origen vegetal (Gutierrez *et al.*, 2000).

Cuadro 2. Contenido cecal, heces blandas y duras. **Completar este título...**

Variable	Contenido cecal	Heces blandas	Heces duras
Humedad (%)	80	66	53
PC (% MS)	28	30	17
FC (% MS)	17	18	30
Bacterias (10x10¹⁰/g MS)		142	31

Romero, 2008.

2.2 Alimentación en conejos

Carabaño *et al.*, (2005), informan que en la actualidad las enfermedades infecciosas del sistema digestivo representan el 71% del total de las enfermedades que afectan al conejo, y se ha incrementado en los últimos años como resultado de la aparición de la enteropatía epizoótica del conejo (EEC); los conejos son mucho más sensibles a pequeños cambios en la alimentación que otros animales (McNitt *et al.*, 2013). La enteropatía siempre ha sido un problema importante en la producción cunícola, debido a que ocasiona pérdida de animales que según Guerder (2001), rondan alrededor del 30% desde el nacimiento hasta sacrificio, siendo un porcentaje significativo en las producciones a nivel económico.

Los rendimientos productivos de los conejos son expresados tanto en ganancia diaria de peso como en eficiencia productiva, estas variables han aumentado su importancia en los últimos años como consecuencia de mejoras en el manejo de producción y en su potencial genético, Lebas (1987) y Maertens (1992), sugirieron revisar las normas de formulación de alimentos, e incrementar la concentración de algunos nutrientes referente a las necesidades.

En la mayoría de producciones cunícolas de tipo industrial suelen disponer de dos alimentos, uno para conejas en lactación y otro para conejos en engorda, siendo el alimento suministrado para las conejas de lactación con un mayor nivel energético obteniéndolo mediante la adición de grasa, también tiene un mayor nivel en proteína y minerales que el alimento para los conejos en engorda, logrando así un efecto beneficioso sobre la ingestión de energía, la producción de leche y el peso de la camada a los 21 días (Xiccato *et al.*, 1995, González, 2018).

Maertens y Villarnide, (1998), recomiendan suministrar tres tipos de alimentos en etapa de conejas de lactación y alimento específico para gazapos antes y después del destete, con el fin de reducir la incidencia de trastornos diarreicos y la mortalidad durante esta fase. Se suministra desde las 3 semanas a las 6-7 semanas, de forma que normalmente es consumido también por las conejas al final de la lactación, cuando la producción lechera está en su fase descendente, y como informa González (2018), este alimento de destete se caracteriza por tener mayor contenido fibroso y menor contenido en almidón que el alimento suministrado a los conejos de engorda. De acuerdo con Carabaño *et al.*, (2005), los gazapos a los 25 días de vida consumen una mezcla de leche y alimento que da como resultado una ingestión de nutrientes altamente digestibles y una composición rica en grasa y proteína con menor contenido en fibra que los alimentos comerciales que se estaban suministrando al gazapo al momento del destete. Teniendo en cuenta que las capacidades digestivas para la hidrólisis de los componentes de la dieta son limitadas en estas edades, especialmente para grasa y almidón, se recomienda cambiar el alimento suministrado en la fase de crecimiento de una manera moderada.

El uso de fuentes forrajeras en la dieta aporta diferentes tipos de fibra, la fibra está clasificada en dos tipos soluble e insoluble, la fibra soluble es un potente activador de la fermentación cecal con un aumento de la producción de biomasa microbiana y ácidos grasos de cadena corta (Oviedo *et al.*, 2012), y la fibra insoluble permite un adecuado tiempo de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal e interviene en el proceso de formación de heces duras dando consistencia al alimento en

tránsito (García *et al.*, 2006), Se ha demostrado que la inclusión de fuentes de fibra más solubles en las dietas favorece un aumento de la longitud de las vellosidades intestinales, y por el contrario, la inclusión de fuentes de fibra lignificada puede producir atrofia en la estructura del tejido y alterar el funcionamiento normal de las células epiteliales del intestino encargadas de romper diversas moléculas alimenticias y transportarlas al interior del cuerpo (enterocitos intestinales) (Oviedo *et al.*, 2012, García *et al.*, 2006).

Con respecto a la digestión de la proteína, en los conejos las proteínas son fermentadas por la flora cecal y convertidas en amoníaco el cual representa la principal fuente de síntesis de proteína microbiana (García *et al.*, 2006), la proteína microbiana juega solamente un rol menor en el llenado de las necesidades de proteína y aminoácidos en los conejos (Irlbeck, 2001). Sin embargo, los aminoácidos producidos por las bacterias pueden estar disponibles vía cecofágica (especialmente la lisina, aminoácidos sulfurados y la treonina). Como resultado, los aminoácidos sintéticos son agregados a la dieta comercial, particularmente la lisina y la metionina. Comparado con otras especies, los conejos pueden digerir entre 75 y 85% de la proteína de alfalfa, mientras los cerdos sólo pueden llegar a un 50% (Irlbeck, 2001). La práctica de la cecotrofia provee de importantes niveles proteicos a la dieta. La proteína contenida en los cecótrofos aporta del 15 al 30% del nitrógeno total ingerido llegándose a niveles de aproximadamente un 28% de proteína cruda (Irlbeck, 2001). Una fracción considerable (70 a 80%) de este nitrógeno se encuentra en forma de proteína microbiana, otra (20%) como nitrógeno no proteínico y el nitrógeno contenido en la capa mucoide que los envuelve (8%) que procede probablemente del nitrógeno indigestible del alimento y del nitrógeno endógeno del metabolismo. La proteína reingerida se caracteriza por una alta digestibilidad y un elevado contenido de aminoácidos indispensables (García *et al.*, 2006).

2.2.1 Requerimientos nutricionales

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

En la actualidad, la investigación en el sector cunícola está enfocada en establecer estrategias de alimentación que cumplan los respectivos requerimientos nutricionales y así favorecer en el comportamiento productivo. Se busca que la digestibilidad de la dieta sea lo más eficientemente posible y que las proporciones de los nutrientes sea lo más equilibrada para evitar los excesos o insuficiencia de nutrientes que se eliminaran a través de la orina o las heces (Lebas, 2004).

La composición del alimento debe permitir cubrir las necesidades nutritivas y obtener buenos rendimientos, así como mantener la normalidad digestiva y minimizar el riesgo de trastornos.

En el **Cuadro 3** se **muestran** los requerimientos nutricionales según el periodo de producción **de quién?**.

Cuadro 3. Requerimientos nutricionales **de quien?**. Formato: que los cuadros queden en un sola hoja.

Tipo periodo de producción, unidad = g/kg as fed (90% DM)	Crecimiento		Reproducción	
	18 a 42 días	42 a 75-80 días	Intensivo	½ ¿??? Semiintensivo
Energía (Kcal/kg)	2400	2600	2700	2600
digestible MJoules/kg	9.5	10.5	11.0	10.5
Proteína cruda, %	15 - 16	16 – 17	18 - 19	17 - 17.5
Proteína digestible	11 - 12	12 – 13	13 -14	12 - 13
Lípidos	20 - 25	25 - 40	40 - 50	30 - 40
Aminoácidos				
Lisina	7.5	8.0	8.5	8.2
Aminoácidos azufrados (metionina+cistina)	5.5	6.0	6.2	6.0
Treonina	5.6	5.8	7.0	7.0
Minerales				
Calcio	7.0	8.0	12.0	12.0
Fosforo	4.0	4.5	6.0	6.0

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

Sodio	2.2	2.2	2.5	2.5
Potasio	< 15	< 20	< 18	< 18
Cloruro	2.8	2.8	3.5	3.5
Magnesio	3.0	3.0	4.0	3.0
Azufre	2.5	2.5	2.5	2.5
Hierro (ppm)	50	50	100	100
Zinc (ppm)	25	25	50	50
Vitamina K (mg / kg)	1	1	2	2

Fuente??

Energéticas: El conejo come para satisfacer sus necesidades de energía, lo que significa que al igual que en otras especies no rumiantes, el conejo ajusta su consumo diario según el nivel energético de la ración suministrada. Aunque este ajuste del consumo al nivel de energía de la dieta no es tan perfecto como parece, ya que existen diferentes interacciones con la fibra y la proteína. Cuando se refiere a las necesidades energéticas del conejo estudios indican que el mínimo requerido para las necesidades de mantenimiento, están en el orden de las 2200 Kcal de ED. (Sandford, 1988).

Proteica: Las tendencias proteicas se sitúan alrededor de 12 a 18 % en todas las etapas. Dentro de algunas fuentes importantes de proteína para la producción de conejos podemos encontrar a la soya, la alfalfa, entre otras. Las necesidades de proteína del conejo son mayores en el primer período de crecimiento. Durante los primeros 21 días de vida, el gazapo cubre sus necesidades con la leche materna. Pasado este período, la dependencia de alimento se va acentuando y los gazapos deben disponer de una fuente proteica de calidad (equivalente al de la leche materna) (Sandford, 1988).

Fibra: La cantidad de fibra que deben contener los alimentos para conejos, oscila entre 12 – 15%, aunque llega hasta el 20% en alimentos destinados a conejas vacías y machos, y se reduce al 10 % o menos en alimentos para animales en

crecimiento y engorda (Cheeke, 1995). Dentro de fuentes importantes de fibra podemos encontrar los salvados de trigo y arroz, los henos de alfalfa.

Vitaminas y minerales: Las necesidades de elementos minerales en el conejo son altas. Por lo que al formular raciones se deberá incorporar premezclas minerales y vitamínicas con el fin de ponerlas a disposición del animal, así mismo el conejo tiene necesidad tanto de vitaminas hidrosolubles (grupo B y vitamina C) como de vitaminas liposolubles (A, D, E, K). Los microorganismos de su flora digestiva sintetizan grandes cantidades de vitaminas hidrosolubles que son utilizadas gracias a la cecotrofia (Lebas, 1986).

2.2.2 Principales ingredientes utilizados en la alimentación de conejos

Los conejos cuando se encuentran ante diferentes alimentos (alfalfa, maíz, avena, etc.), eligen en función de criterios difícilmente previsibles, sin embargo, Lebas *et al.* (1996), informan que cuando se suministra a los conejos alimentos que contienen alfalfa deshidratada, con porcentajes variables de saponinas, y por ende sabores amargos, van a tener una preferencia por alimentos que tienen un elevado sabor amargo. Actualmente en las producciones cunícolas, los costos de alimentación representan el 70 y 80% del costo total de la producción, por ende, es de gran importancia realizar un manejo adecuado de la alimentación y suministrar materias primas equilibradas que se ajusten a las necesidades de cada etapa del conejo maximizando la rentabilidad de la producción, aprovechando con las materias primas. En el **siguiente Cuadro 4** se presenta la composición química de ingredientes que se pueden utilizar en la alimentación de los conejos.

Cuadro 4. Ingredientes utilizados en la alimentación de los conejos.

Ingrediente	Nutriente (% BS; Mcal kg MS)
--------------------	-------------------------------------

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

	MS	PB	EE	Cen.	Ca	P	ED (kcal/kg)
Avena	89.88	11.16	5.42	2.64	0.03	0.35	2627
Alfalfa	92.30	16.25	1.70	10.10	1.14	0.30	1830
Trigo	86.38	10.92	1.36	1.99	0.03	0.30	3450
Maíz	88.31	8.24	3.48	1.30	0.02	0.26	3451
Cebada	89.90	11.33	2.11	2.38	0.06	0.35	3150
Sorgo	89.39	9.36	3.42	1.64	0.02	0.27	3596
Salvado de trigo	87.38	15.08	4.72	4.16	0.10	0.99	2420
Salvado de maíz	88.50	9.53	8.52	2.53	0.47	0.29	2649
Pasta de soya	89.98	47.73	1.52	6.27	0.33	0.71	3619
Pasta de girasol	90.40	39.86	2.90	6.06	0.39	1.16	2840
Pasta de canola	91.33	37.50	3.22	6.89	0.69	1.08	3273

MS: Materia seca, PB: Proteína, EE: Extracto Etéreo, CE: Cenizas, Ca: Calcio, P: Fósforo, ED: Energía digestible.

2.2.3 Alternativas de ingredientes en la alimentación del conejo

2.2.3.1 Triticale

El triticale (*x Triticum-secale*) es un cereal sintético obtenido a partir de la hibridación del trigo (principalmente variedades de trigo duro) y centeno. El objetivo inicial fue combinar el elevado valor energético y contenido proteico del trigo con la rusticidad agronómica y calidad proteica del centeno. El contenido medio de almidón del grano es de un 58%, intermedio entre trigo y centeno, con un 23% de amilosa. Los niveles y tipos de fibra y de grasa son también intermedios entre ambos. De la misma forma, la incorporación de enzimas mejora su valor nutritivo y reduce los efectos negativos de la fibra soluble. El contenido proteico total del triticale es similar al del trigo, y, por tanto, superior al de otros granos de cereales. La proporción de albúminas y

globulinas (27% del total de proteína) es casi tan elevada como en el centeno, y bastante superior a la del trigo, maíz y sorgo, mientras que la de prolamina (29%) es relativamente baja. Como consecuencia, la concentración de lisina es aproximadamente un 30% superior a la del trigo. La digestibilidad de los aminoácidos esenciales parece estar, sin embargo, más próxima al trigo que al centeno, por lo que la calidad proteica del triticale es superior a la media de los cereales de los que procede (FEDNA, 2021).

El triticale ha sido considerado como un impulso en la industria pecuaria de México, ya que se ha establecido este cultivo como opción viable para el sector de la ganadería debido a sus propiedades nutricionales, el bajo costo de producción y al alto rendimiento. Pudiendo ser una materia prima alternativa con potencial para las dietas de conejos de engorde, no obstante el triticale contiene niveles significativos de xilanos y arabinosilanos, que limitan su uso en las dietas ya que actúan como factores antinutricionales, según Mendes *et al.* (2013) los niveles de polisacáridos solubles en el triticale son más similares a los del trigo y no tan altos como en el centeno, la suplementación de enzimas como xilanasa en dietas que contienen altas concentraciones de polisacáridos no amiláceos mejora la eficiencia de la utilización del alimento en aves y cerdos, en este sentido, se considera como buena alternativa la investigación de la capacidad de la xilanasas utilizadas para mejorar el valor nutritivo en una dieta de conejos incorporando ingredientes de bajo costo como el triticale.

Cuadro 5. Composición química del cereal **triticale**. **Formato: que los cuadros queden en un sola hoja.**

Composición química	%
Humedad	10.5
Cenizas	1.7
PC	10.7
EE	1.5
FC	2.3

FND	12.4
FAD	3.3
Almidón	57.7
Azúcares	2.7
Ca	0.05
P	0.34

FEDNA, 2021.

2.3 Factores antinutricionales

El término **anti nutriente** se emplea para clasificar aquellos compuestos que afectan el valor nutricional de algunos alimentos, especialmente semillas, ya que inhiben la absorción de sus nutrientes que provienen de alimentos principalmente de origen vegetal (proteínas y minerales) ejerciendo un efecto toxico, según Elizalde *et al.* (2009), desde el punto de vista bioquímico estos factores son de naturaleza variada y pueden llegar a ser tóxicos o pueden causar efectos fisiológicos poco deseables como lo son la distensión estomacal, la flatulencia, afectaciones pancreáticas y disminución en la asimilación de nutrientes.

Los factores antinutricionales son sustancias no fibrosas, generadas por el metabolismo secundario de las plantas como mecanismo de defensa a situaciones estresantes, como lo son los taninos, son sintetizados durante el desarrollo de la semilla y la planta las utiliza como fuente de aminoácidos, aunque su principal función parece ser la defensa de la planta frente a hongos, insectos y nematodos (Duffus *et al.*, 1985).

Los factores antinutricionales se clasifican como termo estables y termo lábiles.

Cuadro 6. Clasificación de los factores **anti nutricionales (de quien?.)**

Termo estables	Termo lábiles
----------------	---------------

Incluyen factores antigénicos, oligosacáridos y aminoácidos no proteicos tóxicos, saponinas, estrógenos, cianógenos, fitatos; siendo los más importantes: los factores antigénicos, los oligosacaridos, las saponinas y los fitatos.	Se encuentran, los inhibidores de proteasas (tripsina y quimotripsina), lectinas, goitrogenos y antivitaminas; siendo los más importantes los inhibidores de proteasas y las lectinas.
--	--

Belmar, 2001.

2.3.1 Ejemplos de factores antinutricionales

Taninos: Son compuestos polifenolicos, en las leguminosas estos compuestos se encuentran en la cascarilla de las semillas siendo su concentración variable. Los taninos tienen acciones antinutricionales ya que producen una disminución en el crecimiento animal por unirse a proteínas, hidratos de carbono y ciertos polímeros de almidón, que según informan Chaparro *et al.* (2009), por su acción forman complejos resistentes a la degradación enzimática, causando, una insuficiente absorción de estos nutrientes. Afectan a las membranas mucosas produciendo perdidas de proteína endógena, reducen la digestibilidad de los compuestos nitrogenados y de energía, adicionalmente reduce la disponibilidad de macro y micro minerales creando compuestos insolubles que son poco asimilables por el organismo.

Lectinas: Son compuestos proteicos no inmunes con capacidad para unirse en forma reversible con azucares, carbohidratos y glicoproteínas que se encuentran en la membrana celular (Elizalde *et al.*, 2009). Por su acción aglutinante se nombran fitohemaglutininas afectando especialmente a los eritrocitos (Gueguen *et al.*, 1993). Los efectos adversos radican en la unión con receptores ubicados en la superficie intestinal afectando la degradación y asimilación de los nutrientes a través de la pared intestinal (Pusztai, 1989). La interferencia en la actividad enzimática digestiva,

incrementa el metabolismo proteico y lipídico deteriorando la condición corporal del animal, afectando su crecimiento y ocasionando en algunos casos la muerte (Thompson, 1993).

Oligosacáridos: Son compuestos de azúcares hidrosolubles que están presentes en cantidades variables y son constituyentes de reserva en órganos vegetativos y en semillas de numerosas plantas (Bruggink, 1993), están formados por residuos -Dgalactopiranosil unidos por la unidad glucosa de la sacarosa. Estos compuestos no son digeridos por los animales monogástricos debido a la ausencia de la enzima α -1,6-galactosidasa en su mucosa intestinal, y al no ser digeridos en el tracto digestivo, estos azúcares no pasan a la sangre sino al colon donde son fermentados por bacterias intestinales sacarolíticas, que utilizan los carbohidratos como fuente de energía; esta fermentación de los compuestos por parte de las bacterias conduce a una reacción que resulta en la producción de gases como el dióxido de carbono, el hidrogeno, el metano, entre otros. Siendo la causante de flatulencias, aumento de la motilidad intestinal, náuseas, contracciones musculares y diarreas (Elizalde *et al.*, 2009).

Saponinas: Son compuestos que poseen una estructura compleja formada por un núcleo esteroidal hidrofóbico y una parte hidrofílica constituida por unidades de monosacáridos, son glucósidos que determinan en gran parte el sabor amargo de algunas semillas. Poseen la alta capacidad de formación de espumas en soluciones acuosas, y las saponinas no se absorben en el intestino y por lo tanto afectan la absorción del zinc y el hierro (Elizalde *et al.*, 2009).

Inhibidores de proteasa: o inhibidores de tripsina, son compuestos secundarios de origen proteico distribuidos en diversas variedades de leguminosas, poseen la habilidad de inhibir la acción proteolítica enzimática digestiva al reaccionar con la serina, proteasas como la tripsina y quimiotripsina producidas en el páncreas (Belmar-Casso y Nava, 2005), ocasionan una hidrolisis incompleta de las cadenas peptídicas por la acción enzimática, reduciendo la digestibilidad, produciendo

perdidas de proteína endógena e incrementando la secreción exocrina pancreática, deprimiendo el crecimiento de los animales (Elizalde *et al.*, 2009).

2.3.2 Arabinoxilanos

Los arabinoxilanos son polisacáridos heterogéneos no amiláceos que se encuentran en varios tejidos de los granos de cereales (Izydorczyk y Biliaderis, 2007). Entre sus propiedades funcionales resalta su capacidad para formar geles covalentes en presencia de agentes oxidantes como la enzima lacasa. Los geles que forman los arabinoxilanos poseen propiedades que les permiten ser utilizados como matrices de liberación controlada para la industria alimentaria y biomédica (Berlanga-Reyes *et al.*, 2009; Carvajal-Millan *et al.*, 2007). Estas propiedades dependen de las características del polisacárido, entre las que se encuentran el peso molecular (PM), contenido de ácido ferúlico (AF) y proporción arabinosa/xilosa (A/X) (Izydorczyk y Biliaderis, 2007). Se ha demostrado la presencia de proteína residual asociada o fuertemente ligada al polisacárido que permanece aún después de utilizar ciertos métodos de purificación (Johnston y Hicks, 2007b). Es bien sabido que la proteína asociada al arabinoxilano juega un papel muy importante en sus propiedades emulsificantes (Yadav *et al.*, 2011).

Estructura química: Los arabinoxilanos consisten en una cadena de xilas unidas entre sí por enlaces β -(1-4) y residuos de arabinosa unidos a la cadena principal. Los residuos de arabinosa pueden estar unidos a la cadena de xilas en posiciones O-3 y/o O-2, lo que resulta en cuatro estructuras diferentes: monosustituida, disustituida y no sustituida. Aunque en promedio el 50 a 60% de los residuos de xilosa de la cadena se presentan en la forma no sustituida, la cantidad y distribución de estas estructuras varía dependiendo de la fuente del polisacárido (Izydorczyk y Dexter, 2008). En la figura 2 se presenta la posición de arabinosas en arabinoxilanos y en la figura 3 la estructura química general de los arabinoxilanos.

Figura 2. Posición de arabinosas en arabinoxilanos.

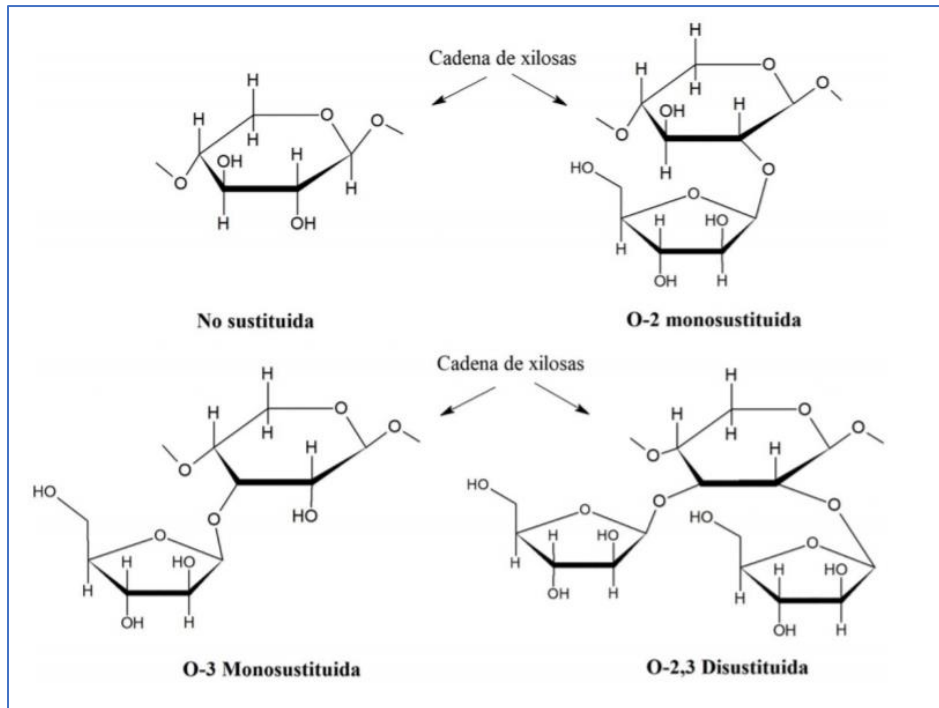
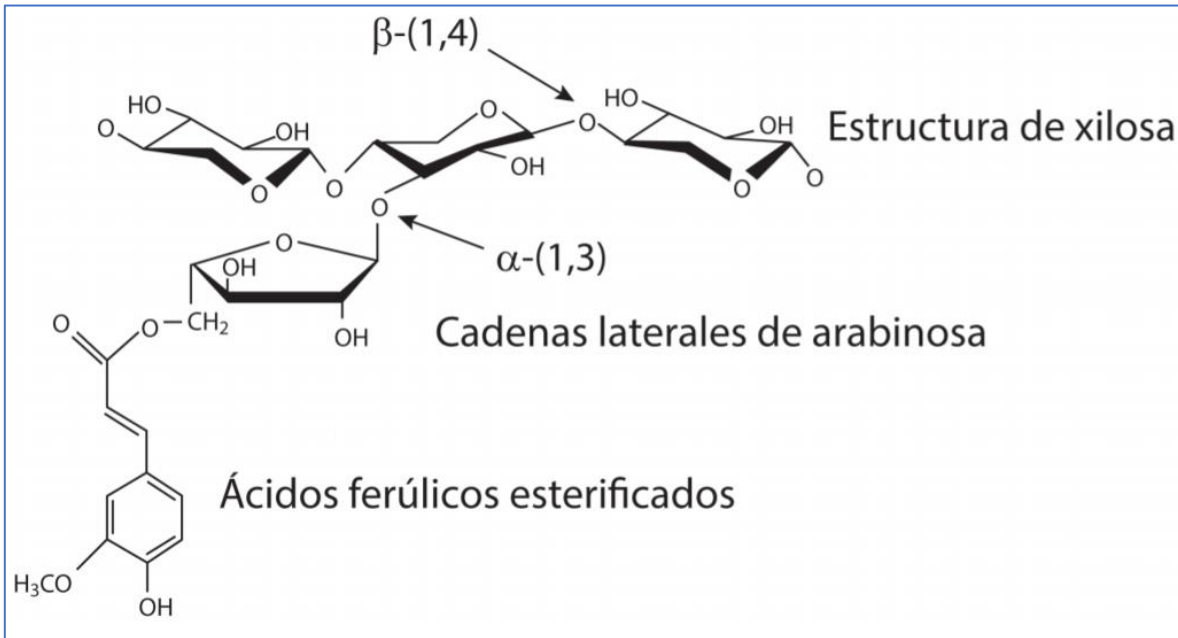


Figura 3. Estructura química general de los arabinoxilanos.



(Cooper, 2013). Estandarizar la forma de citar, con o sin paréntesis.

Los arabinoxilanos se pueden clasificar como solubles o insolubles y el grado de solubilidad variará en función de la presencia de arabinosa en la cadena de carbohidratos. La arabinosa da mayor complejidad a la estructura, condicionando la capacidad de interacción con otras moléculas, la solubilidad y la sensibilidad a la hidrólisis enzimática. La hidrólisis dependerá del patrón de distribución de la arabinosa, que es muy variable. Dichos patrones difieren entre cereales, pero también entre variedades de un mismo cereal. En materias primas como el trigo y el centeno, el arabinoxilano soluble (aproximadamente el 30% del total) es el que promueve una naturaleza "viscosa" del contenido digestivo. Este efecto de viscosidad puede influir negativamente sobre la microbiota intestinal.

En el Cuadro 6 se observa el contenido en polisacáridos no amiláceos totales, arabinoxilanos totales y sus respectivas fracciones solubles para diferentes ingredientes utilizados en la alimentación animal.

Cuadro 6. *Contenido en polisacárido no amiláceos totales, arabinosilanos totales (% de la MS) y sus respectivas fracciones solubles (% del total) de quien?. Corregir título no va en cursivas y el tipo de letra. Formato: que los cuadros queden en un sola hoja.*

Ingrediente	PNA total	PNA soluble	Arabinosilanos totales	Arabinosilanos solubles
Trigo	11.4	21.7	7.1	23.6
Cebada	17.4	26.1	7.9	11.1
Centeno	14.0	25.6	8.9	34.9
Triticale	14.7	22.7	9.7	12.0
Sorgo	5.1	11.4	2.3	4.8
Maíz	8.8	11.8	4.6	5.0
Salvado de trigo	35.3	1.3	19.8	6.3
DDGS de maíz	20.6	1.3	12.7	9.3
Harina de colza	22.0	15.5	6.3	25.4
Harina de girasol	31.2	11.3	8.5	13.0
Harina de soja	21.0	27.6	4.1	24.1
Guisantes	17.4	28.9	4.9	44.9
Altramuces	46.1	44.3	4.3	65.1

Sola-Oriol, 2019. **Estandarizar la forma de citar, con o sin paréntesis.**

2.4. Digestibilidad

El valor nutritivo indica el contenido de nutrientes presentes en un alimento, más no determina la disponibilidad de estos para el animal, por lo que es necesario, además, conocer la digestibilidad, que se define como: el porcentaje de nutrientes ingeridos que no son excretados por el animal (Shimada, 2005).

La digestibilidad se expresa como aparente (DA) y real o verdadera (DR).

Los coeficientes de digestibilidad determinados en muchos estudios sobre nutrición hacen referencia a la fracción de un determinado alimento o dieta que desaparece durante su paso a través del conducto gastrointestinal, suponiendo así que el proceso de absorción interviene también en la determinación del valor nutritivo (Church, 1993).

Las pruebas de digestión y digestibilidad se realizan con varios propósitos:

- Evaluar la utilización por el animal de un determinado nutriente, o de una ración.
- Establecer cuantitativamente el aporte de sustancias nutritivas digestibles.
- Utilización de la digestibilidad en estudios experimentales.

2.4.1 Digestibilidad aparente

La forma común de cómo se calcula la digestibilidad consiste en restar, del total de alimento consumido, la cantidad excretada en las heces y el resultado se expresa en porcentaje. Aunado a esto la producción de metano como producto de la fermentación de los carbohidratos en el rumen y que se pierde por el eructo, se considera digerido, pero no se contabiliza por lo que se sobreestiman los carbohidratos digestibles. Por lo tanto, el resultado de esta medición refleja la proporción de nutrimentos que en apariencia, han sido digeridos.

2.4.2 Digestibilidad real o verdadera

El valor que expresa la DR de un alimento es superior al de DA, ya que en este no se toman en cuenta los residuos metabólicos del tubo digestivo del animal, sino que se refleja la desaparición neta de materia orgánica atribuida al proceso de digestión.

Los resultados de las pruebas de digestibilidad in vitro, son los más cercanos al valor real, ya que estos consisten en someter los alimentos a la acción de enzimas digestivas presentes en el líquido ruminal, extraído directamente de una vaca acondicionada para ese procedimiento, e incubar las muestras por cierto periodo de tiempo; por tanto se asume que la masa que pierden los alimentos se debe a la acción hidrolítica de las enzimas y constituye el material digestible y de esta forma se excluye la producción endógena de metabolitos (Merchen, 1993).

2.4.3 Métodos para medir la digestibilidad

2.4.3.1 Uso de marcadores

La principal característica de un buen marcador es que sea completamente recuperado en las heces. En caso de que no haya una completa recuperación del marcador, la desaparición del alimento será la suma de:

Tasa de Pasaje + Aparente digestión.

Deben ser sustancias indigestibles y no asimilables por el organismo, no presentar ninguna acción farmacológica sobre el tracto digestivo, debe ser de fácil cuantificación analítica, ser inertes y car

entes de efectos tóxicos, no deben ser absorbidos ni metabolizados en el conducto gastrointestinal, no debe influir sobre las secreciones gastrointestinales, digestión o motilidad normal, no debe influir sobre la flora del TGI.

2.4.3.1.1 Marcadores internos

Son componentes químicos que surgen naturalmente en la dieta del animal. Deben ser indigestibles y cuantitativamente recuperables en las heces.

Ejemplo:

Lignina: Esta sustancia presente en alimentos fibrosos es considerada indigestible para los rumiantes, por lo que se ha utilizado como indicador en estudios de digestibilidad. Sin embargo, su recuperación total y su determinación en las heces representan algunas dificultades.

Cenizas insolubles en ácido: Considerado como un marcador fiable ya que se aprecia poca variación entre lo ingerido y lo excretado, al mismo tiempo de que su determinación analítica es bastante precisa.

Al igual que para todos los marcadores las imprecisiones que representen su recuperación pueden alterar los resultados, para el caso de este marcador, esto no es un problema cuando el experimento se desarrolla en confinamiento y bajo condiciones de ingesta controladas, pero cuando se utiliza con animales en pastoreo suelen presentarse problemas (ingestión CZ).

2.4.3.1.2 Marcadores externos

Sustancia adicionada a la dieta la cual debe ser recuperada casi en su totalidad o completamente en las heces, es decir no puede ser absorbida por las paredes del tracto gastrointestinal. Es un componente ausente tanto en el alimento como en el suelo.

Ejemplos:

Alimentos teñidos: Los tintes fueron de los primeros marcadores utilizados en estudios nutricionales enfocados al conocimiento del tiempo de retención del alimento. Los principales colorantes fueron: Fuchina ácida o magenta, verde o azul brillante, cristal violeta y rojo carmín. Estos se fijan irreversiblemente en las partículas del alimento. Y algunas desventajas es que en estudios de digestibilidad se dificulta cuantificar el colorante excretado. La medición de éste se limita a evaluación visual lo que le atribuye subjetividad y altas posibilidades de error.

Óxido de cromo (Cr_2O_3): Las características que posee este marcador lo hacen insoluble, casi en su totalidad, por lo que su recuperación en heces es

cercana al total administrado, por esto su aplicación es común en pruebas de digestibilidad y flujo de digesta. El óxido de cromo es un polvo denso que tiende a viajar en forma de suspensión en la digesta por lo que su eliminación en heces es casi total.

2.5 Aditivos usados en la alimentación animal

Los aditivos utilizados en los alimentos de las especies de producción generalmente no aportan ningún nutriente, la mayoría de los aditivos son utilizados para mejorar las características físicas de las dietas, aceptabilidad o salud de los animales. Describe Zambrano (2013) la siguiente clasificación de algunos aditivos:

Promotores de crecimiento: Son usados de manera intensiva, el modo de acción es similar al de los antibióticos en cuanto a la modificación benéfica de la microflora intestinal. Los promotores de crecimiento mejoran la eficacia alimenticia como consecuencia del aumento en el ritmo de crecimiento en un menor número de días para alcanzar el peso de sacrificio.

Anticoccidiales: De tipo ionoforo han demostrado ser los más eficaces en el control de los signos clínicos de la coccidiosis.

Compuestos antifúngicos: Los hongos y las micotoxinas son un problema muy importante que afecta tanto al crecimiento como al desempeño reproductivo, el crecimiento fúngico afecta gravemente los compuestos de los granos, se utilizan los ácidos orgánicos disminuyendo el pH del alimento controlando así el crecimiento de los hongos.

Probióticos: Se clasifican en cultivos microbianos variables y productos de fermentación microbiana, está relacionado con el cambio benéfico de la flora intestinal reduciendo la población de E. Coli, producción de lactato con el correspondiente cambio en el pH intestinal, producción de sustancias similares a los antibióticos y reduce la liberación de toxinas.

Levaduras: Han sido utilizadas por la industria de alimentos para animales y humanos durante muchos años, modifica la microflora intestinal mediada por cambios en el pH.

Enzimas: En los últimos años ha despertado interés en la nutrición debido a que representa un ahorro en el uso de granos. En la actualidad se producen enzimas de uso específico en las dietas de las producciones pecuarias.

Pigmentos: Controlan el color de las canales. Las xantofilas son los carotenoides importantes.

Saborizantes: Son utilizados para mantener un sabor constante en los cambios de formulación, y/o hacer palatables los ingredientes.

Con relación a las enzimas, se caracterizan aditivos de interés para el futuro, debido a su potencial para mejorar la utilización de nutrientes, se ha comprendido en las últimas dos décadas.

2.6 Enzimas

Las enzimas se conocen desde la segunda mitad del siglo XIX, a partir de los años 80 se utilizan en la alimentación animal, inicialmente en aves y posteriormente en cerdos. Se adicionan en las dietas para mejorar la digestión y el aprovechamiento del alimento y así aumentar la producción (Oviedo, 2012).

En el año 1857 Pasteur demostró la relación entre la fermentación y la actividad biológica de las levaduras; en el año 1878 Khune acuñó el término “enzima” para referirse a los fermentos solubles que no están unidos a las células vivas, derivando el término de la expresión griega “en zyme” como “en la levadura”; en el año 1894 Takamine, logro obtener las primeras carbohidrasas y proteasas a partir de un moho “*Aspergillus oryzae*”. Buchber en el año 1897, presento una prueba de acción enzimática al obtener fermentación alcohólica solo con el caldo de levaduras, sin células. Rohm, en el año 1909, aplico proteasas de origen animal para el tratamiento

de pieles. En 1962, James Summer demostró con la ureasa que las enzimas son proteínas. Después de la Segunda Guerra Mundial se desarrolló la producción de sustancias mediante fermentación, técnica que se utilizaba para la producción de antibióticos y amilasas micóticas o bacterianas (Oviedo, 2012).

En la actualidad, la mayoría de las enzimas de interés comercial se obtiene de los microorganismos (hongos, levaduras, bacterias), aunque los preparados enzimáticos de origen animal (lipasas y proteasas pancreáticas) y vegetal (papaína), siguen desempeñando un papel importante en la aplicación técnica de las enzimas (Oviedo, 2012).

Las enzimas son productos de origen biológico que catalizan las reacciones bioquímicas y forman combinaciones químicas con uno o varios sustratos, según informa Ferket, (1993) son proteínas de alto peso molecular entre 10 000 y 500 000 Daltons, y son sensitivas al medio ambiente físico-químico que puede modificar su actividad.

Las enzimas pueden catalizar la reacción de gran cantidad de sustrato en un pequeño periodo de tiempo, Acosta y Cardenas, (2006) y Sabatier y Fish (1996) informan que un mol de enzima puede reaccionar 1000 – 10 000 veces por segundos con el sustrato, esta rápida velocidad de reacción se debe a la afinidad de la enzima por su sustrato, viéndose reflejado en la unión de ambos y en el rendimiento de los productos.

Para que una enzima (E) actúe, es necesario que se forme un complejo entre ella y el sustrato (S). Este complejo (ES) se separa después, dejando en libertad los productos (P) de la reacción y la enzima sin alterar:



Las enzimas se clasifican de acuerdo con el tipo de reacción catalizada:

- Hidrolasas (reacciones de hidrólisis)
- Isomerasas (reacciones de isomerización)

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanas

- Óxido-reductasas (reacciones de oxidación-reducción)
- Transferasas (transferencia de grupos funcionales)
- Liasas (adición a los dobles enlaces)
- Ligasas (formación de enlaces con escisión del ATP)

Cuadro 7. Tipo de enzimas alimentarias, sustrato y materia prima.

Enzima	Sustrato	Materia Prima
B-glucanasas	B-glucanos	Cebada, avena y centeno
Xilanasas	Arabinoxilanos	Trigo, centeno, triticale, cebada, fibra vegetal
a-galactosidasas	Oligosacaridos	Harina de soja y leguminosas grano
Fitasas	Acido fitico	Todos los alimentos de origen vegetal
Proteasas	Proteínas	Todas las fuentes de proteína vegetal
Amilasas	Almidón	Granos de cereales y leguminosas grano
Lipasas	Lípidos	Suplementos lipídicos y lípidos de los alimentos
Mananosas, celulasas, hemicelulasas, pectinasas	Pared celular (compuestos fibrosos)	Materias primas de origen vegetal.

Ravidran, 2010. **Estandarizar la forma de citar, con o sin paréntesis.**

Con respecto a la nomenclatura y clasificación de las enzimas, aproximadamente a finales del siglo XIX se distingue las enzimas mediante el sufijo “asa”, en 1961, la Comisión Internacional de Enzimas (EC, Enzyme Commission) estableció las normas para la clasificación sistemática de las enzimas, se pretende sistematizar la nomenclatura y clasificación de las diferentes enzimas conocidas. En el cuadro 8 se presenta la clasificación internacional de las enzimas.

Cuadro 8. Clasificación internacional de las enzimas. **Formato:** que los cuadros queden en un sola hoja.

Grupo	Acción	Ejemplos
1. Oxidoreductasas	Catalizan reacciones de oxidorreducción. Tras la acción catalítica quedan modificados en su grado de oxidación por lo que deben ser transformados antes de volver a actuar de nuevo.	Dehidrogenasas Aminooxidasa Deaminasas Catalasas
2. Transferasas	Transfieren grupos activos (obtenidos de la ruptura de ciertas moléculas), a otras sustancias receptoras. Suelen actuar en procesos de interconversiones de azúcares, de aminoácidos.	Transaldolasas Transcetolasas Transaminasas
3. Hidrolasas	Verifican reacciones de hidrolisis con la consiguiente obtención de monómeros a partir de polímeros. Suele ser de tipo digestivo, por lo que normalmente actúan en primer lugar.	Glucosidasas Lipasas Peptidasas Esterasas Fosfatasas
4. Isomerasas	Actúan sobre determinadas moléculas obteniendo de ellas sus isómeros de función o de posición. Suelen actuar en procesos de interconversion.	Isomerasas de azúcar Epimerasas Mutasas
5. Liasas	Realizan la degradación o síntesis (llamadas sintetisas), de los enlaces denominados fuertes sin	Aldolasas Decarboxilasas

	ir acoplados a sustancias de alto valor energético.	
6. Ligasas	Realizan la degradación o síntesis de los enlaces fuertes mediante el acoplamiento a sustancias ricas en energía como los nucleósidos del ATP.	Carboxilasas Peptidosintetasas

(Oviedo, 2012). Estandarizar la forma de citar, con o sin paréntesis.

El punto de separación del sustrato es de gran importancia para que las enzimas adicionadas en la alimentación animal obtenga el efecto deseado, las exoenzimas rompen solo los elementos externos de la cadena molecular, mientras que las endoenzimas rompen los enlaces internos, por consiguiente las endoenzimas pueden dividir las cadenas moleculares grandes en fragmentos más pequeños, resalta Oviedo (2012), la importancia sobre todo en relación con la influencia que en la viscosidad del quimo tienen las enzimas que separan los polisacáridos no amiláceos.

2.6.1 Modo de acción

Las diferentes enzimas tienen diferente modo de actuación. Siendo aceptadas actualmente como aditivo para alimentos, el mecanismo de acción de muchas enzimas para la alimentación animal aun esta por esclarecerse.

Degradación de enlaces específicos de los ingredientes que no son correctamente hidrolizados por enzimas endógenas, degradación de factores antinutritivos que disminuyen la digestibilidad y/o incrementan la viscosidad del alimento, ruptura de la pared celular y liberación de nutrientes unidos a la pared, reducción de las secreciones y pérdidas de proteínas endógenas en el intestino, reduciendo las necesidades de mantenimiento, cambios en el perfil de la microflora del intestino delgado y grueso, aumento de las enzimas digestivas endógenas que son insuficientes o inexistentes en el animal, resultado en una mejor digestión,

especialmente en animales jóvenes con sistemas digestivos inmaduros (Cowieson y Ravindran, 2007; Apajalahti *et al.*, 2004; Ravindran, 2010).

2.6.2 Xilanasa

La xilanasa ha sido diseñada para funcionar en todo el tracto gastrointestinal incluido el íleon, con el objetivo de reducir la viscosidad intestinal y degradar las paredes celulares del cereal (Oviedo, 2012).

El uso de la enzima xilanasa es para modificar las condiciones físico-químicas del contenido digestivo, romper las paredes celulares que son impenetrables para la flora intestinal normal, degradándolas y liberando las fuentes proteicas acelerando la hidrólisis de los polisacáridos no almidonosos, disminuyendo la viscosidad intestinal, lo que favorece la asimilación. Los beneficios de la xilanasa es reducir la viscosidad del contenido intestinal, producir mejora significativa de los parámetros zootécnicos y aumentar el valor nutricional y el valor económico de las materias primas (Zambrano, 2013).

Existen dos tipos de origen de la enzima xilansa:

Xilanasas de origen fúngico: *Aspergillus niger*. Tienen mayor actividad en pH ligeramente ácido, favorece para reducir la presencia de patógenos intestinales.

Xilanasas de origen bacteriano: *Trichoderma reesei* o *Bacillus subtilis*. Tienen mayor afinidad en medios de pH más alcalinos.

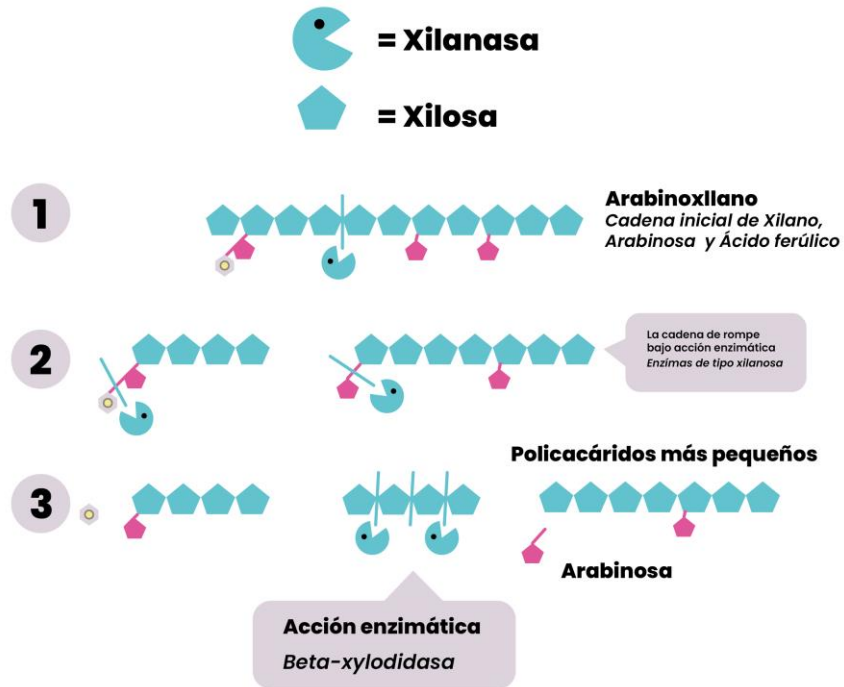
Las xilanasas actúan sobre los complejos polisacáridos de la ración, como los arabinoxilanos. Estos están presentes principalmente en los cereales, con tasas variables desde 5 al 50 % y se distinguen por una fracción soluble en el agua (arabinoxilanos soluble) y otra insoluble (arabinoxilanos insoluble) (Vandeplas y Bodin, 2012).

Están compuestos por azúcares de 5 carbonos que no pueden ser degradados por las enzimas endógenas del animal, contrariamente a los polisacáridos constituidos por azúcares de 6 carbonos, como lo es el almidón. Estos representan pues una fracción poco valorizable del alimento. Además, el arabinoxilano posee en sus estructuras ramificadas nutrientes tales, como proteínas, que no pueden ser accesibles por las enzimas intestinales. Gracias a su capacidad de fijar hasta 10 veces su propio peso en agua, el arabinoxilano soluble también aumenta la viscosidad de la ingesta, dificultando así el acceso de las enzimas digestivas a los nutrientes del bolo alimenticio. Las xilanasas, mediante la hidrólisis de los arabinoxilanos, permiten reducir sus efectos antinutricionales y aumentar así la valorización alimentaria, liberando los nutrientes contenidos y reduciendo la viscosidad intestinal (Vandeplas y Bodin, 2012).

Sobre su modo de acción, no todas las xilanasas producen el mismo tipo de arabinoxilanos. Los fragmentos son diferentes según su tamaño, o grado de polimerización, según el tipo de xilanasas (Janssens y Gaethofs, 2007), la xilanasas degrada el arabinoxilano, hidrolizando el enlace 1,4-D-xilosídico entre los residuos de xilosa, reduciendo la viscosidad y aumentando el rendimiento mediante la mejora de la energía metabolizable aparente y de la digestibilidad de los nutrientes (Bedford y Classen, 1992; Gonzalez *et al.*, 2017).

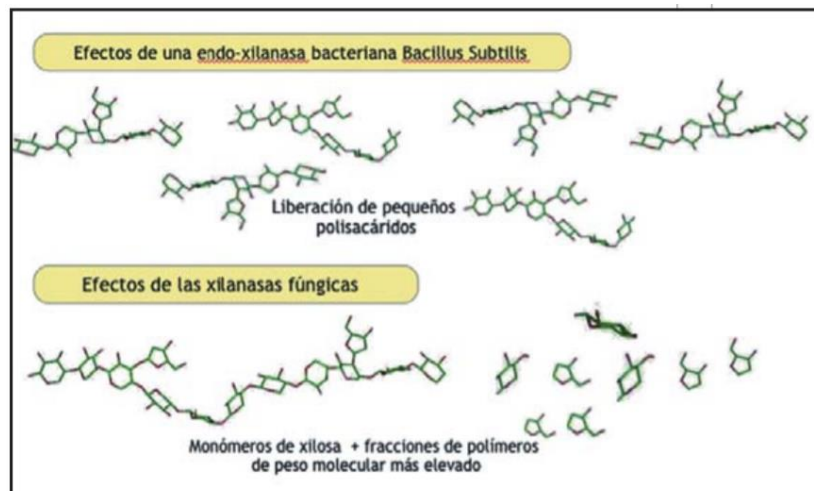
Figura 3. Acción enzimática sobre arabinoxilano.

Acción enzimática sobre Arabinoxilano



En la **Figura 4** se observa la actividad exo- y endo- de las enzimas de tipo xilanasa, distinguiendo una actividad exo-xilanasa y una actividad endo-xilanasa. La primera hidroliza la cadena de AX cortando un azúcar (xilosa) por su parte distal y, en cambio, la segunda corta aleatoriamente los enlaces entre xilosas, produciendo fragmentos de arabino xilo-oligosacaridos, más comúnmente llamados (A)XOS.

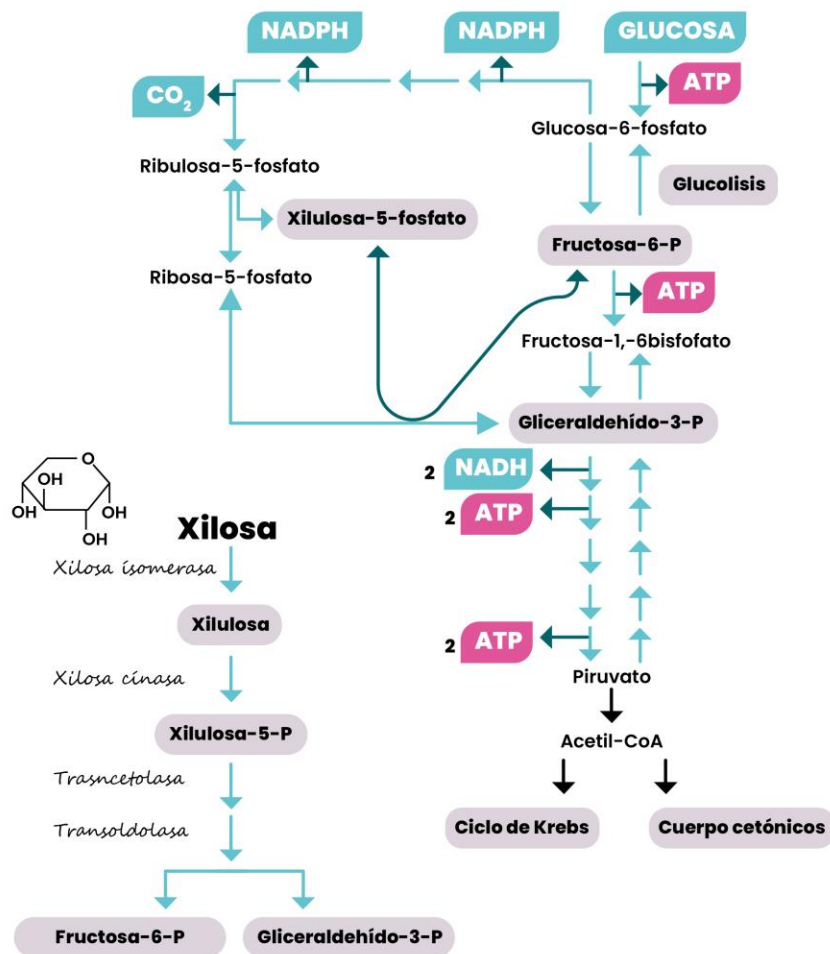
Figura 4. Actividad exo- y endo- de las enzimas de tipo xilanasa.



Vandeplas y Bodin, 2012.

La adición de las endo- β -(1,4)-D-xilanasas, conocidas como las enzimas xilanasas, son las principales enzimas involucradas en la degradación del arabinoxilano, dividen los arabinoxilanos hidrolizando internamente el enlace 1,4- β -D-xylosídico entre residuos de xilosa en el esqueleto de xilano de manera aleatoria. La xilosa es un monosacárido que contiene cinco átomos de carbono y que contiene un grupo funcional aldehído que tiene un isómero funcional que es la xilulosa. La xilulosa-5-fosfato es una molécula que actúa como intermediario en la ruta de las pentosas fosfato la cual su principal función es generar energía, esta ruta metabólica está relacionada con la glucólisis, la cual utiliza glucosa para generar ribosa.

Figura 5. Ruta de las pentosas-fosfato y glucólisis.



2.6.3 Utilización y beneficio del uso de las enzimas en la alimentación animal

La utilización de enzimas en la dieta de los conejos, en la mayoría de los casos, se trata de productos multienzima, que buscan un efecto global sobre la disponibilidad de los nutrientes de alimentos. Al igual de lo que ocurre con muchos antimicrobianos y aditivos, uno de las principales limitantes para su uso es la falta de registro en esta especie, por lo que su utilización está supeditada a la consecución de permisos específicos (Bonachera *et al.*, 2007).

Para desarrollar estrategias nutricionales precisas, es necesario identificar los nutrientes específicos, sus componentes bioactivos de los alimentos, que mejoran estos mecanismos de defensa. También es esencial saber qué nutrientes son digeridos en intestino delgado e intestino grueso y constituyen el sustrato de la microbiota cecal. Estas estrategias nutricionales deben centrarse alrededor del período de destete, ya que es una fase crítica para la sensibilidad a enfermedades digestivas, probablemente relacionados con los procesos de maduración digestiva, incluyendo el desarrollo de la microbiota y el sistema inmunológico (Gidenne y García, 2006).

Las enzimas se adicionan a la dieta con el principal objetivo de mejorar la disponibilidad de los nutrientes que no pueden ser digeridos por el propio sistema digestivo del animal. De esta manera se mejora la disponibilidad de la energía (mediante carbohidrasas que liberan los monómeros de diferentes fibras), proteína (mediante proteasas que mejoran la disponibilidad de aminoácidos), minerales (como las fitasas que liberan el fósforo vegetal poco disponible), del alimento lo que genera a una mejora del valor nutritivo, índice de conversión y costos en la elaboración de la misma dieta. En ocasiones se han relacionado también con una mejora de la salud digestiva al liberar sustancias con propiedades prebióticas (Bonachera *et al.*, 2007).

2.6.4. Actividad enzimática en conejos

El uso predominante del triticale en la alimentación de los animales se ha considerado en los programas de producción debido a que incrementa la calidad del cereal y el contenido de proteínas (Mergoum y Macpherson, 2004). El grano de centeno es una fuente de polisacáridos no amiláceos principalmente arabinosilanos en la pared celular del endospermo, en avicultura este cereal ocasiona una mayor viscosidad, una digestión lenta, absorción deficiente de nutrientes reduciendo el rendimiento del crecimiento (Van Krimpen *et al.*, 2017).

Arczewska-Wlosek *et al.* (2019), evaluaron la influencia de la adición de la enzima xilanasa en dosis de 200 mg/kg de alimento, en dietas con aumento de 5 niveles del 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de centeno en pollos de engorde, reportando que la suplementación de la dieta con xilanasa incremento los valores del comportamiento productivo durante el periodo de crecimiento, además, reportaron que en yeyuno e ileon disminuyó la viscosidad, incrementado la absorción de nutrientes.

Mendes *et al.* (2013), investigo el efecto de la incorporación de un alto nivel de triticale (60 %) sobre el comportamiento productivo de los pollos de engorde y la capacidad de las xilanasas incorporadas en diferentes dosis (0%,75%, 100% y 200%) en las dietas a base de triticale para pollos de engorde, y reporto como resultado que el nivel óptimo de suplementación enzimática de xilanasa en dietas a base de triticale es al 75% de la dosis recomendada (234 g/ton de la xilanasa), esta dosis incremento la liberación de xilooligosacaridos que actúan como promotores de la salud de los pollos de engorde mejorando la absorción de nutrientes presentes en la dieta.

Pourreza *et al.* (2007), examino la influencia de la suplementación de xilanasa en diferentes dosis (0,100, 200, 400 y 800 g/kg), en el rendimiento y la digestibilidad de dietas basadas en triticale (65%) en pollos de engorde, observando que la enzima mejoro la ganancia diaria de peso, el consumo de alimento, la tasa de conversión alimenticia y aumento la digestibilidad de energía y proteína, recomendando adicionar 200 g/kg de la enzima.

Sin embargo, Ciftci, *et al.* (2003), no encontraron diferencia en la utilización de xilanasa en gallinas ponedoras alimentadas con dietas que contenían triticale. El principal objetivo del uso de xilanasa en dietas para los animales es degradar la mayor fracción de polisacáridos no amiláceos presente en los cereales.

III. Justificación

En la producción animal se considera uno de los objetivos producir proteína al menor costo, y esto es de gran importancia debido al aumento de la población y a los costos de las materias primas. De acuerdo con la FAO, América Latina como el Caribe, tienen el potencial para ser un importante productor pecuario ya que posee ingredientes naturales, que satisfacen las demandas de alimentos, garantizando la seguridad alimentaria a nivel nacional e internacional. La adición de enzimas a dietas para animales ha aumentado en los últimos años, siendo una estrategia para mejorar la productividad (Duque, 2010). NutriNews (2016), publico productos que contenían enzimas que se pueden utilizar en la alimentación animal, observando que en su mayoría pertenecían a las especies de porcinos y aves, confirmando la falta de información y estudios de enzimas aplicadas en la producción cunícola.

El valor nutritivo de los alimentos depende de su composición química y de la capacidad que tiene el animal para usarlos en su metabolismo, existen factores intrínsecos y extrínsecos que son responsables de la variación del valor nutritivo de un alimento, los primeros se deben a las propiedades físicas y a la composición química del alimento, y los factores extrínsecos se relaciona con la capacidad de digerir y absorber los nutrientes producidos en la pared intestinal, entre los que se consideran el tiempo de tránsito, la capacidad enzimática o compuestos que inhiban la acción enzimática (Carabaño, 1995).

Los cereales son empleados como fuentes de energía en la alimentación de los animales, el triticale es un cereal usado en la producción animal, es una opción viable para el sector cunícola por sus bajos costos de producción, altos rendimientos en la siembra y a sus propiedades nutrimentales para mejorar la absorción de nutrientes en conejos en etapa de crecimiento-finalización, adicionando una enzima exógena en la dieta (xilanasas), misma que ya han sido reportada en varias investigaciones en otras especies, por lo que se desea conocer el efecto que tiene la adición de la enzima xilanasas suministrada en dietas que contengan triticale.

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

Se considera un impacto relevante realizar un estudio con adición de enzimas en la alimentación de conejos que permita comprender los mecanismos nutricionales y fisiológicos en conejos destinados a consumo humano, desarrollando dietas para la alimentación de conejos que se pondrán al alcance y conocimiento de los productores cunícolas del estado y del país.

IV. Hipótesis

La inclusión de la enzima xilanasa exógena en dietas para conejos elaboradas con triticale favorece el crecimiento de las vellosidades intestinales, obteniendo una mejor absorción de nutrientes aumentando el área de absorción, mejorando así la respuesta productiva, características de la canal y composición nutricional de la carne.

V. Objetivos

5.1 Objetivo general

- Evaluar la respuesta productiva, digestibilidad, morfometría del intestino delgado, características de la canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas que contengan triticale adicionada con una enzima exógena.

5.2 Objetivos específicos

- Evaluar los parámetros del comportamiento productivo en conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas que contengan triticale adicionadas con xilanasa.
- Medir la digestibilidad de nutrientes en conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas que contengan triticale adicionadas con xilanasa
- Evaluar las características de la canal de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas que contengan triticale adicionadas con xilanasa
- Evaluar la calidad nutrimental de la carne de conejo en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas que contengan triticale adicionadas con xilanasa
- Caracterizar histológica e histoquímicamente el intestino delgado y apéndice cecal de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas que contengan triticale adicionadas con xilanasa.

VI. Material y Métodos

6.1 Animales e instalaciones

El experimento se llevó a cabo en el área experimental cunícola de la Facultad de Medicina veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada en el Cerrillo piedras blancas, Toluca, Estado de México. Se utilizaron conejos de la raza Nueva Zelanda x California, los cuales fueron alojados en jaulas individuales, con su respectivo comedero y bebedero.

Los análisis se realizaron en los laboratorios de Bromatología, Metabolismo y de Tecnología y Ciencia de la Carne del departamento de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada en el cerrillo piedras blancas, Toluca, Estado de México.

Los estudios histológicos e histoquímicos se llevaron a cabo en el laboratorio de Histología y Biología de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Para determinar la respuesta productiva, digestibilidad, características de la canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización alimentados con dietas adicionadas con enzimas se utilizaron conejos machos destetados (35 días de edad) de la raza Nueva Zelanda X California, con un peso vivo promedio de 804 ± 105 gramos. Los conejos se mantuvieron en jaulas individuales (40x60 cm) de acero galvanizado, disponiendo de comederos y bebederos individuales.

6.2 Tratamientos y diseño experimental

Se utilizaron 120 conejos asignados aleatoriamente a una de las 4 dietas experimentales, formuladas diferenciándose en el nivel de inclusión de la Xilanasa (XilaBlend 6X), siendo: T1: Dieta a base de heno de alfalfa (40%), triticale (14%),

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

pasta de soya (10.5%), salvado de trigo (14%), heno de avena (16%), aceite vegetal (2.7%) y una premezcla de vitaminas y minerales (%). Los tratamientos 2, 3 y 4 fueron similares al T1 con la inclusión de diferentes niveles de la enzima xilanasa adicionando 66, 133 y 200 mg/kg (4000, 8000 y 12000 XU/kg de alimento, respectivamente). La composición de los ingredientes experimentales se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 9. Composición de la dieta experimental suministrada y aporte nutricional calculado.

Ingrediente	% de inclusión BS
Alfalfa	40.00
Triticale	14.00
pasta de soya	10.50
Salvado	14.00
Heno de avena	16.00
Premix ¹	2.50
Antibiótico	0.04
Sacaromyces	0.06
Aceite vegetal	2.70
Carbonato de calcio	0.20
Total	100
Composición nutricional BS	
Materia seca (%)	91.11
Energía Digestible (Mcal/kg)	2.50
Proteína Cruda (%)	16.00
Fibra cruda (%)	16.60
FDN (%)	34.68
FDA (%)	19.50
Extracto Etéreo (%)	4.50
Calcio (%)	0.86
Fosforo (%)	0.40

Almidón (%)	12.70
-------------	-------

¹Premix: Calcio 14,28%, Fosforo 0.026%, Cenizas 46.34%.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, a cada tratamiento se le asignaron **aleatoriamente** 30 conejos de 35 días de edad con un peso inicial promedio de 804±105 gramos, en un periodo total de 35 días durante el cual recibieron separadamente una de las cuatro dietas experimentales (tratamientos). En el periodo experimental, los conejos se pesaron diariamente, para evaluar la respuesta productiva en términos de consumo de alimento y ganancia diaria de peso.

Las variables medidas en el comportamiento productivo fueron: Consumo diario de alimento, ganancia diaria de peso, conversión alimenticia y eficiencia alimenticia.

6.3 Recolección muestra

Una vez concluido el experimento, se procedió a la matanza de los conejos según el procedimiento descrito por Blasco y Ouhayoun (1996), y se tomaron muestras de los órganos duodeno, yeyuno, íleon y apéndice cecal, y posteriormente se realizaron las siguientes mediciones: peso de canal caliente y peso de la canal fría, posteriormente se tomó una muestra del musculo *Longissimus dorsi* para medir el pH 45 min. y 24 h., color de la carne, capacidad de retención de agua, análisis químico proximal, análisis de fuerza de corte.

6.4 Análisis histológicos e histoquímicos

Las muestras de tejido intestinal colectadas fueron fijadas en formol al 10% durante 48 h, posteriormente se lavaron con agua para eliminar el exceso de fijador y se deshidrataron en soluciones de alcohol con gradientes de concentración progresivos. Una vez deshidratados, los tejidos fueron incluidos en parafina para después ser cortados a 4 µm de espesor en el microtomo (Leica RM2125 RTS). Los

cortes obtenidos fueron montados en portaobjetos, desparafinados y rehidratados para después ser teñidos mediante la técnica de rutina con Hematoxilina-Eosina (HE) y Azul Alcían (PAS). Los cortes teñidos fueron observados al microscopio (Leica DM1000) (Aguilar, 2008).

Se evaluó en los cortes del duodeno, yeyuno e íleon, la altura de las vellosidades, donde se midió desde la parte superior de las vellosidades hasta la transición de la cripta, el ancho de las vellosidades se midió en la mitad de la altura, la profundidad de la cripta se definió como la invaginación entre dos vellosidades, se calculó la relación vellosidad:cripta dividiendo la altura de la vellosidad entre la profundidad de la cripta, y se realizó el cálculo del área de las vellosidades intestinales, teniendo en cuenta que se considera a la vellosidad como estructura cilíndrica, utilizando la siguiente fórmula descrita por Nain *et al.*, (2012):

$$2\pi * \left(\frac{\text{Ancho promedio de la vellosidad}}{2} \right) * \text{Altura de la vellosidad}$$

Con respecto al corte histológico del apéndice cecal se realizó la medición del alto y ancho del domo, que corresponde a la estructura piramidal (Valdivia *et al.*, 2007). Para la tinción histoquímica (PAS), se realizó un conteo de las células caliciformes por vellosidad y base en cada tejido (duodeno, yeyuno, íleon y apéndice cecal).

6.5 Determinación de digestibilidad

Para determinar la digestibilidad de nutrientes en las dietas suministradas a los conejos en etapa de crecimiento-finalización se utilizaron 10 conejos por tratamiento (40 en total del experimento), se alimentaron con las mismas dietas adicionándoles 0.5% de óxido crómico (Cr₂O₃) como marcador externo indigestible (Stein *et al.*, 2007). Se recolectaron heces de los conejos en los días 7, 14, 21, 28 y 35 del experimento, posteriormente, se analizaron en las dietas y heces: materia seca

(método 930.15), proteína cruda (método 984.13 A-D), extracto etéreo (método 920.39A), fibra cruda (método 985.29) y cenizas (método 942.05) según AOAC (2006). Las fibras detergente neutro y ácido se determinaron según Van Soest *et al.* (1991) en digestor ANKOM200 (ANKOM Technology Corporation, Fairport, NY, USA), agregando alfa amilasa.

En las dietas y heces se analizó el contenido de óxido crómico (Cr_2O_3) por espectrofotometría a 430 nm, después de incinerar la muestra durante 12 h a 450°C (Fenton y Fenton, 1979). Posterior a la realización del análisis químico proximal de las dietas y de las heces, se calculó la digestibilidad aparente del tracto total de las dietas usando el método de indicador mediante la siguiente ecuación (Stein *et al.*, 2007):

Digestibilidad aparente, %=

$$[1 - (\text{Nutriente}_{\text{excretado}} / \text{Nutriente}_{\text{ingerido}}) \times (\text{Marcador}_{\text{ingerido}} / \text{Marcador}_{\text{excretado}})] \times 100$$

6.6 Parámetros a evaluar

6.6.1 Análisis químico-proximales

Las muestras de los alimentos que se utilizaron en las dietas fueron analizadas para determinar el contenido de materia seca - MS (Método 2001.12), materia mineral – MM (Método 935.12), proteína bruta - PB (Método 968.06), extracto etéreo - EE (Método 920.39), conforme a metodologías descritas por AOAC (2006) y fibra en detergente neutro - FDN, fibra en detergente ácido - FDA y lignina - LIG, según Van Soest (1994).

6.6.2 Comportamiento productivo

6.6.2.1 Consumo de alimento

El consumo de materia seca (CMS) fue evaluado diariamente durante todo el período experimental. Este parámetro fue calculado por la cantidad de alimento suministrado en un día y sustraído por el respectivo remanente colectado y pesado en la mañana siguiente a su ofrecimiento. El pesaje del alimento se realizó diario a las 08:00 horas.

6.6.2.2 Ganancia diaria de peso

Los conejos se pesaron diariamente durante el periodo experimental, el peso se registró a las 9:00 horas. La ganancia diaria de peso se obtuvo según la siguiente fórmula:

$$\text{GDP} = (\text{Peso final} - \text{Peso inicial}) / \text{Periodo (35 días del experimental)}$$

6.6.2.3 Conversión alimenticia

Para el cálculo de la conversión alimenticia (CA) se utilizaron los valores del consumo de alimento y la ganancia de peso, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{CA.} = \text{Consumo de alimento} / \text{Ganancia de peso}$$

6.6.2.4 Eficiencia alimenticia

Para el cálculo de eficiencia alimenticia (EA) se utilizaron los valores de ganancia diaria de peso y consumo de alimento, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{EA} = (\text{Ganancia diaria de peso} / \text{Consumo de Alimento}) \times 100$$

6.6.3 Determinación de pH en estómago e intestino delgado

Se realizó la toma del pH en el estómago, duodeno, yeyuno e íleon, y ciego, una vez sacrificado el animal, degollado, desangrado y eviscerado, se tomaron las vísceras y se realizó la toma de la medición del pH con ayuda de un potenciómetro. Teniendo cuidado de proteger el equipo con una cubierta plástica en condiciones de humedad elevada y baja temperatura.

6.6.4 Peso vivo al sacrificio, peso canal caliente, peso canal fría y rendimiento canal

El día final del periodo experimental, que fueron a los 70 días de edad de los conejos, se realizó el pesaje final de los conejos, posteriormente se realizó la matanza de acuerdo con el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana (NOM-033-SAG/ZOO-2014), posterior al degolle y eviscerado, se pesó la canal, y se obtuvo el peso de canal caliente (PCC); transcurridas 24 h de refrigeración a 4°C, se pesó nuevamente la canal y se obtuvo el peso de la canal fría (PCF). El rendimiento de canal (RC) se utilizó los valores de peso canal caliente y peso vivo a la matanza, mediante la siguiente ecuación:

$$RC = (\text{Peso canal caliente} / \text{Peso vivo al sacrificio}) \times 100$$

6.6.5 Mediciones morfométricas

Posterior a la matanza, las canales se refrigeraron por 24 h, a temperatura de 4 °C, y se realizaron las siguientes mediciones: Longitud canal, desde la articulación atlanto-occipital hasta la tuberosidad isquiática; longitud de pierna, desde la protuberancia del fémur hasta la base del mismo; perímetro de pierna, ancho de pierna; perímetro de grupa, ancho de grupa, perímetro de cintura; ancho de cintura;

perímetro de tórax, a la altura de la apófisis espinosa de la 7^a-8^a vértebra torácica (Blasco *et al.*, 1982).

6.6.6 Composición química de la carne

Posterior a la matanza, se colectaron muestras del músculo *Longissimus dorsi*, para analizar la composición química nutrimental de la carne siguiendo los procedimientos descritos por la AOAC (2006); las muestras fueron procesadas para determinar materia seca según el método 2001.12, proteína usando el método de Kjeldahl (968.06), cenizas por incineración a 550°C según el método 935.12 y extracto etéreo usando el método Soxlet (920.39).

6.6.7 Mediciones instrumentales

6.3.7.1 pH

La medición de pH, se llevó a cabo con el potenciómetro, se realizó una perforación en el musculo *Longissimus dorsi*, perpendicular a la masa muscular y a dos centímetros de profundidad, se observó el valor medido, y posteriormente se retiró el electrodo.

6.3.7.2 Color

Se utilizó un colorímetro evaluando la luz mediante el uso de filtros de tres o cuatro colores (longitud de onda específica), y se obtuvo el valor de L* (luminosidad) de claro a oscuro, a* de verde a rojo y b* de azul a amarillo, Cromo o saturación (c*) y Hue o tono (H*). Se realizó la toma de medición del color en el musculo *Longissimus dorsi*.

6.3.7.3 Pérdida de agua por cocción

Se colectó una muestra de lomo por cada canal, promedio de 5 g con espesor de 1.5 cm, fue introducida en bolsa de polietileno y sometida a un baño de agua a 75°C, transcurrido 1 hora, la muestra se retiró de la bolsa, se secó con papel filtro (sin presionar) y se pesó. El porcentaje de pérdida de agua por cocción (%PA) se calculó con la siguiente fórmula:

$$PA = (\text{Peso inicial de la muestra} - \text{Peso final de la muestra}) \times 100$$

6.3.7.4 Fuerza de corte

La evaluación de la fuerza de corte se realizó con el equipo Warner-Bratzler, donde se obtuvo los valores de resistencia al corte (kg/cm²), de una muestra de carne obtenida posterior al cálculo de pérdida de agua por cocción. El corte se realizó perpendicularmente a las fibras con la ayuda de dos cuchillas.

6.7 Análisis estadístico

En el presente estudio se utilizó un diseño experimental completamente al azar, donde los datos recolectados fueron procesados con análisis de varianza según el procedimiento de modelo lineal general con ayuda del programa estadístico SAS (2002). La comparación de medias se realizó mediante el método de Tukey (Steel *et al.*, 1997).

Para las variables del análisis histológico e histoquímico se evaluaron bajo el siguiente modelo estadístico

$$y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 x_i + \mu_{ij}$$

Donde y_{ij} es la variable a evaluar para el nivel de xilanasa, β_0, β_1 parámetro de regresión, x_i niveles de xilanasa, μ_{ij} error aleatorio. Antes de realizar el análisis estadístico a las variables estudiadas, se verificó los supuestos de normalidad, la

comparación de medias se realizó mediante el método de Tukey, considerando que $P < 0.05$ indica una diferencia estadísticamente significativa (Steel *et al.*, 1997), y los efectos lineales y cuadráticos se evaluaron por polinomios ortogonales con un nivel de significancia de $P < 0.05$.

VII. Límite de espacio

El trabajo se realizó en el área experimental cunícola de la Facultad de Medicina veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada en el Cerrillo piedras blancas, Toluca, Estado de México, C.P. 50090. Sus coordenadas son; Longitud (dec): -99.679167, Latitud (dec): 19.415833. La localidad se encuentra a una altura de 2632 metros sobre el nivel del mar su clima es templado subhúmedo con temperatura media anual de 13.7 °C, la precipitación media anual varía de 1,000 a 1,200 mm; las heladas son de 80 a 140 días en la época fría (INAFED-SEGOB, 2010).

Los análisis se realizaron en los laboratorios de Bromatología, Metabolismo y de Tecnología y Ciencia de la Carne del departamento de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada en el cerrillo piedras blancas, Toluca, Estado de México, y en el laboratorio de apoyo a Histología y Biología de la FESC-UNAM.

VIII. Resultados y discusión

Durante el periodo experimental de crecimiento-finalización los conejos permanecieron sanos. Las dietas ofrecidas en el experimental fueron formuladas para ser iso-energeticas (2.5 Mcal/kg) e iso-proteicas (16%) y la adición de la enzima xilanasa se incluyó en dosis equidistantes (0, 4000, 8000 y 12000 XU/kg).

8.1 Comportamiento productivo

El comportamiento productivo por días se muestra en el cuadro 10. El peso vivo al día 4 fue mayor en los conejos alimentados con la adición de la enzima y menor en el tratamiento testigo ($P < 0.05$), y en el día 7 el peso vivo fue mayor en los conejos que se adiciono 8000 XU/kg de la enzima, similar en los tratamientos que se adiciono 4000 y 12000 XU/kg y menor en el tratamiento control ($P < 0.05$). En el consumo diario de alimento se encontró diferencias significativas en el día 4 ($P < 0.05$), siendo mayor en los conejos alimentados con 4000 y 8000 XU/kg, similar en el tratamiento que se adiciono 12000 XU/kg, y menor en el tratamiento control, con respecto a la ganancia de peso, igualmente se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) en el día 4 siendo mayor en los conejos alimentados con la adición de la enzima y menor en el tratamiento control, en las variables de conversión y eficiencia alimenticia no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos.

Los valores del peso vivo de los conejos por días se presentan en la gráfica 1, observando que en el peso vivo al día 4 y día 7 fue menor en los conejos alimentados con la dieta testigo, y mayor peso en los conejos que con enzima xilanasa en la dieta.

Se ha evaluado la endo-1,4-beta-xilanasa como aditivo alimentario para conejos de engorda en dietas a base de trigo con la inclusión de 1.050, 1.500 y 3.000 EPU/kg en el alimento, no encontrando diferencias estadísticas en los parámetros productivos medidos (Vandeplas y Bodin, 2012). En otras especies, Arczewska-Wlosek *et al.* (2019), evaluaron la adición de la enzima xilanasa en dosis de 200 mg/kg de alimento (1000 FXU/g), en dietas con aumento de 5 niveles del 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de centeno en pollos de engorde, reportando que la suplementación de la dieta con xilanasa incremento los valores del comportamiento productivo durante el periodo de crecimiento, además, reportaron que en yeyuno e íleon se disminuyó la viscosidad, incrementado la absorción de nutrientes. Mendes *et al.* (2013), investigaron el efecto de la incorporación de altos niveles de triticale sobre el comportamiento productivo de los pollos de engorde y la capacidad de las xilanasas incorporadas en diferentes dosis en las dietas a base de triticale, reportando como resultado que el nivel óptimo de suplementación enzimática de xilanasa en dietas a base de triticale es al X75 (2860 U/g) de la dosis recomendada (234 g/tn de la xilanasa), esta dosis incremento la liberación de xilooligosacaridos que actúan como promotores de la salud de los pollos de engorde mejorando la absorción de nutrientes presentes en su dieta. Pourreza *et al.* (2007), reporto que la adición de la suplementación de xilanasa en diferentes dosis, en el rendimiento y la digestibilidad de dietas basadas en triticale en pollos de engorde, observando que la enzima mejoró la ganancia diaria de peso, el consumo de alimento, la tasa de conversión alimenticia y aumento la digestibilidad de energía y proteína, recomendando adicionar 200 g/kg de la enzima (1600 XTU/kg). He,Xin *et al.* (2020) indicó que en cerdos suplementados con 30 mg/kg de xilanasa (24000 BXU/kg) disminuye la viscosidad de la digesta del yeyuno, esto debido a que la enzima xilanasa hidroliza el enlace 1,4- β -D-xylosidico de los arabinoxilanos dejando residuos de xilosa. La xilosa se puede oxidar a CO₂ para la producción de energía o se metaboliza a través de la vía de las pentosas fosfato (Huntley y Patience, 2018). La xilosa es transportada a través de la mucosa por transporte activo, teniendo una menor afinidad por el transportador que la glucosa o la galactosa. Huntley y

Patience, (2018) informan que el transporte de xilosa se da en la mucosa a lo largo de tracto digestivo, incluido el colon. El arabinoxilano en la dieta aumenta la viscosidad de la digesta, y la adición de la xilanasa promovió el crecimiento de los conejos en el día 4 y 7 del periodo experimental, no se observó el mismo comportamiento en los días posteriores hasta su finalización. Estos resultados podrían estar asociados con la viscosidad de la digesta en los diferentes tratamientos de esos días. Las xilanasas, mediante la hidrolización de los arabinoxilanos, permiten reducir sus efectos antinutricionales, reduciendo la viscosidad intestinal, liberando así los nutrientes contenidos. Los resultados de Vandeplass y Bodin (2012) fueron similares a los reportados en el presente trabajo en las variables del comportamiento productivo en el día final del experimental; se atribuye no observar diferencias debido a la maduración del tracto digestivo que en los conejos se lleva a cabo de los 40 a los 45 días de edad, y al proceso de cecotrofia que caracteriza a esta producción, siendo el ciego del conejo una cámara fermentativa con un pH óptimo para la producción de la enzima xilanasa. Las principales poblaciones bacterianas que habitan en los diferentes compartimentos gastrointestinales del conejo pertenecen principalmente al filo Firmicutes (45.9%), seguido del filo Bacteroidetes (38.9%), siendo el ciego y el colon lo órganos quienes presentan la mayor riqueza y diversidad de especies bacterianas (Cotozzolo *et al.*, 2020).

El ciego presenta una prevalencia de bacterias de la familia Ruminococcaceae (filo Firmicutes) del 19 % (Cotozzolo *et al.*, 2020), y se ha informado que esta familia está integrada con genes que codifican para enzimas que degradan una amplia variedad de polisacáridos (Cotozzolo *et al.*, 2020). Están enriquecidas con enzimas endo-1,4 beta-xilanasa, celulasa, alfa-glucosidasas y beta-galactosidasas (Biddle *et al.*, 2013). Estas enzimas presentan un modo de unión a carbohidratos (CBM), es decir un dominio de proteína que se encuentra en enzimas activas de carbohidratos, estando presentes en la familia el CBM6, CBM22 y CBM48; donde el CBM6 se une a los componentes de celulosa y hemicelulosa del material vegetal, mientras que CBM22 se une principalmente a xilano y CBM48 se asocia con glucógeno (Biddle

et al., 2013). Por lo tanto, esta familia microbiana está equipada para escindir los componentes de los arabinosilanos específicamente en los enlaces b 1-4 dejando en libertad los xilanos en el conejo. Adicionalmente, de acuerdo con lo reportado por Frese *et al.* (2015), el filo Bacteroidetes presenta una media más alta de genes que codifican glucósido hidrolasas, como β -xilosidasas, endo-1,4- β -xilanasas y α -N-arabinofuranosidasas, y polisacáridos liasas por genoma en comparación con los miembros del filo Firmicutes, lo que los convierte en los principales degradadores de polisacáridos complejos (Frese *et al.*, 2015). Por lo anterior, la diversidad de especies bacterianas presentes en el ciego es una fuente potencial de xilanasas en el conejo.

8.2 Digestibilidad

En el cuadro 11 se presentan los valores medios de digestibilidad de los conejos en los días 7, 14, 21, 28 y 35. Con respecto a los valores de digestibilidad aparente del tracto total de proteína se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$); en el día 14 fue mayor la digestibilidad en los conejos alimentados con 8000 XU/kg y menor en la dieta control y con 4000 XU/kg; en el día 28 fue mayor en los conejos alimentados con 8000 XU/kg y menor en los demás tratamientos, y en el día 35 fue menor los valores de DPC en los conejos alimentados con 12000 XU/kg y menor en los demás tratamientos evaluados.

Se observaron diferencias significativas para la digestibilidad de materia seca ($P < 0.05$) en los días 7, 14, 28 y 35, siendo el día 7 mayor la DMS en los conejos alimentados con la mayor cantidad de adición de la enzima 12000 XU/kg, similar los tratamientos de 4000 y 8000 XU/kg y menor el tratamiento control, en el día 14 fue mayor la DMS en los conejos alimentados con 8000 y 12000 XU/kg y menor en los conejos alimentados con 0 y 4000 XU/kg; en el día 28 fue mayor la DMS en el tratamiento con 8000 XU/kg, y menor en el tratamiento con 4000 XU/kg, y en el día 35 la DMS fue menor en los conejos alimentados con 8000 y 12000 XU/kg, y mayor en los conejos alimentados con 0 y 4000 XU/kg.

Los datos sobre la digestibilidad de materia orgánica se observa diferencias significativas ($P < 0.05$), en el día 7 fue mayor en los conejos alimentados con 8000 XU/kg, y menor en los tratamientos de 4000 y 12000 XU/kg; en el día 14 fue menor la DMO en el tratamiento adicionando 12000 XU/kg, y mayor en los tratamientos de 0 y 4000 XU/kg, y en el día 21 y 28 la DMO fue mayor en los conejos alimentados con 4000 XU/kg y menor en los conejos alimentados con 12000 XU/kg.

Con respecto a la digestibilidad de fibra de detergente neutro se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el día 7 siendo mayor en los conejos alimentados con 8000 XU/kg, similar en los conejos alimentados con 4000 y 12000 XU/kg, y menor en los conejos alimentados con la dieta control; y en el día 35 la DFDN fue menor en los conejos alimentados con 8000 y 12000 XU/kg, y mayor en los tratamientos adicionando 0 y 4000 XU/kg. En la digestibilidad de fibra de detergente acida, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$).

Los factores antinutricionales en las dietas causan cambios en la digestibilidad, los factores que afectan la digestibilidad según Thamaga *et al.* (2021) son las enzimas, el ácido clorhídrico y la bilis por secreciones endógenas. El potencial enzimático en fase de crecimiento es bajo durante el periodo de destete en los conejos y tiende a aumentar con la edad. Arruda *et al.* (2000) informan que, en el periodo posterior al destete de los conejos, la capacidad de digestión de los nutrientes en el intestino delgado no puede ser suficiente para hidrolizar y hacer disponible los nutrientes. Andrade *et al.* (2019), evaluaron la inclusión de *Vigna unguiculata* en la dieta de los conejos sobre el crecimiento y la digestibilidad de los nutrientes, en donde midieron los coeficientes de digestibilidad aparente total del tracto de materia orgánica, proteína cruda y fibra de detergente neutra entre los 63 y 67 días de edad reportando resultados similares a nuestro trabajo de materia orgánica (55.3% – 56.8%), FDN (27.3% - 30.8%), sin embargo reportaron una

tendencia hacia una disminución en la digestibilidad de la proteína cruda reportando valores menores a nuestro trabajo (64.4% - 68.9%). Khan *et al.* (2021) reportaron una mayor digestibilidad de la materia seca (70.9%) y la FDN (48.7 %) atribuyendo a mejorar la conversión alimenticia de conejos en crecimiento alimentados con enzimas y levaduras en comparación con el grupo testigo, estos valores son mayores a lo reportado en nuestro trabajo debido a la composición de las dietas. En el presente estudio los conejos alimentados con 8000 XU/g presentaron una mayor digestibilidad de proteína y materia seca lo que indica una utilización más eficiente de estos nutrientes en el tracto digestivo hasta los 63 días de edad.

8.3 pH

No se observaron diferencias significativas ($P>0.05$) en el pH del estómago, intestino delgado y ciego (Cuadro 12). En el conejo adulto se ha reportado que el pH gástrico se encuentra entre 1 a 2, sin embargo, el pH aumentado observado en los tratamientos se debe al efecto neutralizador del lactato generado por los microorganismos presentes en los cecotrofos (Davies 2003). La medición del pH en el presente estudio se realizó en la parte media de cada sección reportada, siendo similar al rango reportado del pH en el intestino delgado de conejos (6,4 a 7,4) (Merchant *et al.*, 2011). Con respecto al ciego se ha reportado un pH más bajo que en el intestino delgado, entre 5,9-6,4 (Castellini *et al.*, 2007; Merchant *et al.*, 2011), en el presente trabajo se realizó la medición en la parte distal del ciego siendo el apéndice cecal un órgano que se caracteriza por participar en la secreción de bicarbonato para amortiguar la acidez cecal (Valdivia *et al.*, 2007; Stan., 2014).

8.4 Características de la canal

La adición de la enzima xilanas no altero ($P>0.05$) las características de la canal y calidad de la carne de conejos alimentados con dietas adicionadas con xilanas (cuadro 13). Se conoce poca información sobre los efectos de la adición de la enzima xilanas en la calidad de la carne de conejo. Khan *et al.* (2021) reportaron

que la inclusión de enzimas (celulasa, amilasa y proteasa) y levadura, no afectó a los rasgos fisicoquímicos y el perfil químico de la carne de conejos. A pesar de que los valores del color instrumental no fueron estadísticamente significativos entre los grupos, se considera la carne de conejo una carne blanca y muy valorada por sus propiedades nutricionales estando los datos reportados del presente estudio dentro del rango normal de la carne de conejo.

8.5 Histológico

Los cortes de las vellosidades intestinales se observan en la Figura 6, las dimensiones de las vellosidades intestinales fueron afectadas ($P < 0.05$) por la adición de la xilanasa (Cuadro 14). En la sección del duodeno, se observó un efecto lineal ($P = 0.004$) ascendente en la altura de la vellosidad, siendo mayor ($P < 0.05$) en los conejos alimentados con 8000 y 12000 XU/kg respecto a las dosis de 0 y 4000 XU/kg, en la profundidad de la cripta no se presentó diferencias significativas entre las dosis ($P < 0.05$), sin embargo, se exhibió un efecto lineal ($P = 0.025$) descendente, en donde a mayor cantidad de xilanasa se tuvo menor profundidad de la cripta.

En la relación altura vellosidad:profundidad de la cripta también se observó un efecto lineal ($P = 0.001$) ascendente de la dosis xilanasa, siendo mayor ($P < 0.05$) en los conejos alimentados con las dosis de 8000 y 12000 XU/kg comparado con los conejos sin xilanasa.

En la sección del yeyuno se observó un efecto lineal ascendente en las mediciones de la altura de las vellosidades ($P = 0.017$) y la relación altura vellosidad:profundidad de la cripta ($P = 0.001$), y un efecto cuadrático de la dosis para las variables: ancho de las vellosidades ($P = 0.007$), profundidad de la cripta ($P = 0.003$) y área calculada de las vellosidades ($P = 0.025$). La altura de la vellosidad del yeyuno fue mayor ($P < 0.05$) en la dosis de 12000 XU/kg, contrario en los conejos alimentados con 4000 XU/kg que tuvieron una menor altura y similar en los conejos alimentados con la dosis de 0 y 8000 XU/kg. La profundidad de la cripta del yeyuno, fue menor ($P < 0.05$) en los conejos alimentados con cualquiera de las dosis de xilanasa comparado con

la dosis de 0 XU/kg, por el contrario la relación de la altura vellosidad:profundidad de cripta fue mayor ($P<0.05$) en los conejos alimentados con la enzima xilanasa y menor en el tratamiento 0 XU/kg. El área calculada fue menor ($P<0.05$) en el tratamiento de 8000 XU/kg respecto al tratamiento sin xilanasa.

Con respecto a la sección del íleon se observó que la altura de las vellosidades fue mayor ($P<0.05$) en los conejos alimentados con 4000 y 12000 XU/kg, seguido por los conejos alimentados con 8000 XU/kg y menor altura en la dosis control, reportando un efecto lineal ($P=0.045$) ascendente en la altura de las vellosidades; en la medición del ancho de las vellosidades se observó igualmente un efecto lineal ($P=0.001$) ascendente, siendo mayor ($P<0.05$) el ancho con la dosis de 12000 XU/kg comparado a la dosis 0; con respecto a la profundidad de la cripta, esta fue mayor ($P<0.05$) en el íleon de conejos a los que se les adicionó la dosis de 4000 XU/kg, comparado con los conejos con las dosis de 0 y 12000 XU/kg; se observó un efecto cuadrático ($P=0.001$) de la dosis de xilanasa en la profundidad de la cripta.

La relación de la altura vellosidad:profundidad de cripta fue mayor ($P<0.05$) en los conejos con la dosis de 12000 XU/kg, comparado con la dosis de 4000 XU/kg. El área de la vellosidad calculada del íleon fue mayor ($P<0.05$) en los conejos con las dosis de 4000 y 12000 XU/kg respecto a la dosis 0, pero similar con la dosis de 8000 XU/kg, y la naturaleza del efecto fue lineal ($P=0.017$) ascendente.

En el Cuadro 15 se presenta la medición de la altura del domo del apéndice cecal que fue afectada de forma lineal ($P=0.001$) ascendente por la dosis de xilanasa, donde los conejos alimentados con dietas adicionadas con 8000 y 12000 XU/g de xilanasa mostraron la mayor ($P<0.005$) área del domo respecto a los conejos de la dosis 0 y siendo similar a los conejos de la dosis de 4000 XU/kg. En la Figura 7 se observa los cortes histológicos del apéndice cecal de conejos Nueva Zelanda×California a los 70 días de edad.

La morfología intestinal es el principal indicador de la salud intestinal (Laudadio *et al.*, 2012). Las alteraciones morfológicas del intestino delgado pueden afectar el área de absorción de nutrientes y por ende su transporte en esta superficie

(Seyyedini, y Nazem., 2017). La medición morfológica en el tracto digestivo ayuda a evaluar la superficie del intestino para la integridad de la mucosa (He *et al.*, 2020). Donaldson *et al.*, (2021), reportaron en aves que el centeno puede agregarse a las dietas de pollos de engorda como fuente alternativa de energía, sin embargo, al adicionar la xilanasa mejoro la respuesta de la mucosa intestinal, aumentando el área de superficie de absorción y la proporción de vellosidades y criptas, recomendando evaluar diferentes dosis sobre los efectos de la interacción del centeno y la xilanasa. En tilapias la suplementación con xilanasa en la harina de soja modifico la composición de microbiota intestinal, aumentando la concentración de ácido butírico en el intestino y mejorando la morfología intestinal; Paralelo a lo que reporta Šimić *et al.*, (2023), donde reportaron los efectos de suplementar xilanasa y xilooligosacáridos en dietas que contienen salvado de trigo, en pollos de engorda, e informaron que al final del experimento se reflejó un contenido numéricamente mayor de ácidos grasos de cadena corta en el ciego; por otro lado, Luo *et al.*, (2009), reporto en pollos de engorda que la suplementación de xilanasa mejoró la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas en el intestino delgado, sugiriendo que los polisacáridos no amiláceos pueden promover el recambio celular del tracto gastrointestinal y contrarrestar los efectos negativos sobre la morfología intestinal, reduciendo la viscosidad en el intestino delgado, permitiendo una difusión más rápida de las enzimas digestivas y sustratos, mejorando así la tasa de absorción y digestión de nutrientes, siendo el principal modo de acción de la enzima xilanasa en dietas que contienen polisacáridos no amiláceos en animales no rumiantes (Šimić *et al.*, 2023). Makovicky *et al.* (2014), reporto aspectos histológicos del intestino delgado de conejos bajo restricción alimenticia, atribuyendo un aumento compensatorio en la altura de las vellosidades. En el presente estudio muestra que al adicionar la enzima xilanasa favoreció el crecimiento de las vellosidades del duodeno, yeyuno e íleon en forma lineal. Con respecto al ancho de las vellosidades, en la sección del íleon incremento el ancho en los tratamientos que se les adiciono la enzima xilanasa, lo cual está relacionado con la actividad de la enzima, en este sitio se ve disminuido debido al incremento

del pH lo que puede provocar incremento de la viscosidad lo que ocasiona una inflamación en la vellosidad, provocando que el espacio que existente entre las vellosidades se reduzca y por lo tanto, el área de la vellosidad aumente disminuyendo así la superficie de contacto de los nutrientes con la superficie de las vellosidades, lo cual afecta la cantidad de nutrientes que se pueden absorber.

En la relación de la altura de las vellosidades:profundidad de las criptas de los tres segmentos aumento adicionando la enzima xilanasa, debido a la actividad de la enzima en los diferentes secciones del intestino; la enzima adicionada en el presente estudio tiene su actividad máxima enzimática a un pH de 4.8 a 6.4; encontrándose esos valores al inicio del duodeno, sin embargo, en el yeyuno e íleon el pH se modificó volviéndose ligeramente más alcalino, por lo tanto, se observó un menor crecimiento de las vellosidades intestinales; de igual manera en la altura del domo del apéndice cecal incremento en los tratamientos que contenían xilanasa; este efecto pudo deberse a que existen microorganismo del filo Firmicutes, y Bacteroidetes que son capaces de producir xilanasa y que actúan a un pH diferente a la enzima añadida a los tratamientos (Cotozzolo *et al.*, 2020, Biddle *et al.*, 2013, Frese *et al.*, 2015), por lo cual, en el presente estudio, la diferencia en el crecimiento de las vellosidades pudo deberse a la actividad de la enzima dependiendo su origen, es decir, la enzima añadida actuó en duodeno y la enzima producida en el ciego, tuvo su actividad mayor en el apéndice cecal.

8.6 Histoquímico

En la Figura 8 se muestran las imágenes de las vellosidades del intestino delgado y apéndice cecal con tinción PAS para conteo de células caliciformes de conejos alimentados con dietas adicionadas con xilanasa. En el Cuadro 16 se observa que el conteo de células caliciformes en cada sección del intestino delgado fue afectado ($P < 0.05$) por la dosis de xilanasa, donde la de 4000 XU/kg fue la que generó el

mayor conteo en la vellosidad del duodeno con respecto a la dosis de 8000 XU/kg, mientras que en la base de la vellosidad el conteo fue afectado linealmente ($P=0.001$) descendente, e igualmente mayor ($P<0.05$) con la adición de 4000 XU/kg, respecto a las dosis de 12000 XU/g, mientras que en la sección del yeyuno el conteo de las células caliciformes fue mayor ($P<0.05$) en el tratamiento 0 XU/kg, tanto en la vellosidad como en la base, respecto a las diferentes dosis de xilanasa que fueron utilizados, y el efecto de dosis fue cuadrático ($P=0.037$, $P=0.016$).

Para el caso de la sección del íleon también se observaron diferencias significativas ($P<0.05$) en el conteo de la células calciformes en la base de la vellosidad siendo mayor en los conejos alimentados con la dosis de 4000 XU/kg respecto a los conejos con la dieta sin xilanasa y similar en los conejos con la dosis de 8000 XU/kg, observándose además un efecto cuadrático ($P=0.001$) de la dosis para esta variable. En el apéndice cecal se observaron diferencias significativas ($P<0.05$) en el conteo de células calciformes en la vellosidad siendo mayor en los conejos alimentados con la dieta sin xilanasa en comparación con las tres dosis de xilanasa, además el efecto de la dosis fue cuadrático ($P=0.013$) en el conteo en la vellosidad y lineal ($P=0.041$) descendente en el conteo de las células caliciformes en la base.

La maduración del tracto gastrointestinal en conejos después del destete está determinada por el consumo temprano de alimentos sólidos, la secreción de enzimas en el tracto gastrointestinal y el funcionamiento adecuado del ciego, ya que este último aún no se desarrolla adecuadamente en el momento del destete; siendo hasta los 42 días de edad cuando el apéndice cecal alcanza su madurez (Castellini *et al.*, 2007). A los 30 días de edad en los conejos, la pared duodenal se hace histológicamente más madura con vellosidades anchas y se empieza a observar células caliciformes positivas para PAS-AB y, a los 60 días de edad las vellosidades duodenales se vuelven más anchas y la presencia de las células caliciformes se distribuyen uniformemente a lo largo de la vellosidad, siendo activas en la secreción de moco (Elnasharty *et al.* 2013), La mayor parte del sistema inmunológico se encuentra en el tracto gastrointestinal, siendo la mucosa gastrointestinal importante en disminuir la exposición de los antígenos al sistema inmunológico, las células

caliciformes secretan constantemente moco especialmente en las aberturas de las criptas, que contienen mucinas gelificantes (MUC2, MUC5AC, MUC6, MUC5B) las cuales tienen propiedades gelatinosas (Pelaseyed *et al.*, 2014). Las mucinas pueden tener cambios en condiciones inflamatorias del intestino modificando la capa mucosa que funciona como una barrera protectora (Kim and Khan., 2013).

El apéndice cecal de los conejos se observa una extensión del ciego agrandado con un límite fácilmente perceptible entre el ciego y el apéndice, este límite se caracteriza por un cambio abrupto en el diámetro, consistencia y color en comparación con el ciego (Stan., 2014). El apéndice de los conejos se caracteriza por grandes folículos linfoides que sobresalen hacia la luz, formando las vellosidades del domo, en particular la región de la cúpula está cubierta por folículos, siendo un tipo especializado de epitelio (Di Girolamo *et al.*, 2022); el apéndice cecal en conejos jóvenes es un lugar destinado a la generación de diferentes tipos de anticuerpos, y además, tiene la capacidad de secretar agua y bicarbonato que favorece a estabilizar el pH en este compartimento, y está compuesto por tejido linfóide, Nicoletti *et al.*, (2018), llevaron a cabo la medición del diámetro y grosor de la pared del apéndice, y reportaron una correlación negativa entre la edad de los conejos y el grosor de la pared, sugiriendo que a medida que los conejos envejecen, el grosor de la pared del apéndice disminuye, lo que podría indicar una disminución fisiológica en la función inmunológica del apéndice cecal en conejos de edad avanzada.

Se ha observado que el sistema inmunológico del conejo interviene en el crecimiento de bacterias benéficas en el intestino de los mamíferos en forma de comunidades microbianas denominadas biopelículas, que desempeñan un papel fundamental en la salud intestinal y en el funcionamiento del sistema inmunológico (Smith *et al.*, 2009), siendo la inmunoglobulina A (IgA) la principal inmunoglobulina en la superficie de la mucosa intestinal evitando la adhesión y colonización de bacterias patógenas (Zhang & Wu *et al.*, 2020), y la mucina, dos proteínas que se producen en gran cantidad por el sistema inmunológico, y que participan en el crecimiento de biopelículas microbianas en el intestino, ayudando a mantener un

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanas

equilibrio saludable de bacterias en el intestino y contribuyen a proteger contra patógenos dañinos (Smith *et al.*, 2009). La adición de la enzima xilanas favorece la degradación de los arabinosilanos hidrolizando la cadena principal de xilano, mejorando la utilización de nutrientes y adicionalmente informa Saleh *et al.*, (2023), que afecta positivamente la inmunidad de los pollos de engorda. La alimentación con ingredientes que contienen niveles altos de xilanos y arabinosilanos presentes en el triticale ocasionan una mayor viscosidad en el tracto digestivo, siendo el motivo por el cual se observaron un mayor número de conteo de células caliciformes presentes en las vellosidades intestinales del intestino delgado y apéndice cecal de conejos que no se les adicione la xilanas, ya que estas células caliciformes son las responsables de la producción y preservación de la capa mucosa protectora mediante la síntesis y secreción de mucinas.

Cuadro 10. Comportamiento productivo en conejos en etapa de crecimiento-finalización alimentados con dietas adicionadas con xilanas.

Variable/día	Tratamientos: XilaBlend 6X (XU/g)				EEM ¹	Valor P
	0	4000	8000	12000		
Peso vivo, g						
Día 1	803.60	836.54	815.00	832.08	26.6969	0.7812
Día 4	840.67 ^b	943.08 ^a	929.00 ^a	937.92 ^a	28.7099	0.0298
Día 7	993.57 ^b	1093.33 ^{ab}	1108.33 ^a	1090.50 ^{ab}	29.8089	0.0223
Día 14	1298.67	1328.08	1349.00	1323.33	39.2383	0.8390
Día 21	1546.00	1551.15	1601.5	1590.00	51.0201	0.8319
Día 28	1828.67	1835.77	1870.5	1888.75	52.118	0.8176
Día 35	2075.4	2089.15	2111.1	2112.58	58.2942	0.9598
Consumo de alimento, g						
Día 1	79.62	92.30	89.20	89.50	5.8245	0.5303
Día 4	83.66 ^b	108.84 ^a	108.00 ^a	92.30 ^{ab}	6.9232	0.0277
Día 7	106.71	118.21	114.54	113.33	6.5934	0.6295
Día 14	131.47	143.67	124.17	134.29	7.2430	0.3246

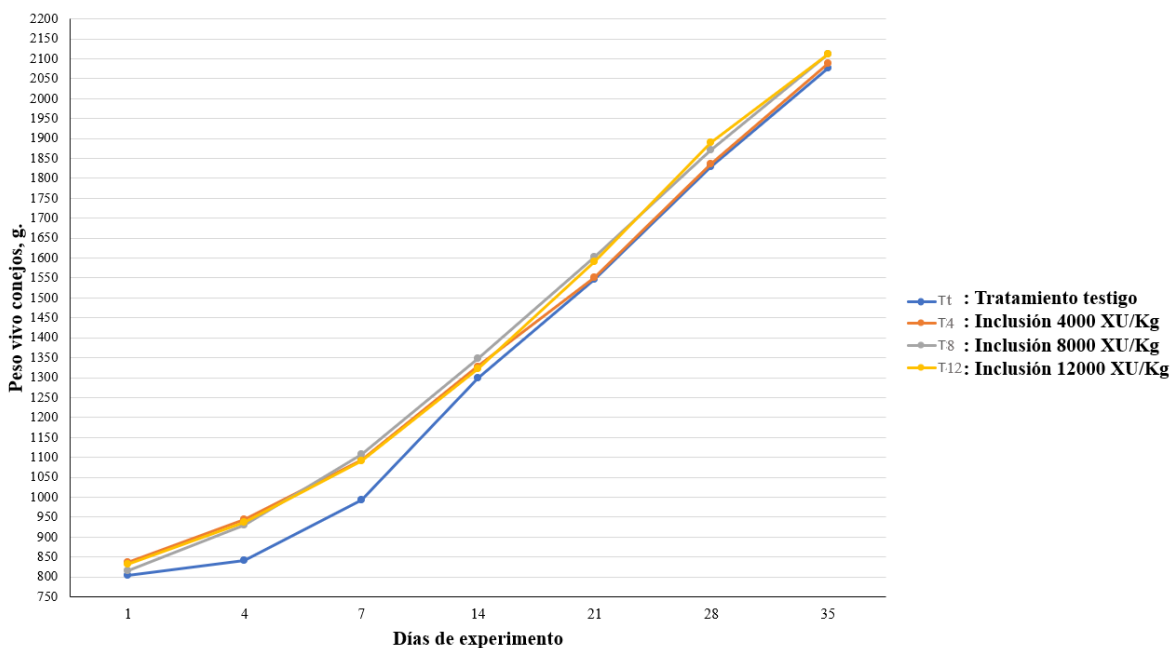
Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanas

Día 21	139.71	147.67	140.42	159.29	7.5004	0.2351
Día 28	167.35	167.33	150.00	170.71	8.0537	0.3217
Día 35	164.71	182.33	169.75	180.36	10.9082	0.5903
Ganancia de peso, g						
Día 1	27.86	31.55	32.62	32.05	3.2854	0.7201
Día 4	21.42 ^b	43.50 ^a	47.22 ^a	45.00 ^a	5.584	0.0150
Día 7	45.50	39.58	47.00	40.45	3.6555	0.3985
Día 14	41.00	45.45	46.00	42.50	4.2095	0.8001
Día 21	42.72	41.50	41.66	42.72	4.1725	0.9925
Día 28	48.75	49.28	50.00	49.00	5.3419	0.9978
Día 35	43.76	47.9	45.16	48.20	5.9608	0.9234
Conversión alimenticia (consumo/ganancia de peso)						
Día 1	2.87	3.00	2.86	3.03	0.2564	0.9472
Día 4	3.45	2.57	2.37	2.11	0.3076	0.0594
Día 7	2.64	2.92	2.43	2.85	0.2492	0.5101
Día 14	2.94	3.08	2.89	2.91	0.1933	0.9004
Día 21	3.48	3.78	3.69	3.67	0.3348	0.8855
Día 28	3.36	2.79	3.22	3.53	0.3255	0.5827
Día 35	3.61	3.91	3.92	3.3	0.3796	0.6808
Eficiencia alimenticia (ganancia de peso/consumo x 100)						
Día 1	0.39	0.35	0.36	0.36	0.0351	0.8654
Día 4	0.31	0.41	0.46	0.48	0.0487	0.1454
Día 7	0.41	0.35	0.42	0.37	0.0318	0.3409
Día 14	0.31	0.33	0.35	0.34	0.0300	0.7581
Día 21	0.30	0.28	0.28	0.27	0.0296	0.8639
Día 28	0.29	0.28	0.32	0.29	0.0348	0.8662
Día 35	0.24	0.25	0.25	0.27	0.0304	0.9289

¹Error estándar medio.

^{a, b} medidas con distinta literal dentro de la hilera son diferentes (P<0.05).

Grafica 1. Aumento de peso vivo de conejos en etapa de crecimiento-finalización alimentados con dietas adicionadas con Xilanas.



Cuadro 11. Índices promedio de digestibilidad de conejos en etapa de crecimiento-finalización alimentados con dietas adicionadas con xilanas.

	Tratamientos: XilaBlend 6X (XU/kg)				EEM ¹	Valor P
	0	4000	8000	12000		
Digestibilidad de proteína, unidades?						
Día 7	77.64	77.72	75.75	77.84	0.8495	0.2914
Día 14	72.37 ^c	73.66 ^c	79.49 ^a	76.59 ^b	0.8507	<.0001
Día 21	74.94	76.09	76.81	74.85	1.1472	0.5750
Día 28	68.16 ^b	70.27 ^b	75.78 ^a	70.90 ^b	1.1006	0.0007
Día 35	73.69 ^a	73.60 ^a	69.38 ^a	62.11 ^b	1.2152	<.0001

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

Promedio DATT de PC	73.47	74.27	75.44	72.48	0.8429	0.0880
Digestibilidad de materia seca unidades?						
Día 7	53.67 ^b	55.27 ^{ab}	56.9 ^{ab}	58.00 ^a	0.8414	0.0068
Día 14	48.75 ^b	50.55 ^b	58.88 ^a	61.05 ^a	1.4854	<.0001
Día 21	57.63	59.01	59.14	62.51	1.2718	0.0766
Día 28	54.19 ^{ab}	51.36 ^b	57.31 ^a	54.55 ^{ab}	1.0035	0.0048
Día 35	58.93 ^a	58.54 ^a	48.70 ^b	47.73 ^b	1.2814	<.0001
Promedio DATT de MS	54.31	54.95	56.21	56.77	0.9081	0.2086
Digestibilidad de materia orgánica unidades?						
Día 7	57.50 ^{ab}	53.29 ^b	58.78 ^a	53.16 ^b	1.2935	0.0098
Día 14	59.84 ^a	60.58 ^a	54.28 ^{ab}	49.40 ^b	2.1056	0.0038
Día 21	53.15 ^{ab}	55.08 ^a	53.08 ^{ab}	46.85 ^b	1.9168	0.0346
Día 28	55.51 ^b	62.24 ^a	53.98 ^b	52.00 ^b	1.6953	0.0023
Día 35	49.03	45.42	53.60	54.66	6.1554	0.6689
Promedio DATT de MO	55.50	55.32	54.74	51.21	1.4275	0.1181
Digestibilidad de FDN unidades?						
Día 7	23.12 ^b	31.57 ^{ab}	32.01 ^a	23.95 ^{ab}	2.1172	0.0075
Día 14	25.95	20.76	22.89	26.32	2.4137	0.3565
Día 21	27.78	30.65	25.94	25.96	3.0409	0.6652
Día 28	23.62	21.89	23.25	18.46	2.5304	0.4673
Día 35	30.46 ^a	31.37 ^a	18.48 ^b	17.06 ^b	2.7002	0.0027
Promedio DATT de FDN	26.96 ^{ab}	30.57 ^a	26.63 ^{ab}	24.36 ^b	1.1200	0.0023
Digestibilidad de FDA unidades?						
Día 7	17.35	24.62	24.31	18.55	2.4233	0.0589
Día 14	22.10 ^{ab}	22.56 ^a	16.63 ^{bc}	14.12 ^c	1.6867	0.0030
Día 21	26.37	25.54	22.55	20.24	3.2188	0.5643
Día 28	24.58	24.48	25.40	22.33	4.9452	0.9767
Día 35	21.80	24.86	21.38	16.10	2.6421	0.1256

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanas

Promedio DATT de FDA	22.10 ^{ab}	25.92 ^a	23.22 ^{ab}	18.69 ^b	1.2269	0.0013
-----------------------------	---------------------	--------------------	---------------------	--------------------	--------	--------

¹Error estándar medio.

^{a, b} Medias con distinta literal dentro de la misma hilera son diferentes (P<0.05).

Cuadro 12. Valores medios de pH medidos **post matanza** en estómago, intestino delgado y ciego de conejos en etapa de crecimiento-finalización alimentados con dietas adicionadas con xilanas.

	Tratamientos: XilaBlend 6X (XU/kg)				EEM ¹	Valor P
	0	4000	8000	12000		
Estomago	2.15	2.54	2.72	1.77	0.3438	0.2168
Duodeno	6.53	6.81	6.9	6.95	0.2304	0.5726
Yeyuno	7.36	7.50	7.55	7.38	0.1416	0.7442
Íleon	6.92	7.31	7.37	7.43	0.2375	0.4256
Ciego	7.09	7.37	7.35	7.12	0.2388	0.753

¹Error estándar medio.

No se observaron diferencia (P>0.05) entre tratamientos.

Cuadro 13. Características de la canal, calidad y composición química de la carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización alimentados con dietas adicionadas con xilanas.

Variables	Tratamientos: XilaBlend 6X (XU/g)				EEM ¹	Valor P
	0	4000	8000	12000		
Características de canal						
Peso canal caliente, g	1074.06	1059.93	1084	1064.14	32.9304	0.9605
Peso canal Fría, g	1008.13	984.33	1017.73	993.57	30.2322	0.8737
Rendimiento canal, %	50.27	50.96	51.42	50.38	0.6251	0.5625
Total hueso, g	257.18	228.92	206.92	189.19	18.0251	0.0661
Total carne, g	636.7	711.88	715.73	745.1	35.3796	0.1893
Total tejido adiposo, g	86.22	78.08	70.03	82.86	10.7761	0.7495

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

Calidad de carne						
L*	59.46	58.75	58.25	58.61	0.8830	0.6727
a*	3.73	3.62	4.24	3.30	0.3162	0.2949
b*	3.63	3.58	3.31	3.38	0.2704	0.8154
H°	44.66	45.77	38.46	46.17	2.7129	0.2497
c*	5.23	5.19	5.50	4.80	0.3412	0.5838
Perdida de agua, %	33.02	33.39	31.58	33.81	8.4525	0.2835
Fuerza de corte, kg/cm ²	1.29	1.83	1.90	1.78	0.2468	0.2483
Lomo pH 45 min	7.15	7.29	7.15	7.27	0.115	0.7136
Lomo pH 24 h	5.97	6.13	6.05	6.16	0.0981	0.5073
Composición química de la carne unidades?						
Materia seca	28.71	30.68	29.26	29.30	0.6197	0.1748
Humedad	71.28	69.31	70.73	70.69	0.6197	0.1748
Cenizas	1.33	1.37	1.32	1.36	0.0359	0.7548
Proteína	22.35	23.11	22.78	22.37	0.4655	0.6112
EE	5.19	4.51	6.42	6.79	0.9152	0.2883

¹Error estándar medio.

No se observaron diferencia (P>0.05) entre tratamientos.

Cuadro 14. Medición morfométrica de los cortes de las vellosidades intestinales de conejos alimentados con dietas adicionadas con xilanasa.

Variables	Tratamientos: XilaBlend 6X (XU/g)				EE ¹	Valor de P		
	0	4000	8000	12000		Tto?	Lineal	Cuadrático
Duodeno								
Altura de las vellosidades, µm	1459.80 ^b	1573.78 ^b	1818.14 ^a	1811.93 ^a	93.6620	0.0250	0.0043	0.5264
Ancho de las vellosidades, µm	275.49	280.02	291.54	270.76	17.0347	0.8444	0.9720	0.4638

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

Profundidad de la cripta, μm	393.46	400.22	367.75	332.08	20.4409	0.1009	0.0250	0.3082
V/C	3.90 ^c	4.10 ^{bc}	5.15 ^{ab}	5.75 ^a	0.2716	<.0001	<.0001	0.4747
Área, μm^2	1275896	1381346	1684174	1550487	139643.33	0.1955	0.0820	0.3991
Yeyuno								
Altura de las vellosidades, μm	1571.9 ^{ab}	1498.3 ^b	1631.2 ^{ab}	1988.8 ^a	122.3548	0.0398	0.0174	0.0889
Ancho de las vellosidades, μm	404.95 ^a	359.27 ^a	258.89 ^b	284.65 ^b	12.3221	<.0001	<.0001	0.0072
Profundidad de la cripta, μm	449.39 ^a	314.90 ^b	272.04 ^b	308.59 ^b	25.8595	0.0002	0.0004	0.0026
V/C	3.90 ^b	4.71 ^{ab}	5.89 ^a	6.28 ^a	0.4178	0.0014	0.0001	0.6195
Área, μm^2	2306783.39 ^a	1892618.54 ^{ab}	1443840.76 ^b	1755639.94 ^{ab}	152873.07	0.0043	0.0047	0.0247
Íleon								
Altura de las vellosidades, μm	952.20 ^c	1257.70 ^a	1117.10 ^b	1246.80 ^a	79.3152	0.0372	0.0453	0.2769
Ancho de las vellosidades, μm	245.55 ^c	270.79 ^{bc}	299.35 ^{ab}	329.31 ^a	11.9919	0.0002	<.0001	0.8457
Profundidad de la cripta, μm	202.67 ^b	387.58 ^a	303.84 ^{ab}	243.94 ^b	28.7597	0.0006	0.7577	0.0002
V/C	4.94 ^{ab}	3.88 ^b	4.14 ^{ab}	5.34 ^a	0.3356	0.0158	0.3354	0.0023
Área, μm^2	737493 ^b	1291105 ^a	1150081 ^{ab}	1277756 ^a	129911.95	0.0177	0.0166	0.1123

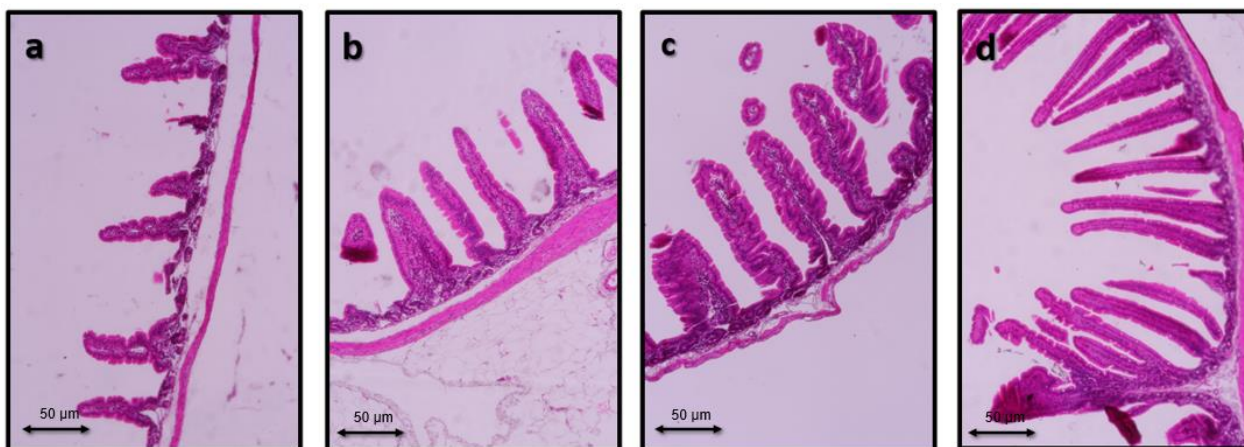
¹Error estándar medio

a, b Medias con distinta literal dentro de la misma hilera son diferentes (P<0.05).

V/C: Altura de las vellosidades/Profundidad de la cripta.

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

Figura 6. Imágenes histológicas de las vellosidades intestinales del duodeno de conejos Nueva Zelanda X California a los 70 días de edad (10x). a) Tratamiento control, b) tratamiento con 4000 XU/kg, c) tratamiento con 8000 XU/kg, d) tratamiento con 12000 XU/kg.



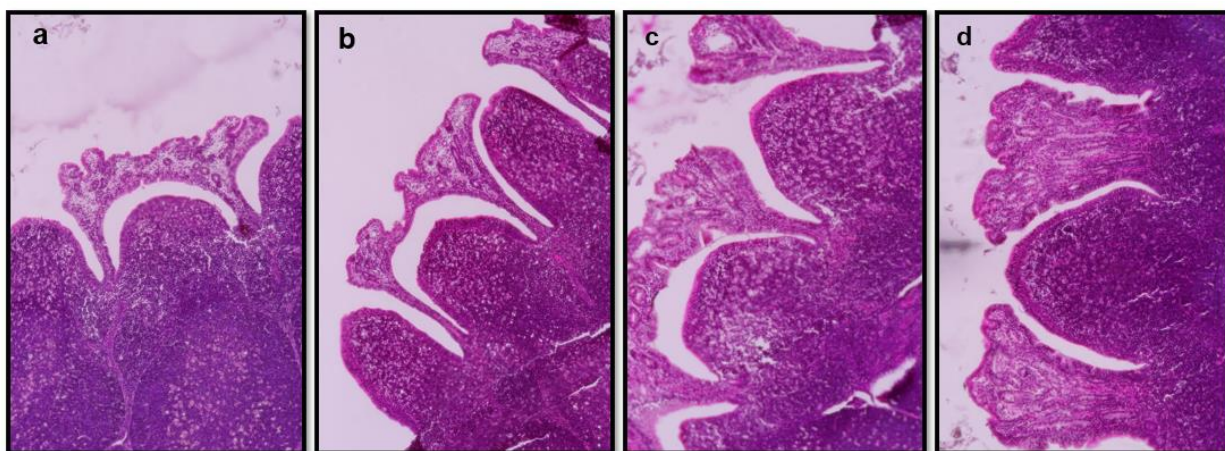
Cuadro 15. Medición morfométrica del área del domo del apéndice cecal de conejos alimentados con dietas adicionadas con xilanasa.

	Tratamientos: XilaBlend 6X (XU/g)				EE ¹	Valor de P		
	0	4000	8000	12000		Tto?	Lineal	Cuadrático
Ancho								
domo, µm	1221.4	1325.8	1498.4	1432.1	123.0807	0.4236	0.1593	0.4962
Alto domo,								
µm	797.92 ^b	961.85 ^{ab}	1092.77 ^a	1112.01 ^a	644.568	0.009	0.0013	0.275

¹Error estándar medio.

a, b Medias con distinta literal dentro de la misma hilera son diferentes (P<0.05).

Figura 7. Imágenes histológicas del apéndice cecal de conejos Nueva Zelanda por California a los 70 días de edad (10x). a) Tratamiento control, b) tratamiento con 4000 XU/kg, c) tratamiento con 8000 XU/kg, d) tratamiento con 12000 XU/kg. La estructura piramidal.



Cuadro 16. Conteo de células caliciformes presentes en las vellosidades **intestinales** del intestino delgado y apéndice cecal de conejos alimentados con dietas adicionadas con xilanasa.

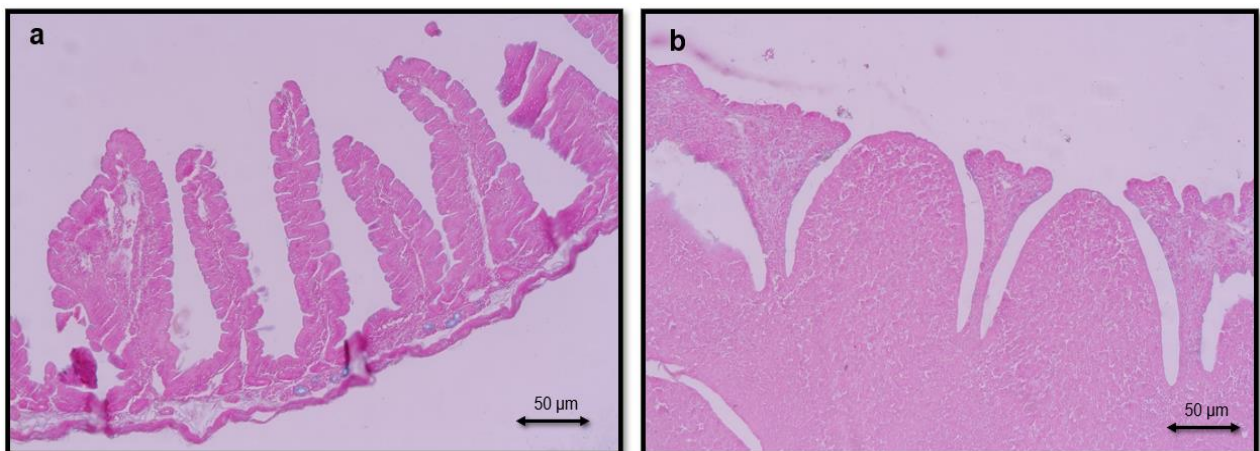
	Tratamientos: XilaBlend 6X (XU/g)				EE	Valor P		
	0	4000	8000	12000		Tto?	Lineal	Cuadrático
Duodeno								
Vellosidad	6.6412 ^{ab}	8.8550 ^a	5.5000 ^b	6.8283 ^{ab}	0.6573	0.0106	0.3501	0.5062
Base	2.2863 ^{ab}	2.7000 ^a	1.5100 ^{bc}	1.3567 ^c	0.2134	0.0003	0.0003	0.1947
Yeyuno								
Vellosidad	11.3671 ^a	6.8733 ^b	7.1200 ^b	5.7940 ^b	0.7223	<.0001	<.0001	0.0368
Base	3.6438 ^a	1.3433 ^b	2.0714 ^b	1.5000 ^b	0.3381	0.0002	0.0008	0.0163
Íleon								
Vellosidad	5.8000	6.4150	6.1325	5.9733	0.3571	0.6620	0.8829	0.2877

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

Base	1.3761 ^c	1.5213 ^a	1.4613 ^{ab}	1.4382 ^{bc}	0.0171	<.0001	0.1112	<.0001
Apéndice cecal								
Veliosidad	0.6248 ^a	0.2386 ^b	0.3043 ^b	0.3183 ^b	0.0756	0.0056	0.0176	0.0132
Base	9.8800	8.4114	7.8214	7.4433	0.8265	0.1943	0.0415	0.5149

¹Error estándar medio, ^{a, b} Medias con distinta literal dentro de la misma hilera son diferentes (P<0.05).

Figura 8. Imágenes histoquímicas de la vellosidad intestinal (a) y apéndice cecal (b) de conejos nueva Zelanda por california a los 70 días de edad. Conteo de los gránulos de los mucocitos epiteliales de color azul.



VIII. Conclusiones (REVISAR NUMERACIÓN)

- La adición de la enzima xilanasa aumento el peso vivo de los conejos en el día 4 y 7 de la prueba de alimentación. alimentados con dietas a base de triticale adicionadas con xilanasa.
- El consumo de alimento y la ganancia diaria de peso de los conejos en el día 4 fue mayor en con las dietas a base de triticale adicionadas con xilanasa.
- La dieta experimental con 8000 XU/g de la enzima xilanasa fue la que proporciono los mejores valores de digestibilidad aparente de proteína y materia seca en el día 14 y 28 del ensayo experimental.
- La adición de la enzima xilanasa incremento las áreas de las vellosidades intestinales del duodeno, yeyuno e íleon.
- La adición de la enzima xilanasa modifico las áreas del domo a lo ancho y alto de los conejos alimentados con 12000 XU/kg siendo mayores.
- La adición de la enzima xilanasa a una dosis de 12000 XU/kg en dietas que incluyen triticale disminuyó la cantidad de gránulos de los mucocitos epiteliales.

IX. Literatura citada

- Acosta, A., & Cárdenas, M. (2006). Enzimas en la alimentación de las aves. *Fitasas. Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 40(4), 377-387.
- Aguilar, M.M. (2008). Técnicas histológicas. En: González M.M. (ed.), *Técnicas de laboratorio en biología celular y molecular* (pp. 183-204). Distrito Federal, México. AGT Editor.
- Amorós, J. J. P. (2002). Destete precoz en conejos. *Boletín de cunicultura lagomorpha*, (119), 4-16.
- Andrade, E. A., Rodrigues, M. A. M., Ribeiro, L., Mendes, C. Q., Ferreira, L. M. M., & Pinheiro, V. (2019). Effect of cowpea (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp) Stover dietary inclusion level on total tract apparent digestibility of nutrients in growing rabbits. *World Rabbit Science*, 27(1), 15-20. DOI: <https://doi.org/10.4995/wrs.2019.10450> WorldRabbitScience
- AOAC. (2006). Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analyses. 18th ed. Gaithersburg MD, USA.
- Apajalahti, J., Kettunen, A y Graham, H.(2004). *World`s Poult. Sci.J.* 52: 223-232.
- Arczewska-Wlosek, A., Swiatkiewicz, S., Bederska-Lojewska, D., Orczewska-Dudek, S., Szczurek, W., Boros, D., & Kwiecien, M. (2019). The efficiency of xylanase in broiler chickens fed with increasing dietary levels of rye. *Animals*, 9(2), 46. <https://doi.org/10.3390/ani9020046>.
- Arruda, A. M. V. D., Carregal, R. D., & Ferreira, R. G. (2000). Digestibilidade aparente de dietas contendo diferentes níveis de amido para coelhos em crescimento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(3), 769-775. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000300019>.
- Bedford MR, Classen HL. (1992). The influence of dietary xylanase on intestinal viscosity and molecular weight distribution of carbohydrates in rye-fed broiler chick. In: Visser J, Beldman G, vanSomeren MAK, Voragen AGJ (eds). *Xylans and xylanases*. Amsterdam: Elsevier. p. 361–370.

-
- Belmar, R. (2001). Importancia de los factores antinutricionales en la alimentación de animales no rumiantes. En: Congreso de veterinaria (10º:2001:Trujillo). Memorias del X congreso de veterinaria. Yucatan. Universidad Autonoma de Yucatan. Facultad de Medicina Veterinaria Zootecnia. P. 34-54.
- Belmar, R. y Nava, R. 2005. Factores antinutricionales en la alimentación de animales monogástricos. In: Alimentación no Convencional para Animales Monogástricos en el Trópico. Maracay, p 51
- Berlanga-Reyes, C. M., Carvajal-Millán, E., Lizardi-Mendoza, J., Rascón-Chu, A., Marquez-Escalante, J. A., & Martínez-López, A. L. (2009). Maize arabinoxylan gels as protein delivery matrices. *Molecules*, 14(4), 1475–1482. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules14041475>
- Biddle A., Stewart L., Blanchard J., Leschine S. (2013). Untangling the genetic basis of fibrolytic specialization by Lachnospiraceae and Ruminococcaceae in diverse gut communities. *Diversity* 5, 627–640. doi: 10.3390/d5030627.
- Blasco, A., Estany J., y Baselga M. (1982). Evaluación de la calidad de la canal en conejo. Escuela técnica superior de Ingenieros Agronomos. Universidad Politécnica. Pg 5563. Valencia, España.
- Bonachera, A; Marín. P; Blas, E; Pacual, J. (2007). Aditivos empleados en nutrición de conejos. Instituto de Ciencias y Tecnología Animal. Universidad Politécnica de Valencia. Boletín de Cunicultura N° 179.
- Bruggink, J. H. B. (1993). Utilización de concentrados de proteína de soja en dietas de animales jóvenes. En : Curso de especialización de la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal – FEDNA. (10º: 1993: Barcelona) Memorias del IX curso de especialización FEDNA. Barcelona: FEDNA.
- Carabaño, R. and Piquer, J. (1998). The digestive system of the rabbit. En: The nutrition of the rabbit. CAB. International. Pp: 1-16.
- Carabaño, R., De Blas, J.C., and Garcia, A.I. (2000). Recent advances in nitrogen nutrition in rabbits. *World Rabbit Sci.* 8: 15-28.

-
- Carabaño, R., Rebollar, P. G., Gómez-Conde, M. S., Chamorro, S., García, J., & de Blas, C. (2005). Nuevas tendencias en la alimentación de conejos: Influencia de la nutrición sobre la salud intestinal. XXI Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España, 113.
- Carvajal-Millan, E., Rascón-Chu, A., Márquez-Escalante, J. A., Micard, V., Ponce de León, N., & Gardea, A. (2007). Maize bran gum: Extraction, characterization and functional properties. *Carbohydrate Polymers*, 69(2), 280–285. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.10.006>.
- Castellini C., Cardinali R., Rebollar PG., Dal Bosco A., Jimeno V., Cossu ME. (2007). Feeding fresh chicory (*Chicoria intybus*) to young rabbits: Performance, development of gastro-intestinal tract and immune functions of appendix and Peyer's patch. *Animal Feed Science and Technology*, 134(1-2), 56-65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.05.007>.
- Chaparro-Acuña SP, Aristizabal-Torres ID, GilGonzález JH. (2009). Reducción de factores antinutricionales de la semilla de vitabosa (*Mucuna deeringiana*) mediante procesos físico. *Rev Fac Nac Agr Medellín*; 62(2);5157-64.
- Cheeke, P.R. (1995). Alimentación y Nutrición Del Conejo. Acribia, Editorial, S.A. ISBN: 8420007838, 9788420007830.
- Church, D.C. (1993). El Rumiante, Fisiología digestiva y nutrición. Editorial Acribia. Zaragoza España.
- Ciftci, I., Yenice, E., & Eleroglu, H.A.S.A.N. (2003). Use of triticale alone and in combination with wheat or maize: effects of diet type and enzyme supplementation on hen performance, egg quality, organ weights, intestinal viscosity and digestive system characteristics. *Animal feed science and technology*, 105(1-4), 149-161. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00010-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00010-5).
- Cooper Bribiesca, B.L. (2013). Enzimas xilanolíticas bacterianas y sus aplicaciones industriales. *Revista Especializada en Ciencias de la Salud*, 16(1): 19-22. <https://www.medigraphic.com/pdfs/vertientes/vre-2013/vre131e.pdf>.

-
- Cotozzolo E, Cremonesi P, Curone G, et al. (2020). Characterization of Bacterial Microbiota Composition along the Gastrointestinal Tract in Rabbits. *Animals (Basel)*.11(1):31. Published 2020 Dec 26. doi:10.3390/ani11010031
- Cowieson, A.J y Ravindran, V. (2007). *Br. J. Nutr.* 98:745-752
- Davies RR., Davies JAR. (2003). Rabbit gastrointestinal physiology. *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice*, 6(1), 139-153. DOI:[https://doi.org/10.1016/S1094-9194\(02\)00024-5](https://doi.org/10.1016/S1094-9194(02)00024-5).
- De Blas, J. C., García, J., & Carabaño, R. (2002). Avances en nutrición de conejos. *Simposium de cunicultura*, 27, 83-91.
- DeRouchev, J. (2014). Sistema digestivo del cerdo: anatomía y funciones. Centro de Información de Actividades Porcinas_CIAP.
- Díaz Rojas, B.G.R. (2004). Uso de fitasa y de un complejo enzimático a base de xilanasa, α -amilasa y proteasa sobre variables productivas y digestibilidad de calcio y fósforo en gallinas comerciales (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile. URI: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/130783>.
- Donaldson J., Świątkiewicz S., Arczewka-Włosek A., Muszyński S., Szymańczyk S., Arciszewski M.B., Zacharko A.S., Kras, K., Valderde, P.J.L., Schwars, T., Tomaszewska, E., and Dobrowolski, P. (2021). Modern hybrid rye, as an alternative energy source for broiler chickens, improves the absorption surface of the small intestine depending on the intestinal part and xylanase supplementation. *Animals*, 11(5), 1349. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11051349>.
- Duffus, Carol y Slaughter. (1985). Las semillas y sus usos. México: A.G.T. p. 10-11, 18-21, 32-35, 122.
- Duque, J.P. (2010). Panorámica de un sector Biotecnología, edición Netbiblo, la Coruña- España. Pág. 41. ISBN: 978-84-9745-485-8.
- Elizalde A, Porrilla YP, Chaparro DC. Factores antinutricionales en las semillas. *Rev Bio Agro* 2009;7(1):46-54.

-
- Elnasharty M.A., Abou-Ghanema I.I., Sayed-Ahmed A., Elnour AA. (2013). Mucosal-submucosal changes in rabbit duodenum during development. *International Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 7(4), 252-260. DOI: doi.org/10.5281/zenodo.1083151.
- FEDNA. (2021). Fundación Española para el desarrollo de la nutrición animal – Triticale. Revisión realizada el 26 de Octubre del 2020: <http://www.fundacionfedna.org/node/379>.
- Fenton, T.W., and M. Fenton. (1979). An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and faeces. *Can. J. Anim. Sci.* 59: 631-634.
- Fondevilla, M., Balcells, J., Berenguer, Á., Abecia, L. (2003). Efecto de la terapia con antibióticos en pienso sobre la capacidad fermentativa cecal en el conejo de cebo. *Cunicultura*.
- Frese, S.A., Parker, K., Calvert, C.C. et al. Diet shapes the gut microbiome of pigs during nursing and weaning. *Microbiome* 3, 28 (2015). <https://doi.org/10.1186/s40168-015-0091-8>.
- García, D; Medina, M; Domínguez, C; Baldizán, A; Humbría, J; Cova, L. (2006). Evaluación química de especies no leguminosas con potencial forrajero en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Tropical* 24(4):401-415.
- Gecele, P. (1986). Fisiología digestiva del conejo adulto. *Monografías de Medicina Veterinaria*,8(2).https://web.uchile.cl/vignette/monografiasveterinaria/monografiasveterinaria.uchile.cl/CDA/mon_vet_simple/0,1420,SCID%253D13822%2526ISID%253D418%2526PRT%253D13819,00.html.
- Gidenne, T; and Garcia, J. (2006). Nutritinal strategies improving the digestive health of the weaned rabbit. Madrid, Spain. Pp 229-238.
- González, M.R. (2006). Nutrición y alimentación del conejo. *Cunicultura*.
- Guerder, F. (2001). Resultats de GTE Renalap. *Cuniculture* 28: 171-175.
- Gutierrez I., Garcia J., Carabaño R., Mateos G.G., De Blas J.C. (2000). 7th World Rabbit Congress, 277-281.

-
- He, Xin., Yu, B., He, J., Huang, Z., Mao, X., Zheng, P., Luo, Y., Luo, J., Wang, Q., Wang, H., Yu, J., and Chen, D. (2020). Effects of xylanase on growth performance, nutrients digestibility and intestinal health in weaned piglets. *Livestock Science*, 233, 103940. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.103940>.
- Huntley, N. F., & Patience, J. F. (2018). Xylose: absorption, fermentation, and post-absorptive metabolism in the pig. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 9(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0226-9>.
- Izydorczyk, M.S., & Biliaderis, C. G. (2007). Arabinoxylans: Technologically and nutritionally functional plant polysaccharides. En M. S. Biliaderis, C.G. & Izydorczyk (Ed.), *Functional Food Carbohydrates* (pp. 249–283). Boca Raton, Florida, United States: CRC Press Taylor and Francis Group. doi: <https://doi.org/10.1201/9781420003512>
- Izydorczyk, M. S., & Dexter, J. E. (2008). Barley β -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products—a Review. *Food Research International*, 41(9), 850–868. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.04.001>
- Khan, K., Aziz, K., Khan, N. A., Khan, S., & Ayasan, T. (2021). Effect of enzyme and yeast-based feed additives on growth, nutrient digestibility, meat quality and intestinal morphology of fattening rabbits. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 72(4), 3511-3518. DOI: <https://doi.org/10.12681/jhvms.29404>.
- Laudadio V., Passantino L., Perillo A., Lopresti G., Passantino A., Khan R.U., Tufarelli V. (2012). Productive performance and histological features of intestinal mucosa of broiler chickens fed different dietary protein levels. *Poultry Science*, 91(1), 265-270. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01675>.
-

-
- Lebas F., Corring T., Courtot D. (1971). Equipement enzymatique du pancreas exocrine chez le lapin, mise en place et evolution de la naissance au sevrage. Relation avec la composition du régime alimentaire. *Ann. Biol.. Anim. Bioch. Biophys.*, 11, 399-413.
- Lebas, F. (2004). Reflections on rabbit nutrition with a special emphasis on feed ingredients utilization. Proc 8th World Rabbit Congress, Puebla Mexico, 686-736 available in the WRSA website <http://world-rabbit-science.com/WRSA-Proceedings/Congress-2004Puebla/Puebla-2004-a.htm>
- Lebas F., Coudert P., Rouvier R., de Rochambeau H. (1986). The rabbit husbandry, health and production.
- Lebas. (1987). En Comission of European Communities. Report EUR 10983, 27-40.
- Litterio, N. J., & Aguilar, M. S. (2017). Consideraciones anatomo-fisiológicas para el uso prudente de fármacos en conejos. *Panorama Actual del Medicamento*, 41(405), 679-684. <https://botplusweb.portalfarma.com/Documentos/2017/7/13/117049.pdf>.
- Luo D., Yang F., Yang X., Yao J., Shi B., Zhou Z. (2009). Effects of xylanase on performance, blood parameters, intestinal morphology, microflora and digestive enzyme activities of broilers fed wheat-based diets. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(9), 1288-1295. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.90052>.
- Maertens, L. (1992). V World Rabbit Congress. Oregon.
- Maertens L., Villamide M.J. (1998). Feeding systems for intensive production. En: *The Nutrition of the Rabbit*, ed. C. de Blas y J.Wiseman, CABI Publishing, Oxon (UK), pp. 25-271.
- Makovicky P., Tumova E., Volek Z., Makovicky P., Vodicka P. (2014). Histological aspects of the small intestine under variable feed restriction: The effects of short and intense restriction on a growing rabbit model. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 8(5), 1623-1627. Doi: <https://doi.org/10.3892/etm.2014.1924>.

-
- Mendes, A.R., Ribeiro, T., Correia, B.A., Bule, P., Macas, B., Falcao, L., & Lordelo, M. M. (2013). Low doses of exogenous xylanase improve the nutritive value of triticale-based diets for broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 22(1), 92-99. <https://doi.org/10.3382/japr.2012-00610>.
- Merchant H.A., McConnell E.L., Liu F., Ramaswamy C., Kulkarni R.P., Basit A.W., Murdan S. (2011). Assessment of gastrointestinal pH, fluid and lymphoid tissue in the guinea pig, rabbit and pig, and implications for their use in drug development. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 42(1-2), 3-10. DOI: doi:10.1016/j.ejps.2010.09.019.
- Merchen, N.R. (1993). Digestión, absorción, y excreción en rumiantes. Pp. 191-223 En: *El rumiante: fisiología digestiva y nutrición*. (Ed. Church, D.C.) Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Mergoum, M., & Macpherson, H.G. (2004). Triticale improvement and production. Food and Agriculture organization of the United Nations. Vol. 179. Pg. 43. <http://www.fao.org/3/a-y5553e.pdf#page=135>.
- Nain S., Renema R.A., Zuidhof M.J., Korver D.R. (2012). Effect of metabolic efficiency and intestinal morphology on variability in n-3 polyunsaturated fatty acid enrichment of eggs. *Poultry science*, 91(4), 888-898. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01661>.
- Nutrient requirements of rabbits. (1977). Second Revised Ed. Nationalacademy of sciences-National Research Council, Washington, DC.
- NOM-033-SAG/ZOO-2014. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5405210&fecha=26/08/2015 / Accessed: 07 July 2020.
- NutriNews. (2016). Epigenetica & nutrición. Revista versión web. Tabla de enzimas. Pg 43-50. <https://issuu.com/grupoagrnews/docs/nutrinews-noviembre-2016>
- NutriNews. (2018). Modo de acción de Xilanasa & funcionalidad intestinal. *NutricionAnimal.info*. <https://nutricionanimal.info/modo-de-accion-de-xilanasa-funcionalidad-intestinal/>
-

-
- O'Malley B. (2007). Anatomía y fisiología clínica de animales exóticos. Servet. Zaragoza, España. Pp. 247.
- Oviedo, O. M., Enao, J. D., & Gutiérrez, N. (2012). Uso de subproductos agrícolas en la alimentación de conejos en fases de ceba y reproducción. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 10(2), 236-242.
- Palma, O.R., y Hurtado, E.A. (2009). Comportamiento productivo de conejos durante el período de crecimiento-engorde alimentados con frutos de mango (*Mangifera indica*) en sustitución parcial del alimento balanceado comercial. *Idesia (Arica)*, 28(1), 3337.
- Pelaseyed T., Bergström J.H., Gustafsson J.K., Ermund A., Birchenough G. M., Schütte A., Van der Posts S., Svensson F., Rodríguez P.A.M., Nyström E.E., Wising C., Johansson M.E., Hansson G.C. (2014). The mucus and mucins of the goblet cells and enterocytes provide the first defense line of the gastrointestinal tract and interact with the immune system. *Immunological reviews*, 260(1), 8-20. DOI: <https://doi.org/10.1111/imr.12182>.
- Pérez, J.I. (2019). Digestión estomacal (I):el papel de las glándulas gástricas. *Animalia*. Cuaderno de cultura científica. Pagina web: <https://culturacientifica.com/2019/01/14/digestion-estomacal-i-el-papel-de-las-glandulas-gastricas/>. Fecha consulta realizada: 21/07/2021.
- Pourreza, J., Samie, A. H., & Rowghani, E. (2007). Effect of supplemental enzyme on nutrient digestibility and performance of broiler chicks fed on diets containing triticale. *International Journal of Poultry Science*, 6(2), 115-117. DOI: 10.3923 / ijps.2007.115.117.
- Pusztai, A. (1989). Transport of proteins through the mem branes of the adult gastrointestinal tract-a potential for drug delivery? *Adv Drug Deliv Rev.* 3(2):215-28
- Ravidran, V. (2010). Aditivos en la Alimentación Animal: Presente y Futuro. Institute of Food, Nurition and Human Health. Massey University, Palmerston North 4442, New Zealand.

-
- Romero, C. (2008). La importancia de la cecotrofia en el conejo. *Boletín de cunicultura lagomorpha*, (156), 53-56.
- Ross, M. H., & Pawlina, W. (2007). *Histología: Texto y Atlas*. Ed. Médica Panamericana.
- Sabatier, A.M. & Fish, N.M. (1996). Method of analysis for feed enzymes: Methodological problems. *Journal of Applied Poultry Sci.* 5:408.
- Sánchez, D. H., & Peralta, M. A. C. (2001). Digestibilidad in vitro, población de bacterias celulolíticas y totales del apéndice cecal, ciego y colon del conejo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 39(3).
- Sandford, J.C. (1988): *El conejo domestico*. 1ª ed., Acribada, S.A, España.
- SAS. SAS User's Guide: Statistics. Ver 9.0. IN INSTITUTE, S. (Ed.). Cary, N.C.USA. 2002.
- Seyyedini S., Nazem M.N. (2017). Histomorphometric study of the effect of methionine on small intestine parameters in rat: an applied histologic study. *Folia morphologica*, 76(4), 620-629. DOI:10.5603/FM.a2017.0044.
- Shimada, M.A. (2005). *Nutrición animal*. Editorial Trillas. México. Pp. 26-76.
- Šimić A., González-Ortiz G., Mansbridge S.C., Rose S.P., Bedford M.R., Yovchev D., Pirgozliev V.R. (2023). Broiler chicken response to xylanase and fermentable xylooligosaccharide supplementation. *Poultry Science*, 102(11), 103000. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103000>.
- Smith H.F., Fisher R.E., Everett M.L., Thomas A.D., Randal Bollinger R., Parker W. (2009). Comparative anatomy and phylogenetic distribution of the mammalian cecal appendix. *Journal of evolutionary biology*, 22(10), 1984-1999. DOI: doi: 10.1111/j.1420-9101.2009.01809.x.
- Solá-Oriol David. (2019). Xilanasas, Los arabinoxilanos en las materias primas. Fichas de materias primas y aditivos_Nutrición. Comunidad Profesional Porcina https://www.3tres3.com/articulos/xilanasas_40809/. Fecha consulta realizada: 23_04_2021.

-
- Stan, F. (2014). Anatomical Particularities of the Cecum in Rabbits and Chinchillas. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Veterinary Medicine*, 71(2). DOI:10.15835/buasvmcn-vm: 10587.
- Steel, R., Torrie, J., and Dickey, D. (1997). *Bioestadística: Principios y procedimientos*. 2da ed., McGraw-Hill, México.
- Stein, H.H., B.Sève, M. F. Fuller, P. J. Moughan, and C. F. de Lange. (2007). Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: terminology and application. *J. Anim. Sci.* 81: 172-180.
- Thamaga, MW, Mokoboki, HK, Sebola, NA, and Ravhuhali KE. 2021. Digestibilidad aparente y composición nutricional de la harina de hojas de *Leucaena leucocephala* (Lam) incorporada en las dietas de pollos de raza Black Australorp y Potchefstroom Koekoek. *Trop Anim Salud Prod* 53, 458. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02922-w>.
- Thompson LU. (1993). Potential health benefits and problems associated with antinutrients in foods. *Food Res Int*;26(2):131-49
- Valdivia, A.G., Cortés, F.N., Alba, H.F., Martínez, R.H.A., Tórtora, P.J.L., y Montaraz, C.J.A. (2007). Aspectos morfológicos e inmunológicos del apéndice cecal del conejo. *Veterinaria México.*, 38 (3).
- Van Krimpen, M.M., Torki, M., & Schokker, D. (2017). Effects of rye inclusion in grower diets on immune competence-related parameters and performance in broilers. *Poultry science*, 96(9), 3324-3337. <https://doi.org/10.3382/ps/pex152>.
- Van Soest PJ. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. New York: Cornell University Press.
- Van Soest, P. J., J. B. Roberson, and B. A. Lewis. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3897.

Vandeplas, S., y Bodin, J.C. (2012). Acción de una xilanas producida por *Basilus subtilis*. Efectos sobre la flora intestinal y el estado sanitario de las aves. *Selecciones Avícolas*, noviembre, 19-22.

Xiccato, C., Parigi, B.R., Dalla Zotte, A., Carazzolo, A., Cossu, M.E. (1995). Effect of dietary energy level, addition of fat and physiological state on performance and energy balance of lactating and pregnant rabbit does. *Animal Science* 61, 387-398.

Zambrano Vélez, R. P. (2013). Aplicación de enzimas digestivas amilasa, proteasa y xilanasas (avizyme) en la alimentación de pollos de engorde en el Cantón La Concordia.

X. Anexos

NOTA: CONSIDERO QUE EL ÚLTIMO ANEXO (ARTÍCULO PUBLICADO EN REV. COL. DE CIENC. PECU. NO DEBE ANEXARSE, QUE DIFERENCIA HAY CON EL ARTÍCULO ACEPTADO EN LA REVISTA TROP ANIMAL HEALTH AND PROD.???. ESTÁ DUPLICADA LA INFORMACIÓN???

YA TE ESTÁS SALEM...MIZANDO?. O CONEJEANDO ARTÍCULOS???

Anexo 1. Artículo aceptado

Se presenta la carta de aceptación, primera pagina y el resumen del artículo aceptado en la revista *Tropical Animal Health and Production*.

Date: 22 Mar 2024
To: "Juan Edrei Sanchez Torres" edreie@yahoo.com.mx
From: "Tropical Animal Health and Production" mariafe.delaserna@springernature.com
Subject: Decision on your manuscript #TROP-D-23-01869R1

Dear Dr Sanchez Torres:

We are pleased to inform you that your manuscript, "Productive performance, digestibility, carcass traits and meat quality in rabbits fed triticale-based diets supplemented with xylanase" has been accepted for publication in *Tropical Animal Health and Production*.

You will receive e-mails from Springer in the near future regarding the following items:

1.

An email from Author Services with a link to complete the grant of rights.
At this point you can indicate if you wish to publish your article as open access (freely available for anyone worldwide in exchange for payment of an open access charge) or traditionally. Please be very careful in making this selection and note the open access fees incurred.
2.

Proofs, which will be finalized and delivered after the publishing agreement has been received through our system.

If you do not hear from Springer within 14 days of this email please contact the journal by clicking the link below:

<https://www.springer.com/journal/11250/contact-the-journal>

Please remember to always include your manuscript number, #TROP-D-23-01869R1, whenever inquiring about your manuscript.

Thank you.

Best regards,

The Editorial Office

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xylanasa

Tropical Animal Health and Production

Productive performance, digestibility, carcass traits and meat quality in rabbits fed triticale-based diets supplemented with xylanase

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	TROP-D-23-01869R1	
Full Title:	Productive performance, digestibility, carcass traits and meat quality in rabbits fed triticale-based diets supplemented with xylanase	
Article Type:	Regular Articles	
Corresponding Author:	Juan Edrei Sanchez Torres, Doctor Universidad Autónoma del Estado de México Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia: Universidad Autonoma del Estado de Mexico Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Toluca, Estado de Mexico MEXICO	
Corresponding Author Secondary Information:		
Corresponding Author's Institution:	Universidad Autónoma del Estado de México Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia: Universidad Autonoma del Estado de Mexico Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	
Corresponding Author's Secondary Institution:		
First Author:	Johana Paola Galeano-Díaz, Maestria	
First Author Secondary Information:		
Order of Authors:	Johana Paola Galeano-Díaz, Maestria Juan Edrei Sanchez Torres, Doctor Ignacio Arturo Domínguez-Vara, Doctor Ernesto Morales-Almaraz, Doctor Jacinto Efrén Ramírez Bribiesca, Doctor Rosy Gabriela Cruz-Monterrosa, Doctora Miguel Cervantes Ramírez, Doctor Benjamín Valladarez Carranza, Doctor	
Order of Authors Secondary Information:		
Funding Information:	Universidad Autónoma del Estado de México	Not applicable
Abstract:	Cereals such as triticale may contain high levels of xylans and arabinoxylans, limiting its use in diets since they act as anti-nutritional factors. The objective was to evaluate the effects of the enzyme xylanase included in triticale-based diets on productive performance, digestibility, carcass traits and meat quality in growing-finishing rabbits. Eighty rabbits (New Zealand X California breed), 35 days old, with an average initial live weight of 821±26 g, were used. Twenty animals for treatment were used in each one of the fourth experimental treatments: 0, 4000, 8000 and 12000 XU/kg of xylanase inclusion (XilaBlend 6X). The rabbits were fed ad libitum and fecal excretion was collected on days 7, 14, 21, 28 and 35 of the experimental period. At the end of the experimental period, the rabbits were slaughtered and carcass characteristics and meat quality were measured. A higher ($P < 0.05$) live weight was observed in rabbits fed diets with the addition of xylanase enzyme on days 4 and 7 of the experimental period. On the other hand, in the average total tract digestibility of organic matter, no significant difference ($P > 0.05$) was observed, similar to what occurred in the carcass traits and nutritional quality of the meat ($P > 0.05$). The inclusion of 8000 XU/kg of xylanase enzyme provided the best values of apparent digestibility of total tract protein and dry matter on the finished stage of rabbits.	

Powered by Editorial Manager® and ProduXion Manager® from Aries Systems Corporation

Anexo 2. Artículo enviado

Se presenta correo de recepción, primera página y el resumen del artículo enviado en la revista World Rabbit Science.

De: Chelo Lario via Polipapers [Papers] <polipapers@upv.es>

Enviado: lunes, 25 de diciembre de 2023 7:56 p. m.

Para: Juan Edrei Sanchez Torres <edreie@yahoo.com.mx>; Johana Paola Galeano Diaz <jgaleanod039@alumno.uaemex.mx>; German Isauro Garrido Fariña <isaurogafa@yahoo.com.mx>; Ignacio Arturo Dominguez Vara <igy92@hotmail.com>; Ernesto Morales Almaraz <emoralesa@uaemex.mx>

Asunto: [wrs] Submission Acknowledgement

Hello,

document juan edrei sanchez torres has submitted the manuscript, "Histological and histochemical evaluation of the small intestine and cecal appendix of rabbits fed triticale-based diets added with xylanase" to World Rabbit Science.

If you have any questions, please contact me. Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Chelo Lario

World Rabbit Science

<https://polipapers.upv.es/index.php/wrs>

- 1 **Histological and histochemical evaluation of the small intestine and cecal**
- 2 **appendix of rabbits fed triticale-based diets added with xylanase**
- 3 Johana Paola Galeano Diaz¹, Juan Edrei Sánchez Torres^{1*}, German Isauro Garrido
- 4 Fariña², Ignacio Arturo Domínguez Vara¹, Ernesto Morales Almaraz¹
- 5 Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics, Autonomous University of the
- 6 State of Mexico, "El Cerrillo" University Campus, Toluca, 50090, State of Mexico,
- 7 Mexico.
- 8 Faculty of Higher Studies Cuautitlán, National Autonomous University of Mexico,
- 9 Mexico City, Mexico.
- 10 ORCID numbers: J.P.G.D 0000-0002-7034-8788
- 11 J.E.S.T [0000-0002-3179-2536](https://orcid.org/0000-0002-3179-2536)
- 12 G.I.G.F [0000-0003-2137-9315](https://orcid.org/0000-0003-2137-9315)
- 13 I.A.D.V [0000-0001-9718-8318](https://orcid.org/0000-0001-9718-8318)
- 14 E.M.A 0000-0003-0675-2193
- 15 ***Corresponding author:** Juan Edrei Sanchez Torres
- 16 Phone: +52 722 665 6822
- 17 Email: edreie@yahoo.com.mx

18 Authors contribution¹: J.P.G.D: Investigation, methodology and Writing—Original
19 Draft.

20 J.E.S.T: Project Design and Supervision, Project
21 administration, and Writing—review and editing.

22 G.I.G.F: Project Design and Supervision, methodology and
23 Writing—review and editing.

24 I.A.D.V: Project Design and Supervision, Project
25 administration, and Writing—review and editing.

26 E.M.A: Project Design and Supervision, Project
27 administration, and Writing—review and editing.

28 **Running Head:** World Rabbit Science: a reference on rabbits

29

30 **Abstract:** The inclusion of triticale in rabbit diets can negatively affect production
31 parameters due to the presence of arabinoxylans that increase the viscosity of
32 intestinal contents, making digestion and absorption of nutrients difficult. Therefore,
33 the addition of the enzyme xylanase can improve intestinal morphology and the
34 digestive process. The aim of the present study was to evaluate histologically and
35 histochemically the small intestine and cecal appendix of rabbits in the growth-
36 finishing stage fed with diets with 14% triticale added with different levels of

¹ Review authors guide. Authors must identify the individual contribution of each author in the work, using the [CRediT](#) terminology: conceptualization, methodology, software, validation, formal analysis, investigation, resources, data curation, writing – original draft, writing – review & editing, visualization, supervision, project administration and funding acquisition.

37 xylanase. Forty 35-day-old male rabbits of the New Zealand × California breed were
38 used, which were housed in individual cages and randomly divided into four
39 experimental treatments (xylanase at doses of 0, 4000, 8000 and 12000 XU/kg of
40 dry matter). At the end of the experimental period of 35 days, the rabbits were
41 slaughtered, taking samples from the duodenum, jejunum, ileum and cecal
42 appendix, which were stained using the standard Hematoxylin-Eosin (HE) technique
43 for the histological evaluation and Alcian Blue (PAS) for the histochemical
44 evaluation. The addition of xylanase linearly increased the height of villus in the
45 duodenum, jejunum, and ileum, while villus width was linearly reduced in jejunum
46 and increased in ileum. Crypt depth was linearly reduced by xylanase dose in
47 duodenum, while the response was linear and quadratic in jejunum and ileum. The
48 villus height to crypt depth ratio was linearly increased by the xylanase dose in the
49 duodenum and jejunum, although the effect was quadratic in the ileum. The dome
50 height of the cecal appendix increased linearly with the addition of xylanase.
51 Epithelial mucus count was linearly reduced by xylanase dose in the base of the
52 duodenum, jejunum, and cecal appendix, although this linear reduction was only
53 observed in the villus of the jejunum and cecal appendix. In conclusion, the addition
54 of xylanase positively affects the histological and histochemical characteristics of the
55 small intestine and cecal appendix, so its use could improve digestion and productive
56 performance in rabbits.

57 **Keywords:** Cecal appendix, Rabbits, Histological, Triticale, Intestinal villi, Xylanase.

58

Anexo 3. Constancias y memorias en participación de congresos.



Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

LVI Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Memoria. Ciudad de México, 10-12 de nov. 2021.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y COSTOS DE ALIMENTACIÓN EN CONEJOS EN ETAPA DE CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN ALIMENTADOS CON DIETAS ADICIONANDO XILANASA.

Johana Paola Galeno Díaz, Luis Fernando Leyva Solano, María Lourdes García Bello, Juan Edrei Sánchez Torres^{1*}, Carolina Peña Gallegos, Fernando Julián Recillas Sara, Ignacio A. Domínguez Vara, Ernesto Morales Almaraz.

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario "El Cerrillo", Toluca, Estado de México.
edreie@yahoo.com.mx

Palabras clave: Conejo, Xilanasa, nutrición.

INTRODUCCIÓN

La cunicultura se destaca por ser una alternativa para producir proteína animal a bajo costo, y de alto valor nutricional. La carne de conejo se considera un alimento funcional y contiene niveles bajos de colesterol lo cual favorece el consumo de esta carne para personas con problemas cardiovasculares. La investigación en el sector cunícola está interesada en el desarrollo de estrategias de alimentación para ser más eficientes en el aprovechamiento de los nutrientes de los alimentos, y así aumentar el valor nutricional de la carne de conejo, algunas estrategias nutricionales deben centrarse alrededor del periodo de destete, ya que es una fase crítica por la sensibilidad a enfermedades digestivas, probablemente relacionados con los procesos de maduración digestiva, incluyendo el desarrollo de la microbiota y el sistema inmunológico (Gidenne y García, 2006). En los conejos, durante el periodo de destete, aun no logra que su tracto digestivo este bien desarrollado, por lo cual, tiene una capacidad enzimática digestiva limitada. La principal razón para adicionar enzimas en la alimentación animal es la utilización eficiente de los nutrientes que existen en los ingredientes que se les ofrece a los animales, logrando maximizar el comportamiento productivo y reducir el periodo de tiempo de engorda de los animales. El cultivo del triticale se ha establecido como una opción viable para el sector ganadero debido a sus propiedades nutricionales, el bajo costo de producción y al alto rendimiento. Pudiendo ser una materia prima alternativa con potencial para las dietas de conejos de engorde, no obstante el triticale contiene niveles altos de xilanos y arabinoxilanos, que limitan su uso en las dietas ya que actúan como factores antinutricionales; la suplementación de enzimas como xilanasa en dietas que contienen altas concentraciones de polisacáridos no amiláceos mejora la eficiencia de la utilización del alimento en aves y cerdos (Mendes *et al.*, 2013), en este sentido, se considera como buena alternativa la investigación de la capacidad de la xilanasas utilizadas para mejorar el valor nutritivo en una dieta de conejos incorporando ingredientes de como el triticale. En conejos no existe suficientes reportes científicos que justifiquen la adición de enzimas establecidas para algunos ingredientes, por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la adición de la enzima xilanasa en la dieta con triticale para conejos en etapa de crecimiento-finalización sobre la respuesta productiva y costos de alimentación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el Área Experimental Cunícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada en el Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Se utilizaron 40 conejos machos de 35 días de edad, de la raza Nueva Zelanda x California, los cuales fueron alojados en jaulas individuales, con su respectivo comedero y bebedero y fueron asignados al azar a uno de las cuatro dietas experimentales, con diferentes niveles de inclusión de Xilanasa (XilaBlend 6X), siendo: T1: Dieta a base de heno de alfalfa (40%), triticale (14%), pasta de soya (10.5%), salvado de trigo (14%), heno de avena (16%), aceite vegetal (2.7%) y una premezcla de vitaminas y minerales. Los tratamientos 2, 3 y 4 fueron similares al T1 con la inclusión de diferentes niveles de la enzima xilanasa (4000, 8000 y 12000 BXU/kg, respectivamente). Se evaluó la respuesta productiva en términos de consumo de alimento, ganancia de peso, conversión y eficiencia alimenticia. La información del estudio fue analizada bajo un diseño experimental completamente al azar, donde los datos recabados fueron procesados con un análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM del SAS (2002) y la comparación de medias se realizó por prueba de Tukey. Se realizó un análisis de presupuestos parciales, utilizando la metodología de Wiggins *et al.* (2001), y así determinar la viabilidad económica de las dietas

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa



Sociedad Mexicana de Anatomía A.C.

Otorga a:

Galeno-Díaz J.P, Sánchez-Torres J.E I, Garrido-Fariña G.I, Domínguez-Vara I.A, Morales-Almaraz, García-Bello M.L, Dávila-Soto J.I.

Por su participación en la presentación de trabajos libres modalidad:

Cartel

con el trabajo titulado:

Aspecto Histológico del Apéndice Cecal de Conejos Alimentados con Dietas Adicionando Xilanasa

8 al 12 de noviembre de 2021, México. Cd.Mx.

Dr. Antonio Soto Paulino
Secretario

Dr. Diego Pineda Martínez
Presidente

Dra. Lorena Valencia Caballero
Tesorera

08 al 12
NOV.



Sociedad Mexicana de Anatomía A.C.

Otorga a:

Johana Paola Galeano Diaz

Por su participación como

Asistente

de la

XXIV Reunión Nacional de Morfología 2021

8 al 12 de noviembre de 2021, México. Cd.Mx.

Dr. Antonio Soto Paulino
Secretario

Dr. Diego Pineda Martínez
Presidente

Dra. Lorena Valencia Caballero
Tesorera

08 al 12
NOV.



Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa



ANIVERSARIO - UABC



Universidad Autónoma de Baja California Instituto de Ciencias Agrícolas

Otorga la presente Constancia a:

**J.P. GALENO DÍAZ, J.E. SÁNCHEZ TORRES, G.I. GARRIDO FARIÑA, S.O. SANTILLÁN
HIDALGO, J. HERNÁNDEZ NÚÑEZ, F. HERNÁNDEZ ROBLES, M.L. GARCÍA BELLO, E.
MORALES ALMARAZ, I. A. DOMÍNGUEZ VARA**

Por su destacada participación como Ponente del trabajo titulado:

**"COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y ASPECTO HISTOLOGICO DEL INTESTINO
DELGADO Y APENDICE CECAL DE CONEJOS ALIMENTADOS CON TRITICALE ADICIONANDO
XILANASA"**

Dentro del marco de la **"XXXII Reunión Internacional Sobre Producción de Carne y Leche en
Climas Cálidos"**

Mexicali, Baja California, Octubre 2022

Dr. Daniel González Mendoza
Director del Instituto de Ciencias Agrícolas

Dr. Ernesto Avelar Lozano
Presidente del comité organizador



Comportamiento productivo y aspecto histológico del intestino delgado y apéndice cecal de conejos alimentados con triticale adicionando xilanasa

J. P. Galeano Díaz, J. E. Sánchez Torres¹, G. I. Garrido Fariña²,
S. O. Santillán Hidalgo, J. Hernández Núñez, F. Hernández Robles, M. L. García Bello,
E. Morales Almaraz, I. A. Domínguez Vara.

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México.,
Toluca, Estado de México.

Productive performance and histological appearance of the small intestine and cecal appendix of rabbits fed with triticale added xylanase

Abstract. The objective was to evaluate the addition of xylanase on the productive performance and histological aspects of the small intestine and cecal appendix of rabbits fed diets containing triticale. 120 rabbits were randomly distributed to one of the four treatments differentiating them from the inclusion of xylanase (0, 4000, 8000 y 12000 XU/kg, respectively), the animals were weighed weekly and at the end of the experimental period, the rabbits were slaughtered taking samples of the duodenum, jejunum and cecal appendix to perform the technique of staining with Hematoxylin-Eosin (HE). An analysis of variance was performed using the GLM procedure of SAS (2002) and Tukey's test. The addition of xylanase enzyme increased ($p<0.05$) the live weight at day 4 and 7 of the rabbits and increased ($p<0.05$) the areas of intestinal villi of the duodenum, jejunum and cecal appendix.

Keywords: rabbits, small intestine, xylanase, triticale

Resumen. El objetivo fue evaluar la adición de la xilanasa sobre el comportamiento productivo y aspectos histológicos del intestino delgado y apéndice cecal de conejos alimentados con dietas a base triticale. Se utilizaron 120 conejos distribuidos al azar a uno de los cuatro tratamientos diferenciándolos de la inclusión de la xilanasa (0, 4000, 8000 y 12000 XU/kg, respectivamente), se realizó el pesaje de los animales semanalmente y finalizado el periodo experimental, se procedió al sacrificio de los conejos tomando muestras del duodeno, yeyuno y el apéndice cecal para realizar la técnica de tinción con Hematoxilina-Eosina (HE). Se realizó un análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM del SAS (2002) y la prueba de Tukey. La adición de la enzima xilanasa aumento ($p<0.05$) el peso vivo en el día 4 y 7 de los conejos, e incremento ($p<0.05$) las áreas de las vellosidades intestinales del duodeno, yeyuno y apéndice cecal.

Palabras clave: conejos, intestino delgado, xilanasa, triticale

Introducción

La investigación en el sector cunícola está interesada en el desarrollo de estrategias de alimentación para ser más eficientes en el aprovechamiento de los nutrientes de los alimentos, algunas estrategias nutricionales deben centrarse alrededor del período

de destete, ya que es una fase crítica por la sensibilidad a enfermedades digestivas, probablemente relacionados con los procesos de maduración digestiva, incluyendo el desarrollo de la microbiota y el sistema inmunológico (Gidenne y

¹Autor de correspondencia: edreis@yahoo.com.mx

²Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, México..





El Comité Organizador de la Convención Producción Animal y Agrodesarrollo AGROPAT 2022, otorga el presente

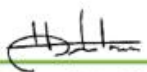
CERTIFICADO

A: Johana Paola Galeano, Juan Edrei Sánchez, Ernesto Morales, Ignacio Arturo Domínguez, Benjamín Valladares, María Lourdes García, German Isauro Garrido, José Ignacio Davila
Por su participación en el evento como:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="radio"/> Conferencista | <input checked="" type="radio"/> Delegado | <input type="radio"/> Comité organizador |
| <input type="radio"/> Presentación oral | <input type="radio"/> Invitado | <input type="radio"/> Comité científico |
| <input checked="" type="radio"/> Póster | <input type="radio"/> Expositor | |

Título: *Digestibilidad en conejos alimentados con dietas a base de triticales adicionadas con xilanasa*

Dado en Varadero, Matanzas, Cuba.
A los 14 días del mes de octubre del año 2022


Dr. C. José A. Díaz
Untoria (ICA)


Dr. C. Luis A. Hernández
Olivera (EPPFIH)


Dr. C. Lissette Fernández
Páramo (ACPA)

*“Por la sostenibilidad, resiliencia
y equidad de los sistemas agrarios”*

VII AMERICAN RABBIT CONGRESS
VARADERO, CUBA, 12TH-13TH OCTOBER, 2022.

DIGESTIBILITY IN RABBITS FED TRITICALE-BASED DIETS SUPPLEMENTED WITH XYLANASE

JOHANA PAOLA GALEANO DIAZ, JUAN EDREI SANCHEZ TORRES, ERNESTO MORALES ALMARAZ, IGNACIO ARTURO DOMÍNGUEZ VARA, BENJAMÍN VALLADARES CARRANZA, MARÍA LOURDES GARCÍA BELLO, GERMAN ISAIRO GARRIDO FARIÑA, JOSÉ IGNACIO DAVILA SOTO

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.

edreie@yahoo.com.mx

World Rabbit Sci. 31: 57-63 | 61

The objective was to evaluate the apparent total tract digestibility (ATTD) of triticale-based diets supplemented with xylanase in growing-finishing rabbits. Forty rabbits with an average initial weight of 804 ± 105 g, New Zealand \times California breed, 35 d old, were used, distributed in a completely randomised design. The treatments (T) were: T1, control diet: based on alfalfa hay (40%), triticale (14%), soybean meal (10.5%), wheat bran (14%), oat hay (16%), vegetable oil (2.7%) and a premix of vitamins and minerals. Treatments 2, 3 and 4 were similar to T1, with the inclusion of different xylanase enzyme levels (4000, 8000 and 12000 XU/kg, respectively). The rabbits were fed *ad libitum* and faecal excretion was collected on the days 7, 14, 21, 28 and 35 of the experiment. Samples of food and faeces were collected and then stored at -15°C for subsequent chemical analyses. Data were processed with an analysis of variance using the SAS GLM procedure (2002) and treatment means were compared with Tukey's test ($P \leq 0.05$). The experimental diet with 8000 XU/g of xylanase enzyme provided the best crude protein and dry matter ATTD values at day 14 and 28 of the experiment.



Universidad Autónoma del Estado de México

La Secretaría de Investigación y Estudios Avanzados

Otorga la presente

Constancia

a la estudiante

Johana Paola Galeano Diaz

Por participar en la
Tercera Bienal Estudiantil de Ciencias y Tecnología,
con el proyecto "Evaluación de la respuesta productiva, morfometría del intestino delgado y apéndice cecal de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas a base de triticale adicionando xilanasa", en el nivel Doctorado, en la modalidad Individual, del área del conocimiento Ciencias de Agricultura, Agropecuarias, Forestales y de Ecosistemas.

Toluca, México, 20 de octubre de 2022.

Patria, Ciencia y Trabajo
"2022, Celebración de los 195 Años de la Apertura de las Clases en el Instituto Literario"



SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN
Y ESTUDIOS AVANZADOS
Doctora en Ciencias Sociales
Martha Patricia Zarza Delgado
Secretaria

ADMINISTRACIÓN
UNIVERSITARIA
2021-2025

SIEA



Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa



La Sociedad Mexicana de Histología A.C.

Otorga el presente reconocimiento a:

**Galeano Díaz Johana P. Sánchez Torres
Juan E.**

Por su excelente participación en el concurso de fotografía de la Sociedad Mexicana de Histología, con la fotografía titulada:
"CORTE HISTOLÓGICO DEL APÉNDICE CECAL DE CONEJO".
PAS.

**Durante el XLI Congreso Mexicano y IX Iberoamericano de
Histología**

07 al 11 Noviembre 2022

Torreón, Coahuila, MX

Dr. Salvador Chavarría Vázquez
Director FMUACUT

Dr. Rubén García Garza
Presidente SMH

Dr. Daniel Campos Torres
Subdirector de Posgrado

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa



**20 REUNIONES
22 científicas**
09 - 12 NOV
TABASCO

REUNIONES NACIONALES DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN
PECUARIA, AGRÍCOLA, FORESTAL Y ACUÍCOLA PESQUERA

OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA

A

**GALEANO DIAZ JOHANA PAOLA, SANDRA ODAY
SANTILLÁN HIDALGO, JUAN EDREI SÁNCHEZ TORRES,
GERMAN ISAURO GARRIDO FARIÑA, ERNESTO MORALES
ALMARAZ, IGNACIO ARTURO DOMÍNGUEZ VARA**

Por su participación con el trabajo denominado:

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE LA XILANASA SOBRE EL ASPECTO HISTOLOGICO DEL
APENDICE CECAL DE CONEJOS ALIMENTADOS CON TRITICALE**

DR. LUIS ÁNGEL RODRÍGUEZ DEL BOSQUE
Vicepresidente del Comité Organizador Nacional

VILLAHERMOSA TABASCO, 09 AL 12 DE NOVIEMBRE DE 2022

Ciencia para vivir



Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanasa

LVII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Memoria. Villahermosa.Tabasco, 9 - 12 de nov. 2022

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE LA XILANASA SOBRE EL ASPECTO HISTOLÓGICO DEL APÉNDICE CECAL DE CONEJOS ALIMENTADOS CON TRITICALE.

Johana Paola Galeno Díaz¹, Sandra Odalys Santillán Hidalgo¹, Juan Edrei Sánchez Torres^{1*}, German Isaura Garrido Fariña², María Lourdes García Bello¹, Monserrat Cruz Hernández¹, Jesús Hernández Núñez¹, Ernesto Morales Almaraz¹, Ignacio Arturo Domínguez Vara¹, Benjamín Valladares Carranza¹

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario "El Cerrillo", Toluca, Estado de México. ²Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, México, Cd.Mx.

*edreia@yahoo.com.mx

Palabras clave: Apéndice cecal, Conejo, Xilanasa.

INTRODUCCIÓN

El apéndice cecal es continuación del ciego, se origina embriológicamente en el mismo lugar que el ciego, y su pared está constituida por un tejido linfoide organizado en nódulos con centros germinativos, siendo un órgano linfático de gran importancia en el conejo (Anda *et al.*, 2007). La investigación en el sector cunicola ha estado orientada en el desarrollo de estrategias de alimentación para ser más eficientes en el aprovechamiento de los nutrientes de los alimentos, y así aumentar el valor nutricional de la carne de conejo, algunas estrategias nutricionales deben centrarse alrededor del periodo de destete, ya que es una fase crítica por la sensibilidad a enfermedades digestivas, probablemente relacionados con los procesos de maduración digestiva, incluyendo el desarrollo de la microbiota y el sistema inmunológico (Gidenne y García, 2006). En este trabajo se realizó mediciones del apéndice cecal de conejos alimentados con una materia prima alternativa con potencial para las dietas de conejos de engorde el triticale, no obstante este cereal contiene niveles altos de xilanos y arabinoxilanos, que limitan su uso en las dietas ya que actúan como factores antinutricionales; la suplementación de enzimas como xilanasa en dietas que contienen altas concentraciones de polisacáridos no amiláceos mejora la eficiencia de la utilización del alimento en aves y cerdos (Mendes *et al.*, 2013).

OBJETIVO

Evaluar histológicamente el apéndice cecal de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas que contengan triticale adicionadas con xilanasa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 40 conejos machos de 35 días de edad, de la raza Nueva Zelanda x California, los cuales fueron alojados en jaulas individuales, con su respectivo comedero y bebedero y fueron asignados al azar a uno de las cuatro dietas experimentales, con diferentes niveles de inclusión de Xilanasa (XilaBlend 6X), siendo: T1: Dieta a base de heno de alfalfa (40%), triticale (14%), pasta de soya (10.5%), salvado de trigo (14%), heno de avena (16%), aceite vegetal (2.7%) y una premezcla de vitaminas y minerales. Los tratamientos 2, 3 y 4 fueron similares al T1 con la inclusión de diferentes niveles de la enzima xilanasa (4000, 8000 y 12000 XU/kg, respectivamente). Finalizado el periodo experimental, se procedió a la matanza de los conejos tomando muestras del apéndice cecal, las muestras de tejido colectada fueron fijadas en formol al 10% durante 48 h, posteriormente se lavaron con agua para eliminar el exceso de fijador y se deshidrataron en soluciones de alcohol con gradientes de concentración progresivos. Una vez deshidratados, los tejidos fueron incluidos en parafina para después ser cortados a 4 µm de espesor en el microtomo (Leica RM2125 RTS). Los cortes obtenidos fueron montados en portaobjetos, desparafinados y rehidratados para después ser teñidos mediante la técnica de rutina con Hematoxilina-Eosina (HE). Los cortes teñidos fueron observados al microscopio (Leica DM1000) (Aguilar, 2008), y se procedió a realizar mediciones en las áreas del domo a lo ancho y alto. La información del estudio fue analizada bajo un diseño experimental completamente al azar, donde los datos recabados fueron procesados con un análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM del SAS (2002) y la comparación de medias se realizó por prueba de Tukey.

Evaluación de la digestibilidad, respuesta productiva, características de canal y calidad de carne de conejos en etapa de crecimiento-finalización, alimentados con dietas adicionadas con la enzima xilanas

2023
ENICIP
XVII ENCUESTRO NACIONAL y
X INTERNACIONAL DE INVESTIGADORES
DE LAS CIENCIAS PECUARIAS

Certifica que:

JOHANA PAOLA GALEANO DIAZ

Participó en el XVII Encuentro Nacional y X Internacional de Investigadores de las Ciencias Pecuarias en calidad de ponente con el trabajo:
Aspecto histológico e histoquímico del intestino delgado y apéndice cecal de conejos alimentados con dietas adicionando xilanas

Realizado en modalidad presencial los días 25, 26 y 27 de octubre de 2023


JENNY JOVANA CHAPARRO GUTIÉRREZ
Organizadora general ENICIP 2023


LUZ NATALIA FRANCO MONTOYA
Coordinadora académica ENICIP 2023



Evaluación nutricional de vacas doble propósito suplementadas con diferentes niveles de inclusión de aceite esencial de canela (*Cinnamomum verum*)

Nutritional evaluation of dual-purpose cows supplemented with different levels of inclusion of cinnamon essential oil. (*Cinnamomum verum*)

Victor A Martínez Torres¹; Javier E Garcés Cárdenas¹; Libardo Maza Angulo¹; Óscar Vergara Garay¹; José A Cardona Álvarez².

¹Universidad de Córdoba; Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; Grupo de Investigación en Producción Animal Tropical. ²Universidad de Córdoba; Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; Semillero de Estudios en Medicina de Grandes Animales; Grupo de Investigación MEGA.

E-mail: javiergarcesc@correo.unicordoba.edu.co

Background: essential oils *in vitro* studies have shown enhancement in the digestibility of nutrients, generating greater efficiency, however, they must be evaluated in terms of doses and production systems. **Objective:** to determine the effect of essential oil inclusion levels on weight gain, body condition, energy-protein metabolic profile, dry matter consumption and digestibility in dual-purpose lactating cows under grazing and supplementation conditions. **Methods:** the study lasted 108 days. 24 dual purpose multiparous crossbred cows were used. A completely randomized design was used, in which the animals were randomly divided into four treatments with a 1 kg/day supplement supplied with 19 % CP, with inclusion levels of 0, 0.5, 1 and 1.5 g of cinnamon essential oil. (*Cinnamomum verum*)/day. **Outcome:** the inclusion of cinnamon essential oil did not affect average daily gain and body condition score ($p > 0.05$). Likewise, it did not affect ($p > 0.05$) the metabolic variables under study. The addition showed an effect on CMS % PV, DMS, BMD, DPB ($p < 0.05$) **Conclusions:** the results suggest that supplementation with the addition of cinnamon essential oil in cows in production with low quality pastures can improve performance without affecting the metabolic profile of the animal in production.

Keywords: digestibility, metabolic profile, milk.

Palabras clave: digestibilidad, leche, perfil metabólico.

Aspecto histoquímico del intestino delgado y apéndice cecal de conejos alimentados con dietas adicionando xilanasa

Histological and histochemical appearance of the small intestine and cecal appendix of rabbits fed xylanase-added diets

Johana P Galeano Díaz¹; Karla Galván Camacho¹; Juan E Sánchez Torres¹; German I Garrido Fariña²; Ignacio A Domínguez Vara¹; Ernesto Morales Almaraz¹.

¹Universidad Autónoma del Estado de México. ²Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán; Universidad Nacional Autónoma de México.

E-mail: jgaleanod039@alumno.uaemex.mx

Antecedentes: actualmente no existen suficientes informes científicos que respalden la inclusión de ciertas enzimas en la dieta de conejos, se ha considerado agregar la enzima xilanasa en la comida de conejos que contienen triticale con el fin de mejorar tanto el comportamiento productivo de los conejos, como el aspecto histoquímico de los animales. **Objetivo:** realizar análisis histoquímicos del intestino delgado y apéndice cecal de conejos durante la etapa de crecimiento y finalización, que hayan sido alimentados con dietas que contengan triticale y enzima xilanasa añadida a la misma. **Métodos:** en el estudio se emplearon 40 conejos machos, raza Nueva Zelanda x California, de 35 días de edad, los cuales se alojaron en jaulas individuales y se distribuyeron aleatoriamente en uno de los cuatro grupos de alimentación, que contenían distintos niveles de inclusión de xilanasa. El tratamiento 1, se basó en una dieta que incluía heno de alfalfa (40 %) , triticale (14 %), pasta de soya (10,5 %), salvado de trigo (14 %), heno de avena (16 %), aceite vegetal (2,7 %) y una premezcla de vitaminas y minerales. Los tratamientos 2, 3 y 4 consistieron en la misma dieta que el tratamiento 1, pero con cantidades distintas de xilanasa (4000, 8000 y 12000 XU/kg respectivamente). Al finalizar el estudio, se realizó el sacrificio de los conejos, se tomaron muestras del intestino delgado y apéndice cecal, estas muestras se fijaron en formol al 10 % durante 48 horas y posteriormente se tiñeron mediante la técnica de azul Alcian (PAS). Posteriormente, se observaron los cortes teñidos al microscopio Leica DM1000 para contar los gránulos de los mucocitos epiteliales de color azul. Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM del SAS (2002) y la comparación de medias se realizó utilizando la prueba de Tukey, siguiendo un diseño experimental completamente al azar. **Resultado:** los conejos alimentados con las dietas T1 y T2 presentaron un mayor conteo de mucocitos epiteliales con proyección de polisacáridos ácidos. **Conclusión:** el incremento en la liberación de mucocitos y la formación de una capa de moco sobre el intestino delgado y apéndice cecal, juegan un papel protector en la vellosidad.

Palabras clave: apéndice cecal, conejos, histoquímico, intestino delgado, xilanasa.

Keywords: cecal appendix, histochemical, rabbits, small intestine, xylanase.