



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES DE LA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

ENZIMAS, PROTEASAS, PENTOSANASAS, CELULASAS,
AMILASAS Y ALFA-GALACTOSIDASAS EN LA ALIMENTACIÓN
DE GALLINAS DE POSTURA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A

M a r i o N o l a s c o O r t í z

Asesor:

MC. Benjamín Fuente Martínez
EPA. Tomás Jínez Méndez



MÉXICO, D. F.

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES: SOCORRO Y SERAFIN

Gracias por tomarme de la mano y enseñarme a caminar, con grandes ejemplos de responsabilidad, dedicación y humildad. Los amo.

A MI ABUELITA:

JOSEFA. Se que algún día volveremos a bailar chilenas. Te guardo en lo más profundo de mi corazón.

A MI ESPOSA E HIJOS:

ROSA TAPIA GALVAN

BRENDA DIANA, CECILIA Y MARIO JESUS NOLASCO TAPIA

Por darme la alegría de la vida y hacer de este sueño un paraíso. Los amo.

A DIOS:

Por enseñarme que nada se logra sin esfuerzo

“Escoge una carrera que ames
y jamás en tu vida
tendrás que trabajar”
Confucio

AGRADECIMIENTOS

A nuestra máxima casa de estudios, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO y a la FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA ZOOTECNIA, por darnos la oportunidad de navegar en este gran océano del conocimiento humano.

A la Dra. Krimilda Valle Valenzuela de la empresa Alltech de México S.A. de C.V. por sus sugerencias, así como la aportación de las enzimas (Vegpro) con que se realizó el presente trabajo.

Al MSc. Ernesto Ávila González.- Director del CEIEPAv, una mano amiga, apreciable y entusiasta, que brinda confianza, experiencia, conocimientos y tiempo.

Al MC. Benjamín Fuente Martínez, por su inagotable paciencia, dedicación y entusiasmo en la guía de este trabajo, mostrando un profundo amor por el conocimiento.

Al EPA. Tomas Jìnez Méndez, profesionista de mucha responsabilidad y un pilar académico importante en el área de investigación.

Dr. Carlos López Coello, investigador incansable y pilar importante en el área de la avicultura. Por sus valiosas observaciones en la elaboración de este trabajo.

Dr. Ezequiel Sánchez Ramírez, por compartir sus experiencias y sus conocimientos.

Dr. Cuauhtemoc Nava Cuellar, un ejemplo de juventud comprometida y responsable.

Un gran agradecimiento a los Drs. Arturo Cortes Cuevas, Jaime Esquivel Peña, Elizabeth Pozadas, Hilda Jandete, Miguel Valadez, Alejandro Neri, Alfredo Canela, Carlos De la Cruz, Rosario Rodríguez, José Luis Gil Mejía, Raúl Preciado Durán, a

las secretarias del CEIEPAv. Irma Huerta y Oliva Hernández, todos, de gran responsabilidad, que hacen de este lugar, un gran centro de labor profesional.

DCG. Roberto Angel Flores Angulo, por el apoyo en el diseño de la tesis.

GRACIAS

CONTENIDO

RESUMEN.....	2
1.1 INTRODUCCIÓN.....	4
1.1.1 Situación de la avicultura nacional.....	4
1.1.2 Las enzimas en la digestión.....	6
1.1.3 Digestión de las aves.....	11
1.1.4 Pasta de soya.....	16
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	21
1.3 HIPÓTESIS.....	23
1.4 OBJETIVO GENERAL.....	24
2 MATERIAL Y MÉTODOS.....	25
2.1 Análisis Estadísticos.....	27
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4 CONCLUSIONES.....	32
5 BIBLIOGRAFÍA.....	33
6 FIGURAS.....	38
7 CUADROS.....	41

RESUMEN

MARIO NOLASCO ORTIZ. Enzimas proteasas, pentosanasas, celulasas, amilasas y α -galactosidasas en la alimentación de gallinas de posturas (bajo la dirección de MC Benjamín Fuente Martínez y EPA. Tomás Jínez Méndez).

Con el objeto de evaluar el comportamiento productivo de la gallina de postura con la adición de un complejo enzimático en dietas con contenido normal y reduciendo la proteína, aminoácidos y energía metabolizable. Se utilizaron 240 gallinas de la línea Isa Babcock B-380 de 50 semanas de edad con 34 semanas en producción, las aves se distribuyeron completamente al azar en 20 grupos de 12 aves cada uno. Las dietas experimentales fueron tipo práctico basadas en sorgo + pasta de soya. Se empleó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 10 x 2 x 2; donde el primer factor fue la semana (10 semanas), el segundo factor fue el tipo de dieta (Normal y Baja) y el tercer factor fue la adición de enzimas (con enzimas y sin enzimas), cada uno de los cuatro tratamientos contó con 5 repeticiones. Las dietas utilizadas: 1.- Normal sin complejo enzimático, 2.- Normal con complejo enzimático (500g/ton). 3.- Baja sin complejo enzimático, 4.- Baja con complejo enzimático (500g/ton). Se llevaron registros de porcentaje de postura, peso promedio de huevo, masa de huevo por ave por día, consumo de alimento y conversión alimentaria. Los resultados obtenidos en 70 días de experimentación mostraron que la adición de un complejo enzimático (proteasas, pentosanasas, celulasas, amilasas y α -galactosidasas), reducen los factores antinutricionales, no

hubo efecto negativo sobre la productividad e incrementa la digestibilidad de la energía, proteína y aminoácidos de la pasta de soya en dietas tipo práctico para gallinas de postura.

1.1 INTRODUCCIÓN

1.1.1 Situación de la avicultura nacional

La avicultura en México es una actividad muy especializada, que se ha caracterizado por su dinamismo, eficiencia y productividad, la cual puede equipararse con la de los países más avanzados. Sus principales productos finales son huevo y carne, los cuales juegan un papel estratégico en la alimentación del mexicano¹. En estudios efectuados por la Unión Nacional de Avicultores (UNA), se estima que de cada 10 kilos de consumo de proteína de origen animal, seis lo provee la avicultura².

El sector avícola en el 2004, aportó el 0.73% en el PIB total, el 17.3% en el PIB agropecuario y el 35.65% en el PIB pecuario². En los últimos 5 años la participación se ha incrementado anualmente en 5%². La avicultura participa con el 62.6% de la producción pecuaria; 33.5% aporta la producción de pollo, 29.9% la producción de huevo y 0.2% la producción de pavo². Generando 1,020,000 empleos, de los cuales 170,000 son directos y 850,000 indirectos². De 1994 al 2003 el consumo de insumos agrícolas ha crecido a un ritmo anual de 3.7%.²

En el 2004 se consumieron 12.1 millones de toneladas de alimento balanceado de los cuales 7.7 millones representa el proceso de granos forrajero, 2.4 son de pastas oleaginosas y 2 millones de tonelada corresponde a otros ingredientes,

cabe destacar que la avicultura es la principal industria transformadora de proteína vegetal en proteína animal².

México cuenta con una parvada de más de 124 millones de gallinas ponedoras en producción y 240 millones de pollos al ciclo². En el 2004 la producción de huevo fué de 2,198,000 toneladas, creció en la última década a un ritmo anual de 4.2%.²

México es el principal consumidor de huevo fresco en el mundo, tiene un consumo per-capita de 21.5Kg² El consumo de huevo por habitante se sigue incrementando cada año, la tasa media de crecimiento anual de los últimos años fue de casi 2%.². La producción mundial de huevo de 1994 al año 2004 se incremento en 3.5% en promedio anual².

El alimento es el rubro que participa con más del 55% en los costos de producción de huevo y pollo². Es importante destacar, que los índices de conversión de insumo a producto en el ámbito nacional están en el orden de 2.0 kilos de alimento por kilogramo producido².

El pronóstico para el 2005 indica que la avicultura generará 1,062,000 empleos, de los cuales 177,000 serán directos y 885,000 indirectos, cabe destacar que el 60% de los empleos los generará la rama avícola de pollo, el 38% la de huevo y solo un 2% la de pavo². Se espera que el consumo de huevo per-capita llegue a 21.7%.²

1.1.2 Las enzimas en la digestión

En México las dietas para pollos de engorda y gallinas, se elaboran principalmente a base de sorgo o maíz y pasta de soya³.

El nombre de enzima puesto por el alemán Wilhem Kühne (1878) deriva de la frase griega “*en zyme*” que significa *en levadura*⁴. El mantenimiento de la vida supone una actividad química constante⁵. Las plantas verdes elaboran compuestos complejos como almidones, grasas y proteínas, al hacerlo, fijan y almacenan energía, posteriormente, estos compuestos son degradados, por las propias plantas y los animales que las consumen, utilizando la energía acumulada⁵. La liberación y acumulación de energía en los seres vivos, debe realizarse a gran velocidad, esto se da gracias a la acción de numerosos catalizadores existentes en los seres vivos⁵. Los catalizadores son sustancias que modifican la velocidad de las reacciones químicas hasta, al menos, un millón de veces por segundo, no cambian al término de la reacción ni aparecen en los productos finales⁵. Los catalizadores producidos y empleados por los seres vivos, son de naturaleza orgánica y reciben el nombre de enzimas⁵

Todas las enzimas son proteínas⁶. Las proteínas son complejos polímeros de aminoácidos, forman parte de las estructuras básicas de los tejidos y participan en la mayoría de las reacciones químicas vitales de plantas y animales⁷. De las enzimas, algunas tienen una estructura tridimensional globular, muchas son dímeros, tetrámeros, etc., sólo logran ser activas cuando los polímeros desarrollan

una conformación que permite establecer su centro activo, actúan como catalizadores biológicos y llevan a cabo reacciones químicas a muy altas velocidades y con un elevado grado de especificidad; en su ausencia la mayoría de las transformaciones químicas requeridas para mantener activas las células, tardarían mucho tiempo en efectuarse⁶. Todos los animales, vegetales, hongos, levaduras y bacterias, sintetizan enzimas, su acción esta ligada con las funciones biológicas de todos los tejidos⁶.

Las enzimas se clasifican en 6 grupos dependiendo del tipo de reacción que catalizan: oxidoreductasas, transferasas, hidrolasas, liasas, isomerasas y ligasas⁶. La mayoría de las enzimas tienen la capacidad de catalizar reacciones más o menos específicas; es decir, su intervalo de acción se limita a un determinado tipo de compuesto que debe reunir ciertas características para que pueda ser utilizado como sustrato, en base a su especificidad, una enzima puede ser de: especificidad absoluta (utiliza como sustrato una sola sustancia específica), especificidad baja (cuando las enzimas atacan un determinado tipo de enlace químico sin importar la naturaleza del sustrato) y especificidad estereoquímica (uso de D o L isómeros como sustrato)^{5,6}. Las enzimas proteolíticas, por el lugar sobre la que ejercen su acción dentro de la cadena de aminoácidos de la proteína son también conocidas como endo o exoenzimas⁶. Los sufijos refieren el modo en que las enzimas atacan a la molécula de sustrato^{6,8}. Las endoenzimas atacan al sustrato en las ligaduras internas, mientras que las exoenzimas atacan al sustrato desde uno u otro extremo de la molécula⁸.

Dentro de una enzima no todos los aminoácidos intervienen en la catálisis de una reacción, ya que en la mayoría de los casos sólo unos pocos son los responsables de esta función, por lo que es posible eliminar parte de la cadena polipeptídica sin que se pierda la actividad catalítica⁶. Se denomina **sitio activo** a la porción de la enzima que participa directamente en la unión y transformación del sustrato, son pequeños y tridimensionales, son aminoácidos selectos que integran un microambiente característico dentro de la propia cadena y que llevan a cabo la reacción, generalmente existe uno por molécula de enzima^{5,6}.

Como proteínas, las estructuras que conforman a las enzimas están estabilizadas con puentes de hidrógeno, uniones iónicas, hidrófobas y enlaces disulfuros⁶. Debido a su naturaleza química, las enzimas son afectadas por los mismos factores que alteran a las proteínas, como las temperaturas extremas (calor), los solventes orgánicos, los ácidos y las bases (condiciones drásticas de pH), etc.⁶. En general, todos aquellos agentes que facilitan la ruptura de los enlaces de H. Todas las enzimas pueden desnaturalizarse, consecuentemente pierde su capacidad catalizadora⁶. Por otra parte, los metales pesados como mercurio, plata y plomo inhiben la acción enzimática, mientras que el calcio, el sodio, potasio, manganeso, hierro y el zinc actúan como agentes activadores⁶.

El uso de enzimas pertenece a la era moderna, sin embargo, su aplicación para la producción de alimentos se remonta a muchos siglos atrás, pero fue solo hasta el siglo pasado cuando se descubrieron los mecanismos de la fermentación⁶.

Las enzimas han estado a disposición de la nutrición animal por más de 45 años, siendo estas de poco uso práctico hasta un tiempo atrás⁹, La principal limitación era la relación costo beneficio⁹. Sin embargo, con los avances alcanzados a través de la biotecnología, el costo de producción de estas enzimas se ha reducido en los últimos 15 años⁹.

Las enzimas industriales son de origen microbiológico producidas mediante la fermentación de medios de cultivos con cepas fúngicas o bacterianas¹⁰. Las cepas utilizadas son *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus aculeatus*, *Trichoderma longibrachiatum*, *Trichoderma viridae*, *Penicillium funiculosun*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, entre otras¹⁰. En la actualidad, las enzimas son generadas por cepas modificadas genéticamente; con estas técnicas la productividad del proceso de fermentación se mejora, o bien, la producción enzimática se incrementa¹⁰. Las enzimas son aditivos sumamente seguros, no se han registrado desde su uso, efectos negativos a nivel nutricional y fisiológicos⁹. Las tecnologías de modificación han sido evaluadas, en cuanto a sus posibles riesgos sobre la salud de los consumidores, usuarios y animales de destino por parte del Comité Científico en Nutrición Animal –SCAN- de la UE¹⁰. Existen más de 60 preparaciones enzimáticas autorizadas¹⁰. La mayoría de las enzimas autorizadas son hidrolasas; actúan degradando los enlaces de las estructuras químicas de los substratos presentes en la dieta, mediante la introducción de los elementos hidrógeno y oxígeno procedentes de una molécula de agua¹⁰.

La razón principal para utilizar enzimas como aditivo en las dietas para animales es mejorar la producción y la disminución de la viscosidad de la digesta cuando se utilizan cierto tipo de granos⁹. Todo esto ayuda a normalizar el flujo de alimento a través del tracto digestivo.⁹ El uso de enzimas también ha contribuido a reducir los problemas de cama húmeda, huevo sucio y factores antinutricionales que tienen un efecto negativo sobre el rendimiento del ave⁹.

Las enzimas exógenas deben soportar los rigores del procesado de los ingredientes de la dieta (temperatura, presión y humedad), junto con el medio adverso que presenta el tracto digestivo mismo (fluctuaciones del pH, el ataque simultáneo de las enzimas proteolíticas) y además deben ser capaces de realizar eficazmente su función digestora de substratos¹¹.

Recientemente se han enfocado las investigaciones a la aplicación de complejos enzimáticos que mejoren los niveles de digestibilidad de las dietas, y reduzcan los efectos detrimentales de factores antinutricionales presente en diversos ingredientes⁸.

Las principales áreas de investigación en el futuro estarán relacionadas a mejorar los métodos de análisis y todos los aspectos que aclaren el papel de las enzimas y su interacción con los componentes de la dieta y el desarrollo de modelos simples que permitan predecir la repuestas a las enzimas. Las enzimas proveerán, en general, beneficios económicos a la industria de los alimentos balanceados en todo el mundo¹².

1.1.3 Digestión en las aves

El ave recoge el alimento con el pico y lo traga¹³. El alimento pasa al esófago, este presenta una parte más ancha llamada ingluvis (buche), donde se almacena el alimento temporalmente, la saliva y las secreciones de las paredes del buche ablandan el alimento¹³. Sólo una digestión parcial de los carbohidratos tiene lugar en este órgano¹³. Los microorganismos también llevan a cabo una ligera hidrólisis del almidón¹³. Posteriormente pasa al proventrículo (estómago glándular) donde se mezcla con el jugo gástrico (mezcla de pepsina y ácido clorhídrico producidos por las células principales y parietales, respectivamente)¹³. La pepsina que actúan sobre las proteínas y polipéptidos, es secretada al tubo digestivo en forma de pepsinógenos y activada por el ácido clorhídrico¹³. Continuando el alimento hacia la molleja, órgano formado por dos pares de músculos opuestos¹³. Estos músculos con sus frecuentes y repetidas contracciones, ejercen presión sobre los alimentos, quebrándolos en pequeñas partículas y mezclándolos con los jugos del proventrículo¹³. En este lugar continúa actuando la enzima pepsina procedente del proventrículo a un pH de 2 a 3.5 que es casi el óptimo para una digestión péptica¹³. El alimento parcialmente digerido en la molleja, pasa al intestino delgado (duodeno), donde la pepsina termina su acción cuando el contenido gástrico se mezcla con en jugo pancreático alcalino (cambio de pH).¹³ Aquí lugar principal de la digestión enzimática, se agregan las sales biliares y enzimas secretadas tanto por el páncreas como por el intestino delgado, las cuales transforman los carbohidratos en monosacáridos, principalmente glucosa; las proteínas en aminoácidos y las grasas en ácidos

grasos libres y monoacilgliceroles¹³. Las principales enzimas del jugo pancreático son: amilasa, tripsina, quimotripsina, carboxipeptidasas y lipasas; las del intestino delgado son: aminopeptidasa, sacarasa y maltasa¹³. El intestino delgado tiene otras importantes funciones como el de absorber los nutrimentos liberados y pasarlos al torrente circulatorio¹³. En los ciegos debido a que las entradas son angostas, solamente los líquidos y la materia fina pueden entrar, parece ser que la función principal es la fermentación de la fibra del alimento, generándose ácidos grasos volátiles¹³. El intestino grueso, es la parte final del tracto digestivo donde los minerales y el agua pueden ser absorbidos junto con los ácidos grasos volátiles proporcionados por la fermentación de fibra¹³.

La función del sistema digestivo es degradar el alimento de la dieta en compuestos que puedan ser absorbidos y usados por las aves para cumplir con sus funciones vitales y productivas¹³.

La digestión en los animales es tanto física como química; el proceso físico implica el rompimiento de las grandes partículas del alimento, de manera mecánica, para obtener partículas de menor tamaño (molido), mientras el proceso químico (enzimático), consiste en la reducción gradual de grandes moléculas (polisacáridos, proteínas y lípidos) en moléculas de menor tamaño (aminoácidos, monosacáridos, ácidos grasos y monoglicéridos).¹⁴ Este proceso involucra cambios en la estructura física y química de la mayoría de los compuestos dietéticos¹⁵.

El proceso químico de la digestión es principalmente de hidrólisis, reacción catalizada por una enzima, que consiste en el rompimiento de moléculas grandes mediante la introducción de agua entre las ligaduras de los átomos¹³. Las enzimas facilitan la reacción del agua con una ligadura específica de los alimentos y requieren condiciones especiales de temperatura y pH. Estas condiciones se dan en las diferentes partes del aparato digestivo¹³.

Cada enzima actúa secuencialmente en la degradación de los componentes dietéticos⁷. En muchos casos la hidrólisis resultante de la acción de una enzima provee el sustrato para la siguiente enzima⁷. De esta forma la inhibición de cualquier enzima, en particular las que actúan inicialmente, resultará en una marcada disminución en la digestión del componente dietético⁷.

La digestión de los macronutrientes – almidón, proteína y grasa, se realiza por enzimas específicas que son secretada por el ave en el tracto intestinal¹. En la dieta de pollos y gallinas existen tres grupos principales de nutrimentos: a) proteínicos (leguminosas, harina de pescado o carne), b) carbohidratos (sorgo, maíz, trigo u otros cereales), y c) grasas (vegetal o animal)¹³.

La reserva nutricional de las plantas es el almidón (polímero de glucosa), éste constituye la principal fuente de energía en la dieta de las aves, se encuentra en forma de glóbulos compuestos por amilosa y amilopectina; el tamaño del glóbulo determina su digestibilidad¹⁵. La amilosa, representa al almidón no ramificado, se encuentra en forma de hélice constituida por una serie de unidades de glucosa

unidas por enlaces α -1,4; la amilopectina, almidón ramificado, tiene varias cadenas de amilosa unidas por enlaces α -1,6¹⁵. Ambos compuestos son hidrolizados rápidamente por la enzima α -amilasa, secretada por las glándulas salivales y el páncreas, actuando en los enlaces α -1,4 internos, originando maltosa, maltotriosa y α -dextrina¹⁵. La maltosa formada por dos unidades de glucosa unidas por enlaces α -1,4; la maltotriosa consta de tres unidades de glucosa unidas con el mismo tipo de enlace y la α -dextrina formada por varias glucosas unidas por enlaces α -1,4 y α -1,6¹⁵. La maltosa y la maltotriosa son hidrolizadas a glucosa por la enzima maltasa, mientras que la α -dextrina se hidroliza a glucosa a nivel de la mucosa intestinal por la acción de la enzima α -dextrinasa (isomaltasa)¹⁵. Las enzimas, anteriormente mencionadas, encargadas de terminar la hidrólisis del almidón en unidades de glucosa, están localizadas debajo de la mucosa intestinal junto a la membrana de las células epiteliales del duodeno hasta la primera mitad del yeyuno¹⁵ (Figura 1)

Las proteínas están formadas por largas cadenas de aminoácidos y su digestión se da por hidrólisis, iniciándose en el proventrículo por acción de la pepsina que es activa a pH 2 y 3, esta enzima pueden digerir prácticamente todas las proteínas de la alimentación, hidroliza los enlaces entre los aminoácidos aromáticos, pero no lleva la digestión de las proteínas hasta la etapa de aminoácidos, sólo las transforma en proteosas, peptonas y grandes polipéptidos, estos productos en cuanto llegan al intestino delgado son hidrolizados por la tripsina, algunos de ellos son llevados hasta la etapa de aminoácidos; pero la mayor parte de los productos finales de esta digestión son dipéptidos u otros polipéptidos pequeños¹⁶.

La acción de la quimotripsina es similar a la tripsina, salvo que tiene lugar sobre otro tipo de enlaces peptídicos¹⁶. La carboxipeptidasa puede hidrolizar algunos polipéptidos hasta aminoácidos¹⁶. Las células epiteliales del intestino delgado contienen varias enzimas para hidrolizar los enlaces peptídicos finales de los diferentes dipéptidos y otros polipéptidos pequeños, estas enzimas se les conoce con los nombres de aminopolipeptidasas y dipeptidasas¹⁶.

Las hidrolasas que atacan los enlaces peptídicos de las proteínas; cada una es específica para enlaces péptidos en un lugar específico de una cadena de polipéptidos¹⁷. Las exopeptidasas desdoblan el enlace péptido que une a los aminoácidos terminales de la cadena peptídica¹⁷. La carboxipeptidasa desdobla el enlace péptido del aminoácido terminal unido al grupo carboxilo libre a la cadena polipeptídica y la aminopeptidasa separa el aminoácido terminal unido a un grupo alfa-amino terminal libre¹⁷. Otras hidrolasas, las endopeptidasas, sólo disocian enlaces péptidos dentro de una cadena de péptidos¹⁷. La pepsina, secretada por las células principales de la mucosa del proventrículo, la tripsina y quimotripsina, secretadas por el páncreas son ejemplos de endopeptidasas, pero difieren en sus requerimientos de aminoácidos específicos adyacentes al enlace péptido para ser desdoblados¹⁷. La pepsina requiere tirosina o fenilalanina adyacente; la tripsina requiere lisina o arginina, y la quimotripsina requiere tirosina, fenilalanina, triptófano, metionina o leucina en el lugar del desdoblamiento¹⁷. Estas endopeptidasas dividen cadenas de péptidos en fragmentos más pequeños que son desdoblados aun más por las exopeptidasas, ya mencionadas¹⁷. La acción

combinada de las endopeptidasas y las exopeptidasas produce el desdoblamiento de las moléculas proteínicas completamente en aminoácidos libres, que son luego absorbidos por la pared intestinal y vertidos en el torrente sanguíneo por transporte activo¹⁷. (figura 2)

1.1.4 Pasta de soya

La pasta de soya es el resto que queda después de la extracción del aceite del frijol soya y es la principal fuente de proteína en la elaboración de alimentos balanceados para aves^{5,13}. La proteína contiene todos los aminoácidos esenciales aunque las cantidades de cistina y metionina son sub-óptimas, mejor fuente de calcio y fósforo que los granos de cereales⁵. A pesar de que este ingrediente es considerado un alimento de alta digestibilidad, la presencia de factores antinutricionales como los inhibidores de proteasas y amilasas, lectinas, proteínas antigénicas, saponinas, fitatos y polisacáridos no amiláceos (PNA) afecta los procesos digestivos y el aprovechamiento de los nutrientes¹⁸. Estas sustancias no son digeridas por las enzimas endógenas del tracto intestinal, por lo tanto, ejercen efectos negativos¹⁸. En nutrición animal tienen especial importancia los inhibidores de las proteasas y la presencia de lectinas en la pasta de soya, estos factores antinutricionales no son eliminados totalmente en el procesamiento por calor, quedan remanentes que manifiestan los efectos antinutricionales^{19,20}. Los factores antitripsicos reducen la digestibilidad de las proteínas inhibiendo la acción de las enzimas pancreáticas¹⁵. Las lectinas, proteínas no digeridas por las enzimas proteolíticas endógenas, pueden reconocer y ligarse de forma reversible a la fracción carbonada de las glicoproteínas de la superficie de las membranas

celulares epiteliales del intestino delgado, destruyendo el borde en cepillo y reduciendo la eficiencia de absorción de los nutrientes, también se ha comprobado que las lectinas provocan la inhibición de las hidrolasas del borde en cepillo y favorecen la colonización del intestino delgado por coliformes.⁵ Se enlazan con estructuras específicas de carbohidratos, funcionando como sitio de interacción entre las células y su entorno; la función principal de las lectinas, en animales, es facilitar el contacto intercelular¹⁶.

Las enzimas en la dieta de gallinas de postura son cada vez más utilizadas²¹. Las proteasas influyen sobre las fuentes proteicas de origen vegetal²¹. Estas enzimas hacen que parte de la energía de la proteína y de los aminoácidos que antes estaban ligados a la fibra de la pasta de soya (PNA) se tornen más disponibles y mejore la digestión y la absorción de estos nutrientes²¹.

Por otra parte, complejos enzimáticos que incluyen α -amilasa, arabinoxilanasas y proteasas tienen el objetivo destruir los factores antinutricionales remanentes en la pasta de soya que reducen la digestibilidad de la proteína²². El tratamiento por calor que se realiza a la pasta de soya más el agregado de complejos enzimáticos se complementan para disminuir los problemas digestivos que ocasionan los factores antinutricionales^{19, 23}. Los polisacáridos no amiláceos representan del 17.2 al 20% de la composición de la pasta de soya, estando compuestos principalmente por cadenas de arabinoxilanos, celulosa y lignina¹⁸. La adición de enzimas exógenas específicas como xilanasas, α -galactosidasas y amilasas promueven la ruptura de los enlaces entre las cadenas de los polisacáridos no amiláceos con la posterior reducción de los efectos negativos y el aumento de la

digestibilidad de los nutrientes que podrán ser asimilados y utilizados¹⁸. De este modo, es indispensable que haya una fluida circulación de enzimas digestivas.¹¹

De la pasta de soya existe la posibilidad de incrementar su valor nutricional elevando la disponibilidad energética de la misma, mediante la hidrólisis de los oligosacáridos presentes en ella, que son la rafinosa y la estaquiosa principalmente; representan el 40% del total de la fracción de carbohidratos libres, cuyo porcentaje en el frijol soya, está dado por el 4 y el 36% respectivamente²⁴.

Estos oligosacáridos solubles en agua no son digestibles porque son de naturaleza distintas a los almidones, asimismo están involucrados en la reducción del valor de energía metabolizable que se obtiene por la digestión (figura 3), son responsables de acelerar la motilidad intestinal, reducir el tránsito del alimento, de producir una catarsis osmótica y disminuyen la difusión de enzimas en la solución intestinal^{15,24}. Las aves para compensar esta deficiencia enzimática aumentan la liberación de enzimas digestivas¹¹. El tránsito restringido y baja absorción del alimento en el tracto intestinal ayuda a que las bacterias puedan multiplicarse y migren a sectores más altos del intestino delgado utilizando el almidón y la proteína de la ingesta, ésta acción se transforma en una competencia indeseada¹¹. Algunas bacterias degradan la bilis, factor que hace más compleja la capacidad de digestión de los lípidos¹¹. Como consecuencia, heces líquidas por alteración de la digestión y disminución en la absorción de los nutrientes, por otro lado, la imposibilidad de digerir estos oligosacáridos radica en la no secreción de la enzima α 1,6-galactosidasa en el intestino de las aves domésticas^{24,15}.

La digestión de los oligosacáridos mediante la utilización de enzimas exógenas, se logra por la adición de la α -galactosidasa en la dieta, esto explica porque puede aumentarse el valor de energía metabolizable de la soya²⁴. Con la digestión de los oligosacáridos, el tránsito del alimento fluye normalmente por el tracto intestinal, mejorando la absorción de nutrientes y optimizando la microflora del intestino grueso²⁴.

Una de las alternativas para disminuir el costo de producción es el aprovechamiento máximo de los nutrientes de los ingredientes de la dieta, gracias al uso de enzimas exógenas que degradan los polisacáridos no amiláceos, con lo que se mejora la digestibilidad^{25,4}. Las paredes celulares de los granos y las semillas oleaginosas son una barrera física entre las enzimas digestivas y los nutrientes contenidos dentro de las células; las paredes celulares están compuestas por carbohidratos complejos no amiláceos como la celulosa, β -glucanos, arabinosilanos, galactomanos y pectinas que no pueden ser hidrolizados por las enzimas endógenas que produce el ave, como se menciona, son indigestibles y dificultan la digestibilidad de otros nutrientes¹. Los componentes de la pared celular corresponden a tres fracciones: 1) polisacáridos no amiláceos (celulosa principalmente), 2) Polisacáridos de la matriz (fundamentalmente hemicelulosa), 3) sustancias incrustadas (en su mayoría lignina)²⁶.

La celulosa es un polímero lineal de unidades de glucosa con enlaces β -1,4⁵, más abundante del reino vegetal que forma la estructura fundamental de las paredes

celulares de las plantas⁵. La unidad que se repite en la celulosa es el disacárido celobiosa, se compone de dos moléculas de β -D-glucosa⁵. Las enzimas digestivas de las aves no pueden romper este enlace, sin embargo, puede romperse por acción de las enzimas microbianas⁵. En la pared celular, la celulosa se encuentra estrechamente unida, física y químicamente, a otros componentes, en especial a las hemicelulosas y la lignina⁵.

Los arabinanos y xilanos son polímeros de arabinosa y xilosa, respectivamente, forman parte de la hemicelulosa, estos pentosanos tienen uniones β . y sus efectos antinutricionales afectan tanto la energía como la utilización de la proteína^{5,8}. Las pentosanas son degradadas por enzimas llamadas pentosanasas eliminando sus efectos antinutricionales⁸

El efecto que ejercen las enzimas exógenas sobre las paredes celulares, degradándolas y liberando el almidón interior, mejora la digestión de este polímero por acción de las amilasas²⁷. Con la aplicación de complejos enzimáticos a base de α -amilasa, xilanasas y proteasas en dietas a base de maíz + soya o sorgo + soya la conversión alimentaria es mejor, reportan una mayor digestibilidad de los PNA y proteínas, lo que explica el menor consumo de alimento en los tratamiento con enzimas²⁸. Consecuentemente menor cantidad de sustrato quedará a disposición para el crecimiento de bacterias indeseables en el tracto gastrointestinal¹⁸.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, el uso de enzimas en los alimentos balanceados ha aumentado dramáticamente por las exigencias en la producción pecuaria. Estas incluyen la necesidad de incorporar ingredientes a niveles superiores en la dieta, el aumento de la digestibilidad de los nutrientes existentes, la obligación de reducir los problemas de contaminación del medio ambiente por exceso de fósforo y nitrógeno en las excretas, quitar o destruir factores antinutritivos, hacer biológicamente disponibles ciertos nutrientes, reducir los costos de producción, aumentar el número de materias primas disponibles para la dieta de las aves, mejorar la digestibilidad de las dietas en general, y posiblemente, eliminar la incorporación de antibióticos promotores de crecimiento y subproducto de origen animal en la dieta, condujo a la incorporación de las enzimas en la industria de la producción de alimentos^{10,7,8,29}. El éxito inicial se ha producido en la alimentación avícola y en especial, cuando las aves son alimentadas con dietas con elevados niveles de incorporación de cebada, centeno, avena y trigo¹⁰.

Los factores antinutricionales son componentes comunes de las materias primas alimenticias²⁹. Las fracciones solubilizadas de la pared celular reducen la retención de los nutrientes y causan bajos rendimientos y camas húmedas²⁹. La enzima específicamente seleccionada para hidrolizar la fracción causante del problema se adiciona a la dieta para mejorar el valor nutricional del grano²⁹. El hecho de que los animales no retengan todos los nutrientes contenidos en las materias primas es debido a la mala digestibilidad de estas, a menudo es resultado de la falta de enzimas endógenas para extraer los nutrientes²⁹. Como los monogástricos no tienen las enzimas para digerir muchas de las fracciones de polisacáridos no amiláceos, estos materiales inhiben el acceso de las enzimas endógenas a nutrientes muy valiosos²⁹.

En combinaciones específicas las enzimas mejoran la digestión del almidón y reducen la variabilidad de los cereales incluyendo los de baja viscosidad como el

maíz y el sorgo, mejorando los resultados productivos en general³⁰. Estudios de digestibilidad han demostrado que el almidón del maíz en el ileon de las aves, puede ser tan bajo como un 85% y no parece aumentar con la edad³⁰.

El uso de preparaciones de enzimas se justifica porque mejora el valor nutritivo de los granos utilizados en la dieta, al reducir el efecto de encapsulamiento de la pared celular de los granos³¹.

La acción de las enzimas al reducir en forma notable la viscosidad, se le ha relacionado con una mayor producción de sales biliares mejorando la digestibilidad de la grasa en la dieta²⁷. En una serie de pruebas realizadas por el Departamento de Nutrición Animal del IRTA en diversas variedades de trigo procedente de diferentes cosechas, demuestran que la adición de enzimas, mejora en un 7% la ganancia de peso, un 5% el índice de conversión así como una mejora de la digestibilidad ileal de los aminoácidos del trigo²⁷. Hoy por ejemplo los valores energéticos pueden incrementarse de un 4 a un 8% en el caso de la cebada, inhibiendo el efecto barrera producido por la viscosidad, la fracción proteica y lipídica muestran una digestibilidad superior¹⁰. Las enzimas ofrecen ventajas económicas en la eficiencia de producción y también aumentan el número de materias primas disponibles para el alimento de aves y cerdos²⁹.

Las enzimas proteasas, α -galactosidasas, pentosanasas, amilasas y celulasas para mejorar la digestión de la soya y de algunas leguminosas permiten una mayor extracción de la energía y los aminoácidos de las fuentes proteicas de origen vegetal³². En la práctica, esta ventaja puede ser aprovechada generando un nuevo ingrediente (Por ejemplo, soya + enzima) cuyo contenido de energía y aminoácidos se incrementa en 7%^{32,33}. Formulando en base a este criterio, se podrían obtener ahorros en el costo de las dietas entre \$ 1 a \$ 4 USD por tonelada, lo cual dependerán de los precios relativos de los ingredientes³⁴.

1.3 HIPÓTESIS

La adición de un complejo enzimático (proteasas, pentosanasas, celulasas, amilasas y α -galactosidasas), en dietas sorgo + pasta de soya, permite una reducción en 7% en proteínas, aminoácidos y energía en la pasta de soya para gallina de postura, sin afectar sus parámetros productivos.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la adición de un complejo enzimático (proteasas, pentosanasas, celulasas, amilasas y α -galactosidasas), en dietas prácticas sorgo + soya, de gallinas de postura con una reducción en 7% de proteínas, aminoácidos y energía, en la pasta de soya sobre sus parámetros productivos, calidad interna y externa del huevo.

2 MATERIAL Y MÉTODOS.

El presente trabajo se llevó a cabo en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (C.E.I.E.P.Av.) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual está localizado en Santiago Zapotitlán, Delegación Tláhuac, México D.F., a una altitud promedio de 2250 m. s. n. m., entre los paralelos 19° 15' latitud Norte y 98°57'30" longitud Oeste. Presenta condiciones de clima templado húmedo Cw; siendo enero el mes más frío y mayo el mes más caluroso, con una temperatura media anual de 16°C y una precipitación pluvial anual media de 747 mm.³⁵

Se utilizaron 240 gallinas de la línea ISA-BABCOCK B-380, de 50 semanas de edad y 34 semanas en producción, con 1979g \pm 68g de peso, las cuales se distribuyeron completamente al azar en 4 tratamientos con 5 réplicas de 12 gallinas. Las aves se alojaron en jaulas convencionales³⁶, 3 gallinas por jaulas. A las aves se les proporcionó un fotoperíodo de 16 hrs. Luz x día.³⁶ La alimentación y el agua se proporcionó ad libitum durante todo el experimento. El alimento fue colectado y pesado una vez por semana.

El estudio se realizó en una caseta convencional con ambiente natural.³⁶ El experimento duró 70 días. Se emplearon dietas a base de sorgo + pasta de soya (Cuadro 2), normales y dietas con reducción en el contenido de energía metabolizable (7 %), proteína (7 %) y aminoácidos (7 %)³², asumiendo que la

fueron fuente proteica que se empleó, incrementó en nutrientes al adicionar enzimas como se señala en el Cuadro 1.

Los tratamientos utilizados fueron de la siguiente manera:

- 1.- Dieta normal con 14% de proteína sin complejo enzimático.
- 2.- Dieta normal + complejo enzimático × 500g/ton.
- 3.- Dieta baja con 13.6% de proteína sin complejo enzimático
- 4.- Dieta baja + complejo enzimático × 500g/ton.

Las dietas empleadas se muestran en el Cuadro 2, se ofrecieron junto con el agua ad libitum. La dieta testigo tuvo 2838 Kcal/Kg. de EM y la dieta baja 2817 Kcal/Kg. de EM (Cuadro 2). Las variables en estudio se registraron diariamente durante el experimento, estas fueron: porcentaje de postura, masa del huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia. Al final del experimento se registró las Unidades Haugh, color de la yema con el abanico colorimétrico de Roche y calidad externa del huevo (25 huevos por tratamiento). Al inicio y al final se pesaron el 10% de las aves.

× El complejo enzimático empleado Vegpro HE (Marca registrada de Alltech.) contiene las siguientes enzimas; proteasas, pentosanasas, celulasas, amilasas y α-galactosidasas
*proteasas 15,400 HUT/g

2.1 Análisis Estadístico

A las variables antes mencionadas, se les realizó un análisis de varianza con un arreglo factorial 10x2x2 donde el primer factor fue la semana(10) el segundo factor fué el tipo de dieta (Normal y baja) y el tercer factor, la adición de la enzima (con y sin Vegpro) mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = M + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + E_{ijkl}$$

Donde $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$

$J = 1$ y 2

$K = 1$ y 2

$L = 1, 2, 3, 4$ y 5

Y_{ijkl} = variable de respuesta

M = Media general

α_i = efecto del tiempo (semana)

β_j = efecto de la dieta (Normal o baja)

γ_k = efecto de la enzima (con y sin)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción del tiempo en la dieta

$(\alpha\gamma)_{ik}$ = efecto de la interacción del tiempo por la enzima

$(\beta\gamma)_{jk}$ = efecto de la interacción de la dieta por la enzima)

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = efecto de interacción del tiempo por la dieta por la enzima

E_{ijkl} = Error aleatorio

A los resultados obtenidos de las variables estudiadas se les analizó con forme al diseño experimental empleado con el paquete computacional de la Universidad de Nuevo León ver. 2.5

3 RESULTADOS Y DISCUSION.

Los resultados obtenidos en 70 días de experimentación de las variables productivas en gallinas de postura con y sin la adición de Vegpro HE en dietas normales y bajas se muestran en el Cuadro 3. Se puede observar que al alimentar a las gallinas con dietas bajas en proteína, energía y aminoácidos (Dieta 3), el porcentaje de postura disminuye en 1.49% y al adicionar el complejo enzimático a esta dieta baja, se mejora la producción hasta niveles normales ($P < 0.05$). El consumo de alimento también se ve afectado en la dieta baja, el cual disminuye en un 2.4% y al adicionar las enzimas se mejora el consumo de alimento a niveles normales (117.6g). La masa de huevo ave día se vio disminuida con la dieta baja (54.1g) y se recupera a niveles normales cuando se adicionan las enzimas (55.5g) ($P < 0.05$). Resultados similares observaron Prabhakar y Darur²³ al utilizar dietas con maíz, sorgo, pasta de soya, pasta de canola y subproductos de granos de destilería en los parámetros productivos, que se vieron incrementados en un 5.1 puntos porcentual con respecto a la dieta testigo al adicionar el complejo enzimático. El peso promedio del huevo y la conversión alimenticia no se vieron afectadas por la dieta ni por la adición de las enzimas ($P > 0.05$).

El Cuadro 4 muestra los resultados promedio del tiempo sobre las variables productivas, en donde se observa que conforme pasó el tiempo de experimentación, disminuyó la producción de huevo, bajó el consumo de alimento,

la masa del huevo ave día y la conversión alimenticia ($P < 0.05$); sólo en el peso de huevo no se encontró diferencia estadística en el tiempo ($P > 0.05$).

El Cuadro 5, se muestran los resultados promedio del peso final del ave, color de la yema y grosor de cascarón, donde no se encontró diferencia entre tratamientos ($P > 0.05$). Para las unidades Haugh se encontró efecto al tipo de dieta siendo mejores las unidades Haugh en las dietas bajas (78 UH) que en las dietas normales (74.4 UH), efecto que debe ser corroborado en futuros estudios.

Se encontraron beneficios en los parámetros productivos, porcentaje de postura, masa de huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia de gallinas ponedoras alimentadas con dietas en base de sorgo + pasta de soya normales y bajas en energía, proteína y aminoácidos, adicionadas con un complejo enzimático (proteasas, pentosanasas, celulasas, amilasas y α -galactosidasas). La adición de este complejo a la dieta reducida permitió la recuperación completa de todos los parámetros de producción, particularmente notorios en la eficiencia de conversión y en la producción de huevo. Estas observaciones, también han sido registradas por otros investigadores que han incluido enzimas en dietas de postura. Los resultados reportados por Ny³⁷, en trabajos donde se adicionan enzimas xilanasas, amilasas y proteasas en dietas a base de maíz + pasta de soya – salvado de trigo, que fueron formuladas con 5% menos en los niveles de EM, proteínas y aminoácidos, dieta administrada a gallinas de edad avanzada, ISA Brown de 74 a 86 semanas de edad³⁷. El reducir las especificaciones técnicas con

respecto a los nutrientes dio por resultados grandes disminuciones tanto en la producción como en el peso del huevo. Al adicionar las enzimas se recuperaron los niveles de rendimiento hasta un nivel similar al del grupo control de especificación alta, con un incremento diario de 11% en la masa de huevo sobre el control negativo^{38,39}. La diferencia en relación al peso del huevo y conversión alimentaria, observadas en el reporte de Ny³⁷, se debe posiblemente a que las enzimas fueron dirigidas a los PNA (Polisacáridos no amiláceos), o bien, a la edad de la gallina.

En relación al porcentaje de postura obtenido semanalmente se comparó con el manual de la estirpe encontrándose valores similares, teniendo una disminución semanal que coincide con lo mencionado por Quintana³⁶. En relación al peso del huevo, se obtuvo 1.9 g. abajo de lo que menciona el manual de la estirpe³⁹.

Para la masa de huevo, el valor obtenido fué similar a lo registrado por el manual de la estirpe hasta la semana 9, observándose una diferencia de 5.5 g. en la última semana debajo de lo señalado por el manual de la estirpe debido al bajo peso del huevo (63.6 g) y la baja postura (80.09%)³⁹.

En cuanto al grosor del cascarón los resultados son parecidos al manual de la estirpe³⁹. El peso corporal de las aves no se vio afectado por ninguno de los tratamientos, permaneciendo similar en todo el experimento.

4 CONCLUSIONES.

Bajo las condiciones experimentales empleadas se puede concluir:

Que el complejo enzimático Vegpro HE permite reducir la cantidad de pasta de soya y el aceite de la dieta al incrementar en 7% en el contenido de proteína, energía y aminoácidos de la pasta de soya, sin afectar los resultados productivos de las gallinas con un beneficio económico para el productor.

5 BIBLIOGRAFÍA

1. Ávila GE, Cortés CA. La experiencia mexicana sobre investigación en el uso de enzimas en aves. Memorias de la XI Jornadas Médico Avícola; 2005 febrero 23-25; México (DF). México (DF): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. 2005. 10-14.
2. Unión Nacional de Avicultores. Compendio de indicadores económicos del sector avícola 2003-2004. México DF: UNA, 2004
3. Ávila GE. El uso de la fitasa en la alimentación de las aves. Memorias del Seminario Internacional Roche; 2001 junio 29. Guadalajara (Jalisco). México. 33-42
4. Barragán PG. Efecto de la utilización de enzimas xilanasas y β -glucanasas en dietas sorgo + soya sobre el comportamiento productivo en pollos de engorda (tesis de licenciatura). México (D.F.) México. Universidad Nacional Autónoma de México, 2005.
5. McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA. Nutrición Animal. 5ª ed. Zaragoza (España); Acribia, 1995.
6. García AM. Características Generales de las Enzimas. Nutriciero 2004;2: 6-13
7. Arrieta AJM. Actividad práctica de las proteasas exógenas en la alimentación avícola. Avicultura Profesional 2005; 23(2):24-27
8. Sears A, Walsh G, Hoyos G. Enzimas: generalidades acerca de sus aplicaciones, clasificación, mecanismos de acción y resultados en nutrición

- animal. Balconi I Editor. Temas de Actualidad para la Industria de los Alimentos Balanceados. México (DF): Midias Relaciones S.A. de CV. 1997; 158-166
9. Miles RD. El uso de enzimas en la nutrición de las aves. Acontecer avícola 1999; 6(39):54-59
 10. Brufau J. Las enzimas en la alimentación avícola, un cambio remarcable. Selecciones Avícolas 2002;44(8):546-548
 11. Bedford MR. Efecto del uso de enzimas digestivas en la alimentación de las aves. Avicultura profesional 1996; 14(4):23-29.
 12. Beudeker FB, Marquard RR. Las enzimas en alimentos balanceados: pasado, presente y futuro. Balconi 1^{er} editor. Temas de Actualidad para la Industria de los Alimentos Balanceados. México (DF): Midias Relaciones S.A. de CV. 1997; 152-156.
 13. Cuca GM. Ávila GE. Pro MA. Alimentación de las aves. 8^a ed. Chapingo, Edo. de México: Universidad Autónoma de Chapingo, 1996.
 14. Fox AB, Cameron GA. Ciencia de los Alimentos, Nutrición y Salud. México (México) Limusa, 1995
 15. Blas DC, Mateos GG. Nutrición y alimentación de gallinas ponedoras. 1^a ed. Barcelona (España); Aedos, 1991.
 16. Stryer L, Berg JM, Tymoczko JL. Bioquímica. 5^a ed. Barcelona (España); Reverté, 2003.
 17. Villee CA. Biología. 7^a ed. Philadelphia (USA). Interamericana 1978.
 18. Alltech. Allzyme Vegpro y Soya: aliados naturales. Tecnología Avipecuaria 2005;18: (207): 64

19. Classen HL, Balnave D, Bedford MR. In recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds. The Netherlands: AFB Van der Poel, J. Huisman and HS Saini Wageningen pers; 1993: 501- 516.
20. Meijer MMT, Spekking WTJ, Sijtsma L, Bont JAM. Industrial crops and products. Br. Nutr. 1995; 147-154.
21. Alltech. Allzyme Vegpro. Enzimas en la nutrición de ponedoras. Los avicultores y su entorno. 2005; 7(44):21
22. Zanella I, Sakomura NK, Silversides FG, Figueirido A, Pack M. Effect of enzyme supplementation of broiler diets based on corn and soybeans. Poultry sci 1999; 78:561-568.
23. Prabhakar MR and Darur AS. Effects of allzyme vegpro supplementation to sorghum/soya-based diets on the performance of layers and broilers. Memorias del 14th alltech annual symposium on biotechnology 1998 April 20-22; .Lexington,(KY) USA. Alltech, 1998.
24. Navarro GHA, Delgado J, Forat M, López C, Miles R, Casarin A. Sobre el valor energético de la pasta de soya. Utilización de un complejo de enzimas hidrolíticas de polímeros de carbohidratos. Acontecer Avícola 1997; 5(27):44-51.
25. Leeson S, Summer JD. Commercial poultry nutrition. 2^a ed. Canadá: University Books, 1997.
26. García M. Eficacia de las enzimas en avicultura: factores principales. Selecciones Avícolas 2004; 46:149-157.
27. Blanch A, Durán R, Esteve E. Uso de enzimas líquidos en dietas de baja viscosidad para pollos. Selecciones Avícolas 2004; 46 : 519-522

28. Cortés CA, Águila SR, Ávila GE. La utilización de enzimas como aditivos en dietas para pollos de engorda. *Veterinaria México* 2002;33(1):1-9
29. Classen LH. Enzimas usadas en el alimento. *Avicultura profesional* 1993;10(4):162-168.
30. Andrea B. Utilizar enzimas en patos mejora el rendimiento. *Avicultura profesional* 2002; 20(9/10):31-33.
31. Rebole A, Rodriguez ML, Alzueta C, Ortiz LT, Treviño J. A short not on effect enzyme supplement on the nutritive value of broiler chick diets containing maite, soybean meal and full- fat sunflower seed. *Animal Feed Sci Technol* 1999; 78:153-158.
32. Forat M. Effect of Allzyme Vegpro HE inclusion level on performamance of broilers fed a corn-soybean-canola meal diet using different adjustments in the ingredient value matrix. *Memorias de 20th Anual Symposiun*; 2004 Mayo 24-26; Lexington (Kentuky) USA. Alltech S.A. de C.V.; 2004:11
33. Schang JM, O. Ascona J. La aplicación de enzimas en dietas para aves. *Acontecer Avícola* 2001;7 (51):14-20
34. Alltech. Allzyme Vegpro. Suplemento enzimático que pontecializa el valor nutritivo de los alimentos. *Los avicultores y su entorno* 2005;7(45).
35. García ME. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climáticas de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. México (DF). Talleres Offset Larios, 1998
36. Quintana JA. Avitecnia. Manejo de las Aves Domésticas más Comunes. 3^a ed. México (DF). Trillas, 1999

37. Ny LP, Wyatt C, Creswell D. Uso de enzimas en el alimento para maximizar su utilización en dietas para ponedoras. *Avicultura Profesional*, 1999; 17(2):20-22
38. Eliot M. Enzymes may unlock hidden energy in laying hen diets. *Feedstuffs*, 2004; 76(1):11
39. Hy Line Intenational. Guía de manejo comercial 2005-2007 Hy line variedad Brown. México (DF): Hy Line Internacional; 2005

6 FIGURAS

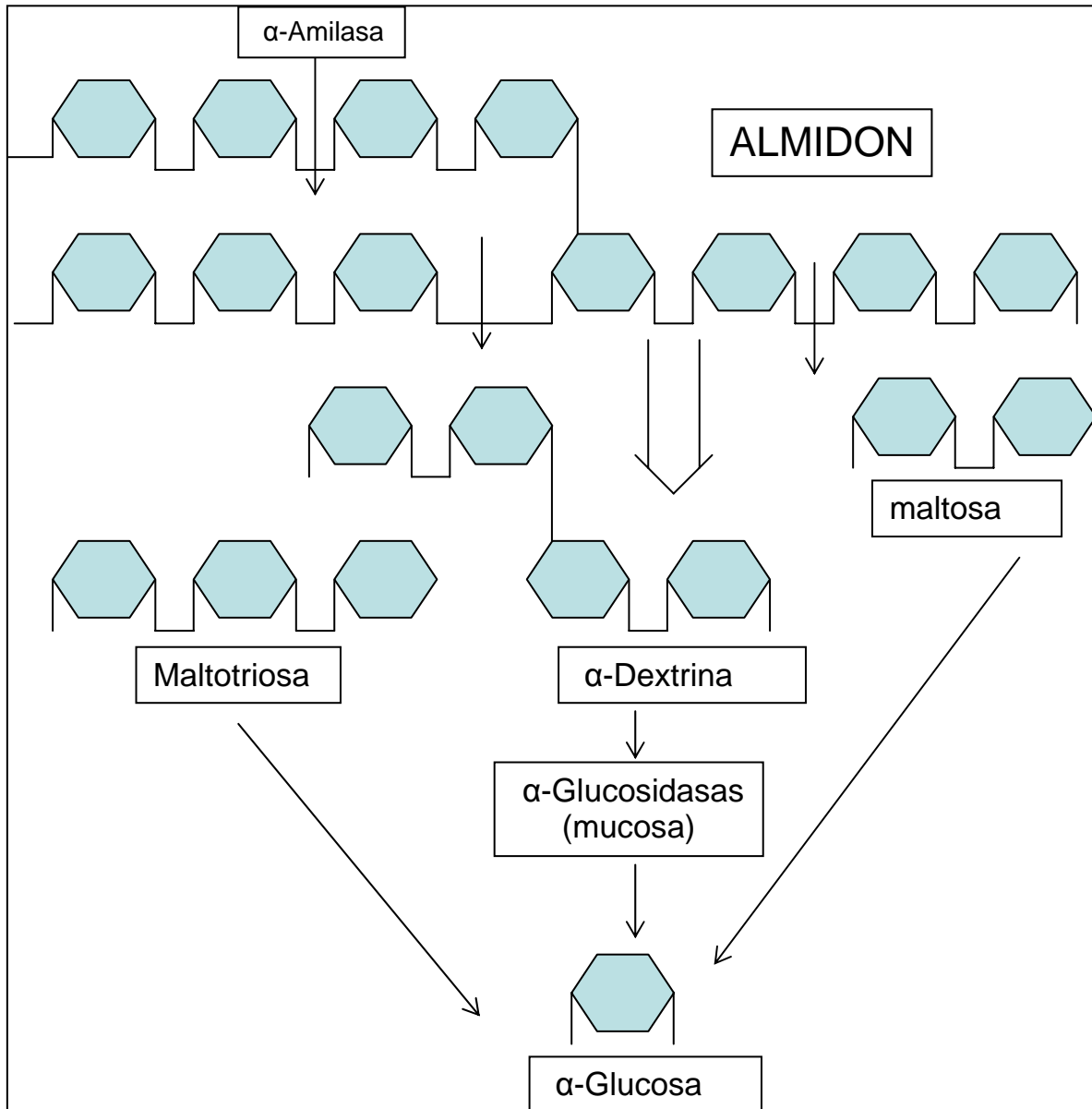


Figura 1. Digestión del almidón en el intestino delgado¹⁵.

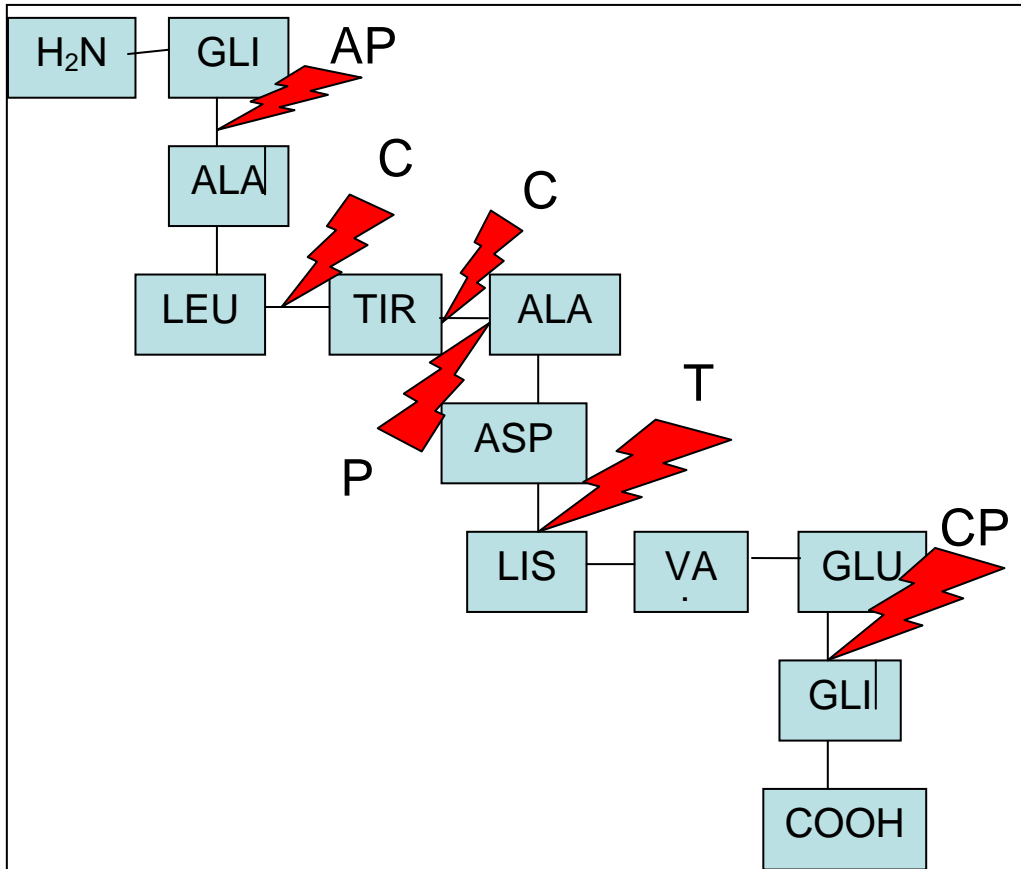


Figura 2. Formula de un péptido donde se señalan los puntos de ataque de la pepsina (P), tripsina (T), quimotripsina (C), aminopeptidasa (AP) y carboxipeptidasa (CP)¹⁷.

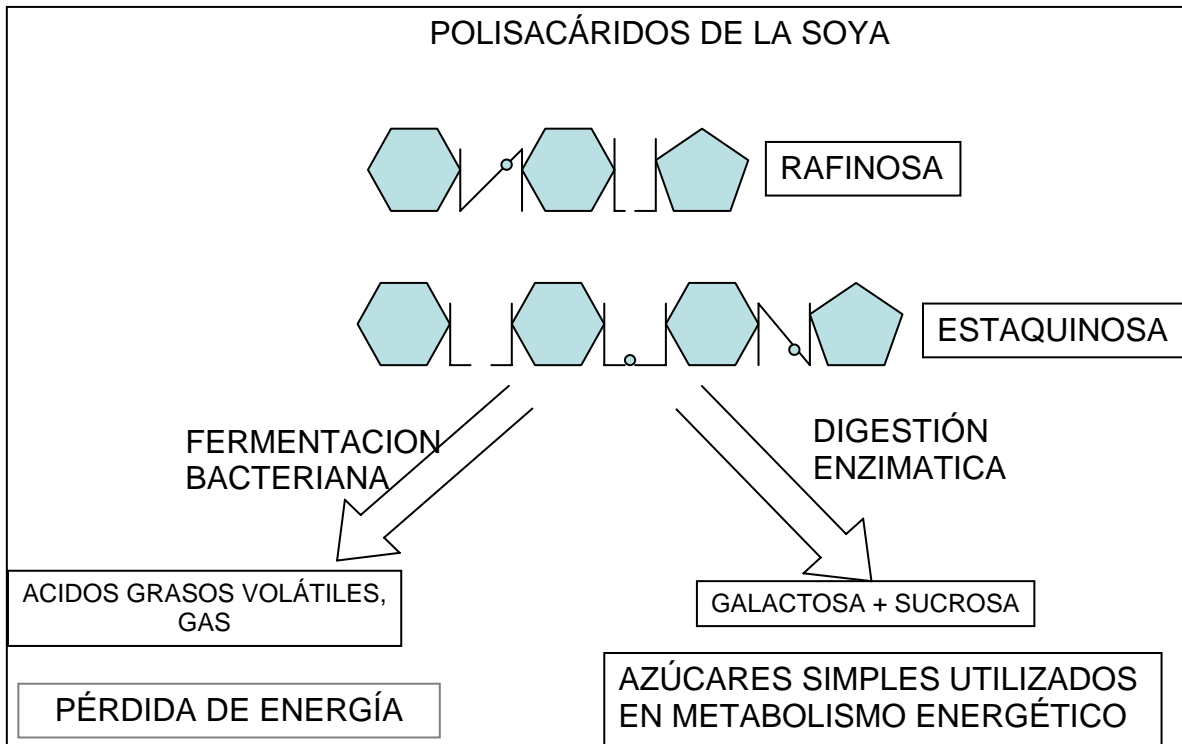


Figura 3. Ventajas de la digestión enzimática de los polisacáridos no amiláceos¹⁸

7 CUADROS

CUADRO 1. Generación de una nueva matriz de ingrediente a partir de la adición de enzimas

<u>INGREDIENTE</u>	<u>Pasta de soya</u>	<u>Pasta de soya + Enzimas</u>
Energía Metabolizable Kcal/Kg	2440	2611
Proteína Cruda %	45.4	48.6
Lisina %	2.6	2.78
Metionina %	0.63	0.67
Met. + Cistina %	1.31	1.40
Treonina %	1.67	1.79
Triptófano %	0.63	0.67

CUADRO 2. Composición de las dietas testigo normal y experimental baja en nutrientes

INGREDIENTES	DIETAS Kg	
	NORMAL	(7:7:7)BAJA
SORGO	733.249	752.358
PASTA DE SOYA	135.628	122.553
CARBONATO DE CALCIO	93.632	93.664
FOSFATO DE CALCIO	13.085	13.122
ACEITE VEGETAL	10.926	5.000
SAL	3.895	3.897
VITAMINAS Y MINERALES ^{&}	2.500	2.500
L-LISINA HCl	2.432	2.309
DL-METIONINA	1.229	1.158
SECUESTRANTE	1.000	1.000
L-TREONINA	0.725	0.739
PIGMENTO AMARILLO	0.500	0.500
CLORURO DE COLINA 60%	0.500	0.500
BACITRACINA ZINC	0.300	0.300
PIGMENTO ROJO	0.250	0.250
ANTIOXIDANTE	0.150	0.150
TOTAL	1000	1000

ANALISIS CALCULADO DE NUTRIENTES

PROTEINA CRUDA (%)	14.00	13.61 (14.0)*
E. M. AVES (Kcal / Kg)	2838	2817 (2838)*
CALCIO TOTAL (%)	3.70	3.70
FOSFORO (DISP.)%	0.36	0.36
SODIO (%)	0.16	0.16
LISINA (%)	0.712	0.673 (0.712)*
TREONINA (%)	0.562	0.548 (0.562)*
MET + CIST (%)	0.585	0.569 (0.585)*

[&]Vitamina A 10,000 UI; Vitamina D3 2,500 UI; Vitamina E 10 UI; Vitamina K 2.5g; Tiamina 1.6g; Riboflavina 5g; Cianocobalamina 0.010g; Acido Fólico 0.50g; Piridoxina 1.5g; Pantotenato de calcio 10g; Niacina 30g; Cloruro de colina 200g; Hierro 40g; manganeso 80g; Cobre 10g; Yodo 2g; Zinc 60g; Selenio 0.3g; Antioxidante 125g; Vehículo c.b.p. 2,500g

*Ajustada con Vegpro HE

Cuadro 3. Resultados obtenidos de parámetros productivos en gallinas de postura alimentadas con dietas normales y bajas con y sin la adición de enzimas (Vegpro HE).

tratamiento	Postura %	Peso del huevo g	Consumo de alimento g	Conversión alimenticia Kg:Kg	Masa de huevo ave día g
1.- Dieta normal	87.1 ^{ab}	64.0 ^a	116.8 ^{ab}	2.100 ^a	55.8 ^a
2.- Como 1 + complejo enzimático	86.2 ^{ab}	64.6 ^a	115.1 ^b	2.071 ^a	55.7 ^a
3.- Dieta baja	85.8 ^b	63.1 ^a	114.8 ^b	2.124 ^a	54.1 ^b
4.- Como 3 + complejo enzimático	87.9 ^a	63.1 ^a	117.6 ^a	2.120 ^a	55.5 ^a
EEM	0.71	0.18	0.74	0.02	0.47

Distintas literales en columna son diferentes (P<0.05)

EEM = Error Estandar de la Media

Cuadro 4. Resultados semanales obtenidos de las variables productivas con la adición de un complejo enzimático en dietas normales y bajas.

SEMANA	Postura %*	Peso del huevo g	Consumo de alimento g*	Conversión alimenticia Kg:Kg*	Masa de huevo ave día g*
1	87.86	63.6	118.2	2.119	55.9
2	88.75	63.4	113.4	2.021	56.3
3	87.56	63.6	119.6	2.160	55.6
4	88.82	63.8	117.5	2.079	56.6
5	87.67	63.6	120.8	2.170	55.8
6	88.53	64.1	119.9	2.114	56.7
7	88.31	64.0	122.0	2.160	56.5
8	85.74	63.3	119.1	2.197	54.3
9	84.07	63.6	115.8	2.165	53.5
10	80.09	63.6	93.9	1.850	50.9
EEM	1.11	0.29	1.17	0.027	0.74

*Efecto a semanas (P<0.05)

EEM = Error Estandar de la Media

Cuadro 5. Resultados del peso final, calidad interna y externa del huevo de aves alimentadas con dietas normal y baja, con y sin complejo enzimático

tratamiento	Peso final g	Color de yema	Unidades haugh	Grosor de cascarón (mm)
1.- Dieta normal	2047 ^a	10.5 ^a	73.4 ^a	0.381 ^a
2.- Como 1 + complejo enzimático	1917 ^a	10.1 ^a	75.3 ^a	0.399 ^a
3.- Dieta baja	1975 ^a	10.0 ^a	78.8 ^b	0.388 ^a
4.- Como 3 + complejo enzimático	1795 ^a	10.1 ^a	77.2 ^b	0.384 ^a
EEM	34.4	0.12	0.67	0.003

Literales diferentes en columna indican diferencia (P<0.05)

EEM = Error Estandar de la Media