

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTÉCNIA

DIGESTIBILIDAD DE NUTRIMENTOS EN EL POLLO DE
ENGORDA CON INCLUSIÓN DE INULINA EN LA DIETA

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

MÉDICO VETERINARIO ZOOTÉCNISTA

PRESENTA

JORGE ALEJANDRO HERNÁNDEZ LARA

Asesores:

Dr. Fernando Pérez-Gil Romo
Biol. María Eugenia Juárez Silva

México, D.F.

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



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

Por haber hecho de mí el hombre que soy, por haber estado como pilares en la gran obra que es mi vida, por la vida que me permitieron durante todos estos años, porque sin su apoyo mi vida no sería tan maravillosa como lo es hoy. Gracias por todo.

A mis HERMANOS

Por compartir la gran familia que tenemos y que formamos al mismo tiempo, por tender su mano cuando lo necesite y cuando no, por que la vida con ustedes esta llena de alegría y satisfacción. Gracias por ser como son.

A ANDIRA

Porque la vida nos junto y nosotros nos encargamos de endulzarla, porque siempre estuviste detrás picándome las costillas y contribuir a lo que soy. Gracias por tu amor, cariño y comprensión.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme el honor de pertenecer a una de las mejores universidades del mundo y poder decir con orgullo “POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, que me escogió para formar parte de la generación 99-03 y que el destino decidiera que esta generación conmemorara los “150 Años de Educación Veterinaria en México y en América”

Al Dr. Fernando Pérez-Gil por darme la oportunidad de trabajar bajo su dirección y por ser una inspiración profesional y personal.

A Maru por darme su amistad y dejarme trabajar hombro con hombro junto a ella, por todas sus enseñanzas, sus muestras de amistad, su sentido del humor y por la gran persona que es. A Daniel por su apoyo y amistad que siempre mostraste para mi persona y que siempre recordare.

A Enrique e Irene, que sin su apoyo no hubiese podido realizar este trabajo de manera satisfactoria, por sus experiencias y por su amistad, que nunca dejare de apreciar.

A el personal de planta de los Departamento de Nutrición Animal, Ciencia y Tecnología de Alimentos y Fisiología de las Nutrición del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición “Salvador Zubirán”, que siempre me apoyaron cuando necesite algo y permitieron que mi estadía en este lugar fuera de lo más agradable.

Al Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición “Salvador Zubirán” por dejarme trabajar dentro de sus instalaciones y financiar este proyecto, para que esta meta se cumpliera.

A Mega Farma por su aportación en especie que formó parte importante en esta tesis.

A mis compañeros de laboratorio que sin lugar a dudas, ellos le pusieron la cereza al pastel.

A mis amigos del 9 que desde el momento en que nos conocimos formamos vínculos fuertes y que las experiencias que compartimos se encontrarán en cada paso académico y profesional que tenga que dar.

CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Desarrollo del tracto digestivo en el pollo	3
1.1.1. Desarrollo macroscópico	3
1.1.2. Desarrollo morfológico	3
1.1.3. Desarrollo funcional	4
1.1.4. Digestibilidad	5
1.2. Marco teórico	6
1.3. Justificación	11
1.4. Hipótesis	12
1.5. Objetivos	13
2. MATERIAL Y MÉTODOS	13
2.1. Animales y dietas	14
2.2. Análisis químicos	15
2.3. Análisis estadístico	16
3. RESULTADOS	18
3.1. Digestibilidad de almidón	18
3.2. Digestibilidad de proteína	23
4. DISCUSIÓN	28
5. CONCLUSIONES	31
6. ANEXOS	32
7. BIBLIOGRAFÍA	38
8. ABREVIATURAS	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Efectos de la IN y los FOS sobre algunos parámetros productivos	8
Cuadro 2. Digestibilidad fecal aparente de nutrimentos con inclusión de IN o FOS en diferentes especies	9
Cuadro 3. Composición porcentual de las dietas experimentales para pollo de engorda.	14
Cuadro 4. Porcentaje de Digestibilidad del almidón al usar diferentes concentraciones de inulina en la dieta	18
Cuadro 5. Porcentaje de Digestibilidad de la proteína al usar diferentes concentraciones de inulina en la dieta	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo estructural de un fructosano	7
Figura 2. Gráfico de dispersión para la relación digestibilidad de almidón-tratamiento, en el día 7 de edad.	19
Figura 3. Gráfico de dispersión para la relación digestibilidad de almidón-tratamiento, en el día 21 de edad.	20
Figura 4. Digestibilidad del almidón durante los tres días de muestreo.	21
Figura 5. Líneas de tendencia por día para la digestibilidad del almidón.	22
Figura 6. Líneas de tendencia por grupo para la digestibilidad del almidón.	22
Figura 7. Gráfico de dispersión para la relación digestibilidad de proteína-tratamiento, en el día 7 de edad.	24
Figura 8. Gráfico de dispersión para la relación digestibilidad de proteína-tratamiento, en el día 14 de edad.	25
Figura 9. Gráfico de dispersión para la relación digestibilidad de proteína-tratamiento, en el día 21 de edad.	25
Figura 10. Digestibilidad de la proteína durante los tres días de muestreo.	26
Figura 11. Líneas de tendencia por día para la digestibilidad del almidón.	27
Figura 12. Líneas de tendencia por grupo para la digestibilidad del almidón.	27
Figura 13. Diagrama que representa los posibles eventos fisiológicos de la mucosa intestinal, en los que interviene la inulina.	30

RESUMEN

HERNÁNDEZ LARA JORGE ALEJANDRO. Digestibilidad de nutrimentos en el pollo de engorda con inclusión de inulina en la dieta. (bajo la dirección del Dr. Fernando Pérez-Gil Romo y la Biol. María Eugenia Juárez Silva).

La utilización de inulina en la dieta de pollos como alternativa al uso de antibióticos, ha mejorado parámetros productivos y la actividad enzimática en la luz intestinal. Los resultados sobre la digestibilidad del almidón y la proteína por efecto de la inulina, pone a disposición información para el diseño de estrategias a seguir en la alimentación del pollo de engorda. El objetivo del estudio fué determinar el efecto de la inulina sobre la digestibilidad aparente en excretas del almidón y la proteína durante las primeras tres semanas de edad. Se utilizaron 10 unidades experimentales por tratamiento formadas por 2 pollos Ross, siendo los grupos: 0.0%, 0.1%, 0.2% y 0.4% de inulina en dietas basadas en maíz-soya, las muestras de heces se tomaron el día 7, 14 y 21 de edad, se incluyo Cr_2O_3 como marcador en el alimento para determinar la digestibilidad. Los resultados arrojaron que la digestibilidad del almidón y la proteína mejoró en el día 7 con una concentración de 0.4%, mientras que para los días 14 y 21 los valores más altos se obtuvieron con 0.2%. Se encontró una relación lineal positiva entre la concentración de inulina y la digestibilidad al día 7 para ambos nutrimentos, para el 14 la relación se mantuvo solo para la proteína y el último periodo la relación fue negativa para ambos. Se concluye que las concentraciones de inulina para mejorar la digestibilidad del almidón y la proteína durante los primeros 21 días de edad del pollo, son de 0.4% durante la primera semana y 0.2% del día 14 hasta el día 21.

ABSTRACT

HERNÁNDEZ LARA JORGE ALEJANDRO. Nutrient digestibility in broilers with inclusion of inulin in the diet. (under the direction of Fernando Perez-Gil Romo Ph.D, María Eugenia Juárez Silva B.S. Biology).

The use of inulin in the diet of chickens as an alternative of using antibiotics has improved performance and enzymatic activity in the intestinal lumen. Results about the effect of inulin on starch and protein digestibility make available information to design strategies to follow on broilers feeding. The objective of this study was to determine the effect of inulin on apparent digestibility of starch and protein during the first 3 weeks of life. 10 experimental units were used for every treatment, formed by 2 Ross chickens, being the treatments: 0.0%, 0.1%, 0.2% and 0.4% of inulin in the diets with a base of maize-soya. Samples were taken on day 7, 14 and 21 of age, Cr₂O₃ was included in food as a marker to determine digestibility. Results of starch and protein digestibility showed improvement on day 7 with inulin concentration of 0.4%, while for day 14 and 21 the highest values were obtained with 0.2%. A positive lineal relationship between inulin concentration and digestibility for both nutrients on day 7; for day 14 the relationship stayed only for protein; and for the last period this relationship was negative for both nutrients. These results indicate that inulin concentrations to improve starch and protein digestibility during the first 21 days of chicken's life are 0.4% for the first week and 0.2% from day 14 to 21.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. DESARROLLO DEL TRACTO DIGESTIVO EN EL POLLO

La tasa de crecimiento del pollo de engorda ha sido mejorada durante las últimas cinco décadas, resultando en la disminución de la edad al mercado¹.

Al eclosionar el pollo está sujeto a grandes cambios sobre la utilización de nutrimentos ya que los proporcionados por el vitelo son reemplazados por el alimento externo. Al mismo tiempo que ocurren cambios en el tamaño, morfología y función del tracto gastrointestinal (TGI)².

1.1.1. DESARROLLO MACROSCÓPICO

Las aves nacen con un TGI inmaduro, tomando en cuenta que el 22% de la energía y el 30% de la proteína utilizada proceden del vitelo durante los tres primeros días de edad, mientras que este representa 20-25% del peso corporal^{1,3,4}. Aproximadamente del 2% al 5% de la mortalidad en los primeros 3 días se debe a la poca reserva energética contenida en el saco vitelino³.

Los pollitos pueden cambiar de una alimentación directa del vitelo a una alimentación externa de tipo sólido muy rápidamente. El pollo utiliza una gran parte de sus limitadas reservas energéticas para un rápido desarrollo del TGI, con la intención de digerir y asimilar la mayor cantidad y lo más rápido posible los nutrimentos de la dieta externa³.

Cuando eclosiona el pollo, el intestino delgado se modifica en tamaño y morfología a gran velocidad, comparado con otros órganos. El tamaño del intestino delgado (ID) alcanza su máximo peso entre el 6° y 8° día de edad, llegando cerca del 0.08% del peso corporal². Los diferentes segmentos del ID muestran una diferencia en la velocidad con la que se desarrollan, ya que el duodeno es el que más rápido crece comparado con el yeyuno o íleon. En contraste en otros órganos del TGI no se identifica este comportamiento, como la molleja y el páncreas.

1.1.2. DESARROLLO MORFOLÓGICO

El desarrollo de la mucosa intestinal se realiza de forma vertiginosa. Durante la eclosión los enterocitos del ID se encuentran inmaduros, pero estos se desarrollan tan rápido que antes de las primeras 24 h de edad adquieren su forma madura. Las criptas son rudimentarias y se encuentran bien definidas logrando su máxima invaginación a los 2 días de edad, mientras que el número de células por cripta incrementa rápidamente en las primeras 48 h. hasta disminuir a las 48 h. posteriores a su máximo. La mucosa del ID en pollos indica que la

profundidad de la vellosidad aumenta hasta dos veces en las primeras 48hrs. después de la eclosión, estabilizándose entre el 6, 8 y 10 días para el duodeno, yeyuno e íleon respectivamente. La superficie de la vellosidad aumenta rápidamente durante los primeros 3 días para el duodeno y yeyuno, mientras que para íleon este crecimiento continua hasta el día 13 llegando cerca de los 600 cm². Paralelamente el número de criptas por vellosidad también incrementa rápidamente alcanzando su basal entre 48 y 72⁵. Estos cambios son sensibles a perturbaciones en el suministro alimenticio².

1.1.3. DESARROLLO FUNCIONAL

El desarrollo digestivo es de gran importancia para el pollo en la etapa embrionaria, por el hecho de que se pueden encontrar enzimas pancreáticas antes de que eclosione el ave. La digestión del vitelo y el alimento ingerido durante las primeras 24 h. es realizada en primer lugar por enzimas pancreáticas². La secreción pancreática neta de tripsina, amilasa y lipasa aumenta conforme aumenta la edad, siendo de cerca de 1 U/d para las tres enzimas a los 4 días de edad y llegando hasta 280 U/d, 140 U/d y 11 U/d respectivamente al día 21 de edad, mostrando una relación con el peso intestinal y corporal del ave⁶, pero la proporción de enzimas/cantidad de alimento consumido es mayor en los primeros días de edad, la lipasa llega a su pico máximo entre los días 10 y 15, para posteriormente disminuir su proporción, por su parte la amilasa alcanza el pico máximo al día 7 y al día 4 la tripsina alcanza el suyo². Hay que resaltar que la producción enzimática del páncreas es estimulada por el alimento consumido y está es secretada de manera constante mientras el ave se alimenta².

La actividad enzimática de las células borde de cepillo está presente en el intestino del pollo recién eclosionado y esta se incrementa rápidamente en los primeros días de edad³. Las principales enzimas son la sacarasa y la maltasa. La actividad por gramo de tejido de estas sacaridasas es menor en el duodeno comparada con el yeyuno e íleon, que para los días 2-3 de edad se encuentran su pico máximo, significando el aumento de 2 a 3 veces su actividad desde el día de la eclosión^{2,7}. Comparado con mamíferos los pollos tienen una gran capacidad para degradar disacaridos en la mucosa intestinal, inmediatamente después de la eclosión por el complejo enzimático ya mencionado sacarasa-maltasa².

Estos importantes cambios en la expresión y actividad de estas enzimas, así como de las enzimas pancreáticas mencionadas, ocurren en conjunto con la maduración morfológica del TGI, preparándose para el cambio de alimentación a la que el pollo recién eclosionado se ve expuesto³.

1.1.4. DIGESTIBILIDAD

La digestión de los nutrientes por parte del TGI aumentan conforme el ave se desarrolla, para los tres principales componentes de la dieta del pollo, que son el almidón, la proteína y los ácidos grasos (AG's). La digestión del almidón al igual que la de los lípidos se mantiene en un rango de 85 a 95% del día 4 al día 21 de edad al nivel de yeyuno y para las proteínas la digestión aumenta de 78% en el día 4, llegando hasta 92% en el día 21. Estos datos muestran que el ave está preparada para la alimentación externa de este tipo de nutrimento, mientras que para el nitrógeno no se encuentra en los mismos niveles al momento de eclosionar el pollo, estableciendo la necesidad de la maduración de TGI para llegar al máximo de digestión de este nutrimento².

La eficacia y funcionamiento de la alimentación en las especies productivas se relaciona con la carga microbiana, cualitativa y cuantitativa del animal hospedero. En el pollo la digestibilidad de la fibra (polisacáridos y oligosacáridos no amiláceos) no depende del sistema enzimático para su degradación, estos dependen de la microflora del intestino grueso, específicamente en el ciego, que es el principal sitio de fermentación en el tracto gastrointestinal del pollo, teniendo como producto final ácidos grasos de cadena corta^{8,9}. El desarrollo de la microflora dominante en los pollos se logra establecer en los primeros 8 días de edad, donde géneros *Enterobacteriaceae* y *Enterococcus* dominan el ciego entre el día de la eclosión y 4º día de edad. La dieta tiene un efecto sobre los conteos que se tienen de estos géneros, ya que pueden disminuir o mantenerse durante la vida del pollo. El género *Lactobacillus* también logra conteos numerosos entre los días 2 y 4 de edad, manteniéndose de esta manera durante el resto del crecimiento del pollo. Para el día 7 la flora dominante en el ciego es de tipo anaerobia estricta. Otros géneros como son *Bacteroides* y *Eubacterium* se establecen en el ciego a los dos días y se mantienen durante toda la engorda¹⁰. La fermentación de la fibra aumenta significativamente conforme el pollo crece, llegando hasta un 46% en pollos con un TGI maduro, correspondiendo a la colonización total de sus cámaras de fermentación⁴. La cantidad de energía obtenida por este proceso puede llegar a representar el 8% de la totalidad que el ave consume⁸.

La digestibilidad del alimento definido como el valor de la diferencia entre la cantidad de alimento ingerido y el excretado, expresado como proporción del alimento ingerido, es sensible en el pollo como en otras especies al método que se utiliza para su determinación¹¹. En la determinación de la digestibilidad en dietas para animales, los

métodos de colección total y uso de marcadores son los usados con frecuencia. El método de colección total establece la medición del alimento total ingerido (previamente un periodo de ayuno de entre 24 y 48hr) y el total de las excretas (hasta después de un periodo de ayuno 36 a 48hr) o el alimento localizado en alguna porción del tracto digestivo, con la intención de conocer la cantidad de alimento consumido a razón de excretas o bolo alimenticio producido. Otra forma de establecer la proporción de alimento-excreta o alimento-bolo alimenticio en un estudio de digestibilidad, es mediante la ayuda de marcadores inertes, que como característica no se digirieren, no se absorben y tienen el mismo tránsito por el TGI, además de no ejercer acción farmacológica alguna, ser cuantificable y poderse dispersar uniformemente en el alimento. Al conocer la cantidad de marcador en la dieta se puede determinar la cantidad de alimento que se ingirió para formar el bolo fecal o alimenticio, al cuantificar el marcador en este bolo y así conocer la razón alimento-excreta o alimento-bolo alimenticio. Existe una gran cantidad de marcadores conocidos hasta el momento y se les clasifica de acuerdo a su composición química, propiedades físicas u origen del mismo. El uso de marcadores no requiere la medición de alimento y excretas durante el estudio, además permite la alimentación *ad libitum* y solo se necesita coleccionar la cantidad suficiente de muestra para los análisis pertinentes al estudio, convirtiéndolo en una ventaja para el investigador independientemente la especie animal que se investigue¹²⁻¹⁵. El óxido crómico (Cr_2O_3) es uno de tantos marcadores utilizados en aves y ha demostrado tener una excelente recuperación y precisión en estudios de digestibilidad, teniendo como cualidad la baja concentración que se utiliza en el alimento para poder dar una buena precisión^{16,17}.

1.2. MARCO TEÓRICO

En la figura 1 se esquematiza a una molécula de 1,1,1-kestopentaosa que pertenece al mismo grupo de la inulina (IN), que químicamente se define como un fructosano $\beta(2-1)$ poli disperso, formado por polímeros y oligómeros de fructosa con enlace $\beta(2-1)$, con una molécula glucosa al final de la cadena de fructosa con enlace $\alpha(1-2)$, con un grado de polimerización de 10 unidades de fructosa en promedio¹⁹. La síntesis de IN se encuentra presente en más 36000 especies vegetales, siendo principalmente un almacén de energía. Las principales familias que sintetizan éste polisacárido son: Liliaceae, Amaryllidaceae,

Gramineae y Compositae, la raíz de achicoria (*Cichorium intybus*) es el principal recurso que se utiliza para su extracción industrial, ya que ésta se compone de 15 a 20% de IN²⁰.

1,1,1-kestopentaosa

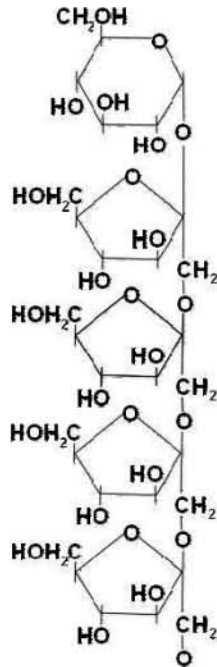


Figura 1. Modelo estructural de un fructosano¹⁸.

Uno de los principales efectos que se le pueden atribuir a la IN es, que al actuar como fibra, (por ser compuestos indigestibles por el sistema enzimático de los vertebrados) modificando la flora del TGI. Esto se manifiesta con un cambio en la proporción bacteriana en el aparato digestivo, debido a que la IN sirve como sustrato metabólico de bacterias de los géneros *Clostridium* (sacarolíticas), *Bacteroides*, *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* principalmente²¹⁻²³. Los principales productos de la fermentación de la IN por la flora intestinal en diferentes especies son: el ácido acético, propiónico, butírico, CO₂ e hidrógeno.

La disminución de microorganismos patógenos y proteolíticos en la luz intestinal atribuido a la IN, se debe a los productos de su fermentación, que tienen un efecto acidificante del medio limitando el crecimiento de este tipo de microorganismos nocivos, además del efecto de exclusión competitiva que ejercen las bacterias que utilizan de sustrato a la IN¹⁰.

Las características antes mencionadas lo clasifican como prebiótico, término dado por Gibson y Roberfroid²⁴ para “un ingrediente alimenticio indigestible que afecta

benéficamente al hospedero por estimular selectivamente el crecimiento y/o actividad de un limitado número de bacterias en el colon, mejorando la salud del hospedero”.

Cuadro 1

EFFECTOS DE LA IN Y LOS FOS SOBRE ALGUNOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS

Edad	Dieta	Producto	Inclusión	Consumo alimento	de Ganancia de peso	Conversión alimenticia
Destete ²⁵	Maíz-soya	OF	1.5%	↔	↔	↔
Destete ²⁵	Maíz-soya	IN	1.5%	↔	↔	↔
Destete ²⁷	NR	OF	0.1g/d	NR	NR	↓
Destete ³²	Trigo-soya	OF	16.5g/d	↔	NR	↔
Crecimiento ²⁶	Maíz-caseína	OF	0.75%	↔	↔	↔
Crecimiento ²⁶	Maíz-caseína	OF	1.5%	↔	↔	↔

NR no reportado, OF oligofructosa, ↔ sin cambios, ↓ disminuye.

En el Cuadro 1 se observa como la inclusión de fructosanos en la dieta de algunos animales domésticos, se ha practicado de manera experimental desde hace dos décadas atrás, evaluando parámetros productivos y en algunos casos el control de microflora nociva del TGI. Para el caso de cerdos Farnworth *et al*²⁵, utilizaron dos dietas (a base de maíz-soya) con oligofructosa (OF) e IN al 1.5% cada una, para lechones destetados sin encontrar diferencia significativa en consumo de alimento, ganancia de peso

y conversión alimenticia, Houdijk *et al*²⁶ encontraron los mismos resultados en cerdos en crecimiento al usar concentraciones de 0.75 y 1.5% de OF en dietas. Otros autores como Rusell *et al*.²⁷, trabajaron con cerdos destetados utilizando 0.1 y 16.5g/d respectivamente de OF, sin encontrar efecto alguno sobre los parámetros ya mencionados.

Trabajos en conejos como el de Maertens *et al*.²⁸, donde las dietas una con OF y otra con IN al 2% cada una, no demostraron tener un diferencia significativa sobre parámetros productivos y Volek *et al*.²⁹ combinaron pectina e IN en la dieta y encontró mejoras

significativas en conversión alimenticia de un 15.8% comparado con el control y una dieta solo con pectina, además la mortalidad disminuyó en un 24.9%, sin encontrar mejoras significativas en peso al día 77 (día de sacrificio).

Cuadro 2

DIGESTIBILIDAD FECAL APARENTE DE NUTRIMENTOS CON INCLUSIÓN DE IN O FOS EN DIFERENTES ESPECIES

Especie	Producto	Inclusión	DA PC	DA G	DA FC	DA MS	DA MO
Perros ³⁰	IN y OF	0.3,0.6, 0.9%	↓	↔	NR	↓	↓
Gatos ³¹	IN y OF	3%	↓	↓	NR	↔	NR
Cerdos Crecimiento ³³	FOS	0.75, 1.5%	↔	↔	↔	↔	↔
Cerdos destete ³³	FOS	1 y 4%	↔	↔	↔	↔	↔

NR no reportado, OF oligofruktosa, ↔ sin cambios, ↓ disminuye, DA digestibilidad fecal aparente, PC proteína cruda, FC fibra cruda, MS materia seca, G grasa y MO materia orgánica.

Como se observa en el Cuadro 2 el uso de este tipo de productos en animales de compañía no tiene una finalidad productiva y en este caso se encuentran trabajos que determinan digestibilidad fecal aparente de nutrimentos (exceptuando al cerdo) utilizando IN o fructooligosacaridos (FOS) en las dietas. Se han realizado estudios en perros por E. Propst *et al*³⁰ en el que utilizaron IN y OF a concentraciones de 0.3,0.6 y 0.9% de cada producto por dieta, sin encontrar mejoras significativas, e incluso para el caso de la proteína, materia seca y materia orgánica la digestibilidad se vio disminuida. En gatos M. Hesta *et al*³¹ encontraron que la digestibilidad de la proteína (DAPC) y la grasa (DAG) disminuía al utilizar 3% de OF o IN en la dieta.

En cerdos en crecimiento y destetados alimentados con FOS, no hubo diferencias significativas en la (DAPC), (DAG), fibra cruda, materia seca y materia orgánica, según lo describe J Houdijk *et al*³³ en donde la concentración para lechones destetados fue de 0.75 y 1.5% y para cerdos en crecimiento fue de 1 y 4%.

Trabajos en pollos como el de Ammerman *et al.*^{34,35} que incluyó 0.375% de OF en la dieta, registro mejoras en rendimiento en canal, peso de pechuga y disminución del porcentaje de grasa corporal. Waldroup *et al.*³⁷ describen que al incluir 0.375% de OF, tuvo efecto positivo sobre la conversión alimenticia (CA) y peso a los 21 días, además el rendimiento de la canal también tuvo un efecto positivo del 2%. Yusrizal *et al.*³⁸ encontraron que al utilizar 1% de IN o OF mejoró el rendimiento de la canal 1% y redujo un 67.9% la cantidad de grasa abdominal de la canal.

Ortega *et al.*³⁹ utilizaron OF 2% la primera semana e IN 0.1% para el restante de la engorda, combinado con antibióticos promotores de crecimiento, encontrando a la sexta semana mejoras significativas en peso corporal de 7.68%, el índice de productividad de 339.4 a 394.04, la conversión alimenticia también se vio afectada favorablemente de 1.64 a 1.52 representando un 7.31%. También observaron diferencias numéricas positivas en ganancia diaria de peso (GDP) y viabilidad de la parvada.

Xu *et al.*⁴⁰ realizaron pruebas con tres concentraciones de FOS en la dieta de pollos, siendo estas 0.2, 0.4 y 0.8%, encontraron aumentos significativos en GDP y CA. En la concentración de 0.4% fue donde mostraron el valor más alto para GDP que representa una diferencia con el control de 11.38% y para la CA esta disminuyó un 9%. En este último trabajo también midieron actividad enzimática en contenido intestinal a los 49 días de edad, con lo que obtuvieron un aumento significativo con respecto al control en un 43% de amilasa y 27% en proteasa al utilizar la concentración de 0.4% FOS en la dieta.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad se conoce cada vez más el modo de acción de los antibióticos como promotores de crecimiento, así como su relación con el desarrollo de resistencia bacteriana. Como consecuencia muchos países han restringido o prohibido el uso de antibióticos en la producción animal. Para compensar el posible decremento en la producción se están buscando alternativas que ayuden a solucionar este problema⁴¹. Una alternativa para el uso de antibióticos son los prebióticos, donde se encuentran la inulina y la oligofructosa, que en humanos son los de mayor estudio y aplicación.

El desarrollo de este trabajo permitirá a través de la determinación del efecto que tiene la inulina sobre la digestibilidad del almidón y la proteína, generar información para el diseño de estrategias a seguir con el uso de la inulina en pollo de engorda.

1.4. HIPÓTESIS

- La inclusión de diferentes niveles de inclusión de inulina en la dieta del pollo de engorda mejora la digestibilidad de proteína y almidón del alimento.
- La inclusión de inulina en la dieta del pollo tiene un efecto sobre la digestibilidad de la proteína y almidón del alimento, durante las tres primeras semanas de edad del pollo.

1.5. OBJETIVOS

- Determinar la digestibilidad de la proteína y almidón contenidos en la dieta del pollo de engorda, para evaluar el efecto que tiene la inulina.
- Evaluar el efecto que tiene la inulina sobre la digestibilidad de proteína y almidón a durante las primeras tres semanas de edad.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. ANIMALES Y DIETAS

Se utilizaron 80 pollitos machos de un día de edad de la estirpe Ross, formando cuatro grupos de 10 unidades experimentales cada uno, criados en piso con cama de viruta de pino. La temperatura de recepción fue de 34°C, los días 1, 2 y 3; 32°C, del día 4 al 12; 30°C y del 13 al día 21; 28°C⁴². Se utilizó un programa de iluminación de 23 hrs de luz continua por 1 de oscuridad las primeras dos semanas y para la tercera semana de iluminación natural⁴². Se colocaron en el momento de tomar las muestras 2 pollos por jaula para formar una unidad experimental, en jaulas con piso de reja de alambre galvanizado midiendo 40 x 20 x 40 cm (largo-ancho-alto). En el cuadro 3 se observan las dietas de los cuatro tratamientos, que se formularon con el paquete computacional Nutrion.

Cuadro 3

COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES PARA POLLO DE ENGORDA.				
Ingredientes %	0.0%	0.1%	0.2%	0.4%
Maíz	50.82	50.61	50.39	50.14
Pasta de soya	39.73	39.77	39.82	40.06
Aceite vegetal	4.75	4.82	4.89	5.05
Fosfato de Ca	1.87	1.87	1.87	1.88
Carbonato de Ca	1.56	1.56	1.56	1.56
Sal	0.41	0.41	0.41	0.05
Inulina*	0.00	0.10	0.20	0.40
DL-Metionina	0.24	0.24	0.24	0.24
Cr ₂ O ₃	0.15	0.15	0.15	0.15
L-Lisina HCl	0.15	0.15	0.15	0.15
Vitaminas	0.10	0.10	0.10	0.10
Cloruro de colina 60%	0.10	0.10	0.10	0.10
Coccidiostato	0.05	0.05	0.05	0.05
Minerales	0.05	0.05	0.05	0.05
Antioxidante	0.02	0.02	0.02	0.02
* Raftifeed IPS (Orafti, Tienen, Bélgica)				
Análisis calculado de nutrientes expresado en %				
Proteína cruda	22.266	22.266	22.266	22.266
Energía (Mcal/kg)	3.104	3.104	3.104	3.104
Metionina	0.563	0.563	0.563	0.563
Lisina	1.286	1.286	1.286	1.286
Metionina + Cistina	0.915	0.915	0.915	0.915
Treonina	0.849	0.849	0.849	0.849
Calcio	1.02	1.02	1.02	1.02
Fósforo	0.496	0.496	0.496	0.496
Sodio	0.189	0.189	0.189	0.189

La toma de muestras (excretas) se realizó los días 7, 14 y 21 de edad de las aves, dentro de un periodo de 4 horas por día, comenzando cerca de las 12:00 horas los tres días. Las aves tuvieron libre acceso al agua y al alimento durante todo el periodo de estudio. Se incluyó en las dietas óxido de cromo (Cr_2O_3) a una concentración de 1.5gr/kg de alimento, como marcador externo de fase sólida⁴³. Todas las dietas estuvieron libres de antibióticos como se muestra en el cuadro 3. Se utilizaron las instalaciones del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No 35, localizado en el km 22.5 de la Carretera Federal México-Puebla, Tlalpizahuac, Edo. Mex. Municipio Valle de Chalco Solidaridad. El clima corresponde a BS1kw, la ubicación geográfica es 19° 19' latitud norte, 98° 53' longitud oeste y una altitud de 2250 m⁴⁴.

2.2. ANÁLISIS QUÍMICOS

Se realizaron pruebas de digestibilidad fecal aparente en heces los días 7, 14 y 21 de edad de los pollos. Las excretas se mantuvieron en refrigeración a la recolección y posteriormente en congelación (-20° C), hasta el momento de su análisis. Para trabajar con las muestras éstas se liofilizaron para su mejor manejo y conservación. Los análisis se realizaron en el laboratorio del Departamento de Nutrición Animal perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición “Salvador Zubirán”.

La digestibilidad fecal aparente (DFA) se calculó por medio de la siguiente fórmula⁴³.

$$\text{DFA} = 100 - (100 \times (\% \text{MA} / \% \text{MH}) \times (\% \text{NH} / \% \text{NA}))$$

Donde:

NH = nutrimento en heces.

NA = nutrimento en el alimento.

MH = marcador en heces.

MA = marcador en el alimento.

A las muestras se le realizaron las siguientes determinaciones (las técnicas se describen en el anexo):

a) DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO FECAL⁴⁵. (Anexo 1)

Principio: Esta determinación se establece para conocer el contenido de nitrógeno precipitable en una muestra completa de excreta de ave. Fundamento del método: La estimación del nitrógeno fecal se basa en la precipitación de la proteína, solubilizando el

ácido úrico presente en la muestra por la acción del formaldehído en un medio ácido, para determina el nitrógeno según AOAC No 976.05⁴⁶.

b) DETERMINACIÓN DE ALMIDÓN⁴⁷. (Anexo 2)

Principio. El almidón se hidroliza por medio de amilasa y amiloglucosidasa para obtener glucosa, determinando esta última por el método de la glucosa oxidasa.

c) DETERMINACIÓN DE ÓXIDO CRÓMICO (Cr₂O₃)⁴⁸. (Anexo 3)

Principio: El óxido crómico contenido en la muestra es expuesto por la digestión ácida de la materia orgánica presente. La digestión que se realiza con los ácidos forma polímeros de ácido de cromo, evidenciado por una coloración amarilla que se determina por espectrofotometría.

d) DETERMINACIÓN DE HUMEDAD⁴⁶.

Con esta determinación se obtiene el contenido de agua y materia seca de la muestra. Se lleva a cabo mediante evaporación del agua de la muestra en una estufa de secado.

2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El tamaño de muestra se determinó utilizando la siguiente fórmula⁴⁹:

$$n = (z^2 \delta^2) / d^2$$

donde:

n = es número de muestra

z = nivel de confianza obtenido del valor de $\alpha/2$ (0.05) bajo la curva (1.96).

δ = magnitud de la variancia de la población obtenido de la desviación estándar (3).

d = dimensión deseada del intervalo de confianza(4).

El valor del intervalo de confianza tomado fue de un 5% aproximado de la media para la digestibilidad de los nutrimentos a estudiar², siendo de 4 la estimación se encuentra alrededor de 2 de la media de la población en ambas direcciones. El nivel de confianza utilizado es de 0.95 mientras que la magnitud de la variancia de la población descrita oscila cerca de 3², tomando a la desviación estándar como referencia.

Despejando la fórmula obtenemos $n = [(1.96)^2(3^2)]/2^2$

$$n = 8.6$$

Tomando en cuenta el dato obtenido se utilizo un tamaño de muestra por tratamiento de 9 unidades experimentales como mínimo.

Para buscar la relación existente entre la concentración de inulina la digestibilidad se realizó un modelo de regresión⁵⁰.

El modelo es:

$$y_i = \alpha + \beta x_i + e_i$$

donde:

y_i : variable de respuesta.

α : es la ordenada al origen en la población.

β : coeficiente de regresión poblacional.

x_i : variable independiente ($i = 1, 2, \dots, 40$ aves)

e_i : error experimental de la variable.

Para analizar la relación tratamiento tiempo, se utilizó un modelo de mediciones repetidas en parcelas divididas⁵⁰, usando MLG de SPSS para determinar el efecto que tiene en el tiempo los tratamientos.

El modelo es:

$$y_{ijk} = \mu + a_i + d_{(ij)} + b_k + (ba)_{ik} + (bd)_{(ijk)} + e_{ijk}$$

donde:

y_{ijk} : variable de respuesta.

μ : es la media poblacional.

a_i : representa el efecto del tratamiento ($i = 1, 2, \dots, 40$ aves).

$d_{(ij)}$: representa el efecto aleatorio de los sujetos dentro del tratamiento ($j = 1, 2, 3, 4$ tratamientos).

b_k : representa el efecto del tiempo ($k = 1, 2, 3$ periodos).

$(ba)_{ik}$: es la interacción entre el tiempo y los tratamientos.

$(bd)_{(ijk)}$: es la interacción entre el tiempo y el efecto aleatorio de los sujetos dentro del tratamiento.

e_{ijk} : error experimental de la variable.

3. RESULTADOS

3.1. DIGESTIBILIDAD DE ALMIDÓN.

Efecto del tratamiento por día.

En el Cuadro 3 se describe la DFA del almidón, que en el primer periodo de muestreo con $P < 0.5$, no se encuentre diferencia. Para el día 14 de edad los valores obtenidos evidencian que el grupo 3 con 88.74% esta por encima de los grupos 1, 2 y 4, registrando 85.88, 84.74 y 85.51% respectivamente, estos últimos no exhiben diferencia. Los valores de los tratamientos 1, 2 y 3, siendo 88.3, 87.82 y 87.88% correspondientes, son significativamente iguales y los tres difieren del valor obtenido de 82.54% para el grupo 4, siendo este el valor más bajo para el día 21 de edad.

Cuadro 3

PORCENTAJE DE DIGESTIBILIDAD DEL ALMIDÓN AL USAR DIFERENTES CONCENTRACIONES DE INULINA EN LA DIETA					
Grupo	Día 7	EDAD DE LAS AVES			Media
		Día 14	Día 21		
1 (0.0%)	80.33 ^c ±3.10	85.88 ^{ad} ±4.58	88.30 ^{ad} ±1.10	84.84 ^{ab} ±4.62	
2 (0.1%)	81.49 ^c ±3.68	84.74 ^{ad} ±1.12	87.82 ^{ac} ±2.53	84.68 ^{ab} ±3.67	
3 (0.2%)	82.37 ^c ±3.80	88.74 ^{bd} ±2.42	87.88 ^{ad} ±1.36	86.33 ^b ±3.88	
4 (0.4%)	84.19 ^c ±2.09	85.51 ^{ac} ±2.51	82.54 ^{bc} ±4.59	84.15 ^a ±3.32	

^{a,b} Valores con distinta literal en la misma columna indica diferencia estadística ($P < 0.05$)

^{c,d,e} Valores con distinta literal en la misma fila indica diferencia estadística ($P < 0.05$)

n= 9

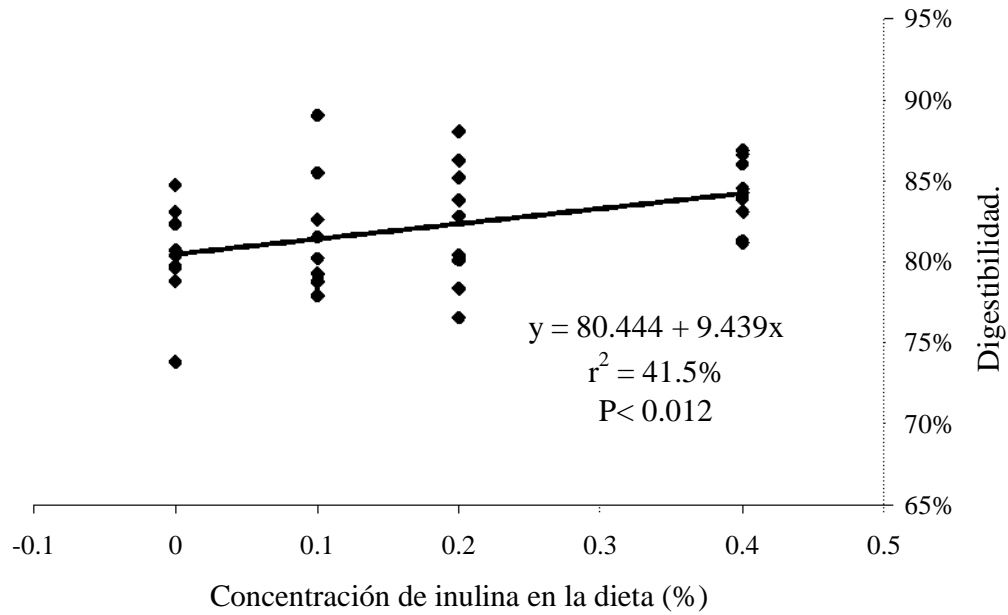


Figura 2. Gráfico de dispersión para la relación digestibilidad de almidón-tratamiento, en el día 7 de edad.

En las figuras 2 y 3 se puede observar la tendencia lineal que tomó la digestibilidad del almidón para los grupos para cada día de medición.

El día 7 mostró tener relación lineal positiva, entre tratamiento y DFA ($P < 0.012$), con la siguiente ecuación de regresión:

DFA de almidón día 7 = $80.444 + 9.439x$, con una correlación de 0.415.

Como se observa en la figura 3, día 14 no se encontró una relación existente entre tratamiento y DFA.

Para el último periodo de muestreo si existe una relación lineal entre la concentración de IN en la dieta y la DFA, pero en este caso es negativa ($P < 0.01$) según la siguiente ecuación:

DFA de almidón día 21 = $89.123 - 13.818x$, con una correlación de -0.598 .

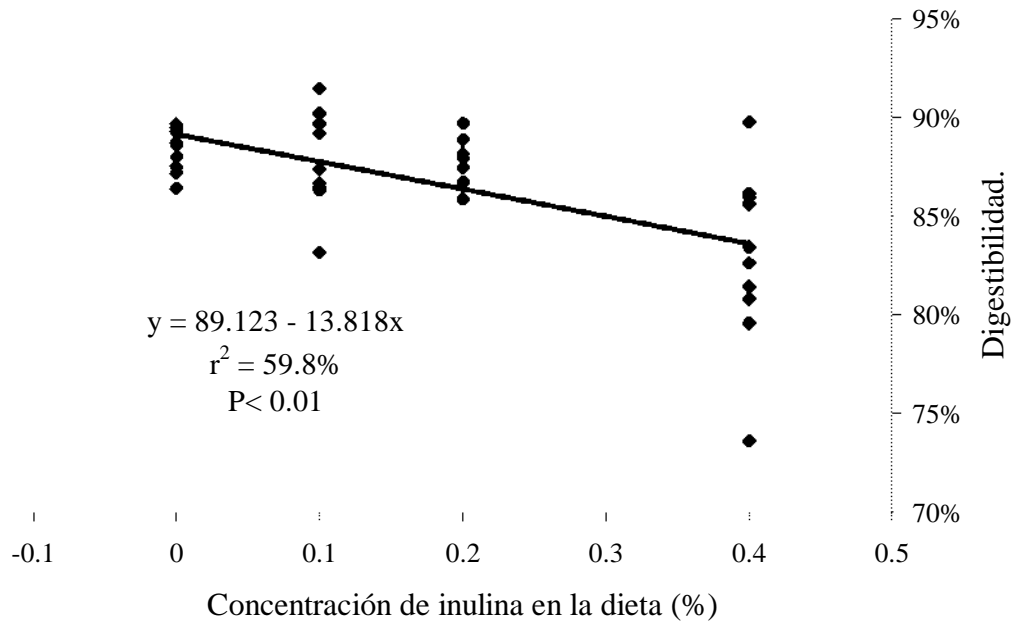


Figura 3. Gráfico de dispersión para la relación digestibilidad de almidón-tratamiento, en el día 21 de edad.

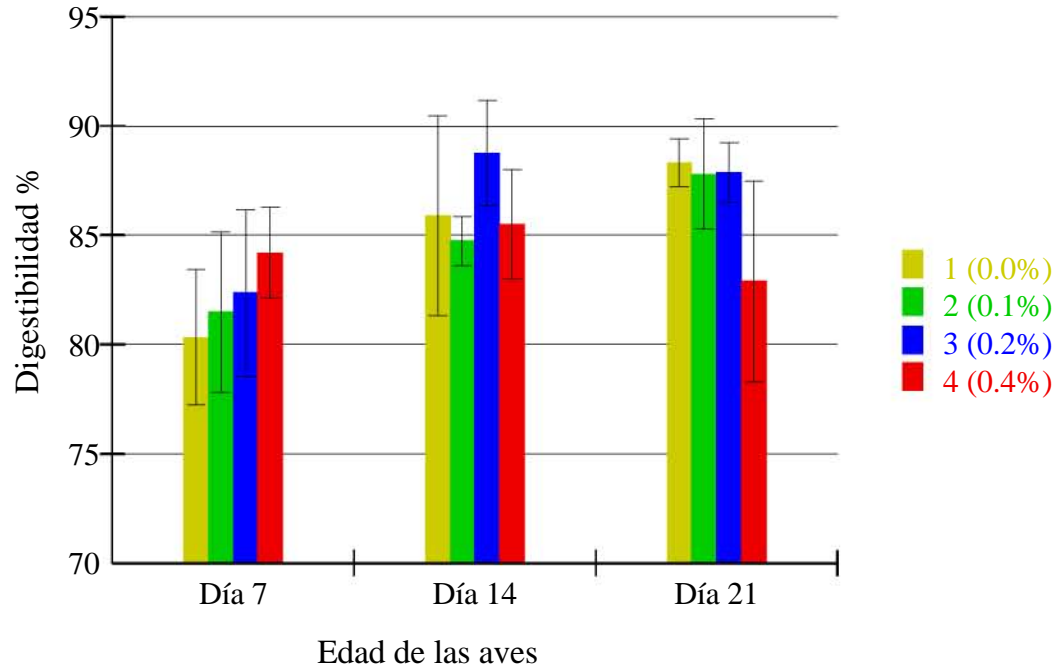


Figura 4. Digestibilidad del almidón durante los tres días de muestreo.

Relación Edad-Tratamiento.

En la figura 4 se muestra como los grupos 1 y 2 tuvieron el mismo aumento gradual de sus valores, además de tener una semejanza estadística en los tres periodos de medición. El tratamiento 3 registró un incremento significativo en los días 14 y 21 con respecto al día 7, sin tener una diferencia estadística entre los dos últimos periodos. En el grupo 4 se encontró una peculiaridad, en el sentido de que no se reconoce estadísticamente algún incremento o decremento de la DFA durante toda la etapa del estudio. El tratamiento 4 responde de manera diferente a lo encontrado en los otros grupos, ya que fue el más alto ($P < 0.1$) se ubica sobre el grupo 1 en el día 7 y para el día 21 se establece como el más bajo en este periodo, situación que se hace evidente en la representación gráfica de la figura 5, que representa las líneas de tendencia por cada día en el que se realizaron las mediciones.

El análisis estadístico que se realizó para determinar la interacción entre tratamientos y la edad del pollo, reveló que es posible afirmar la existencia de una interacción entre los tratamientos y el tiempo ($P < 0.01$). La forma de hacer esto evidente es observar las líneas de tendencia en las figuras 5 y 6, donde se aprecia que el grupo 4 produjo un decremento en la DFA del almidón en el día 21 a diferencia de la respuesta obtenida por los otros tratamientos.

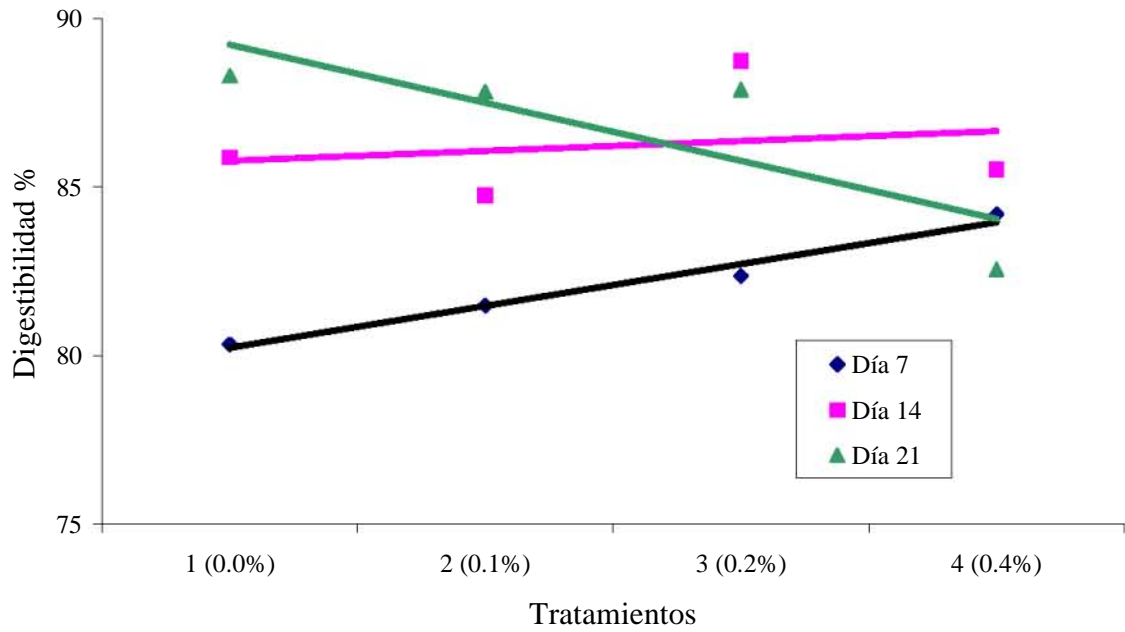


Figura 5. Líneas de tendencia por día para la digestibilidad del almidón.

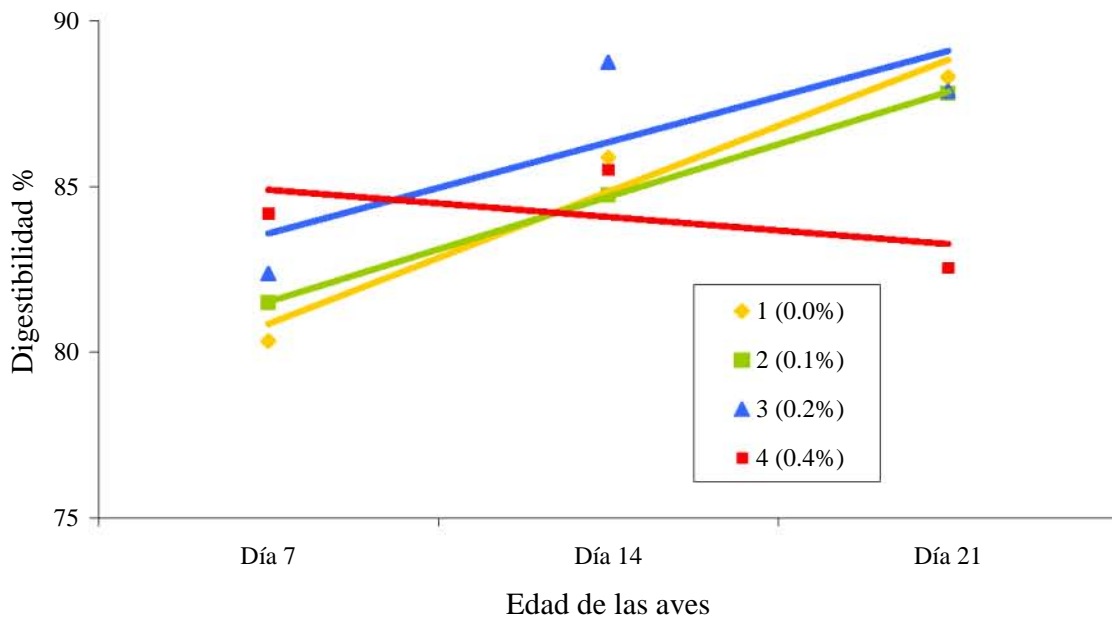


Figura 6. Líneas de tendencia por grupo para la digestibilidad del almidón..

3.2. DIGESTIBILIDAD DE PROTEÍNA.

Efecto del tratamiento por día.

En el Cuadro 5 se describe la DFA del almidón, que en el en el primer periodo de muestreo, arrojo que los tratamientos 1 y 2 son iguales con 72.12 y 67.78 % respectivamente, mientras que los grupos 1, 3 y 4 con 72.12, 72.53 y 76.61% no tienen diferencia, además de ser tratamientos que obtuvieron los valores numéricos más altos comparados con el tratamiento 2. Para el día 14 de edad los valores obtenidos exponen que el grupo 1 y 2 con 82.59 y 84.17% respectivamente, no difieren y esta por debajo de los grupos 3 y 4, que registran 88.61 y 86.52% respectivamente, siendo estos últimos valores iguales ($P<0.05$). Los valores de los tratamientos 1, 2, 3 y 4 siendo 87.84, 86.49, 89.70 y 84.97% correspondientes, son diferentes para el día 21.

Cuadro 5

**PORCENTAJE DE DIGESTIBILIDAD DE LA PROTEÍNA AL USAR
DIFERENTES CONCENTRACIONES DE INULINA EN LA DIETA**

Grupo	EDAD DE LAS AVES			
	Día 7	Día 14	Día 21	Media
1 (0.0%)	72.12 ^{abe} ±3.91	82.59 ^{af} ±3.73	87.84 ^{ag} ±1.20	80.85 ^a ±7.33
2 (0.1%)	67.78 ^{ae} ±4.91	84.17 ^{af} ±1.53	86.49 ^{bf} ±1.24	79.48 ^a ±8.967
3 (0.2%)	72.53 ^{be} ±5.76	88.61 ^{bf} ±1.57	89.70 ^{cf} ±0.802	83.61 ^b ±8.66
4 (0.4%)	76.61 ^{be} ±4.44	86.52 ^{bf} ±1.70	84.97 ^{df} ±1.90	82.7 ^b ±5.265

^{a,b,c,d} Valores con distinta literal en la misma columna indica diferencia estadística ($P<0.05$)

^{e,f,g} Valores con distinta literal en la misma fila indica diferencia estadística ($P<0.05$)

n= 10

Como se observa en los gráficos de dispersión en las figuras 7, 8 y 9, los tres días de medición tienen una relación lineal, que para las dos primeras mediciones esta fue positiva, mientras que para la última es negativa.

El día 7 mostró tener una relación lineal positiva, entre concentración de IN en la dieta y DFA ($P < 0.008$), con la ecuación:

DFA de la proteína día 7 = $69.576 + 15.391x$, con una correlación de 0.412.

En el día 14 la relación existente entre concentración de IN en la dieta y DFA ($P < 0.001$) fue positiva.

DFA de la proteína día 14 = $83.649 + 10.459x$, con una correlación de 0.487.

La relación lineal existente para el último periodo entre la concentración de IN en la dieta y la DFA ($P < 0.01$) fue negativa.

DFA de la proteína día 21 = $88.248 - 5.712x$, con una correlación de -0.391.

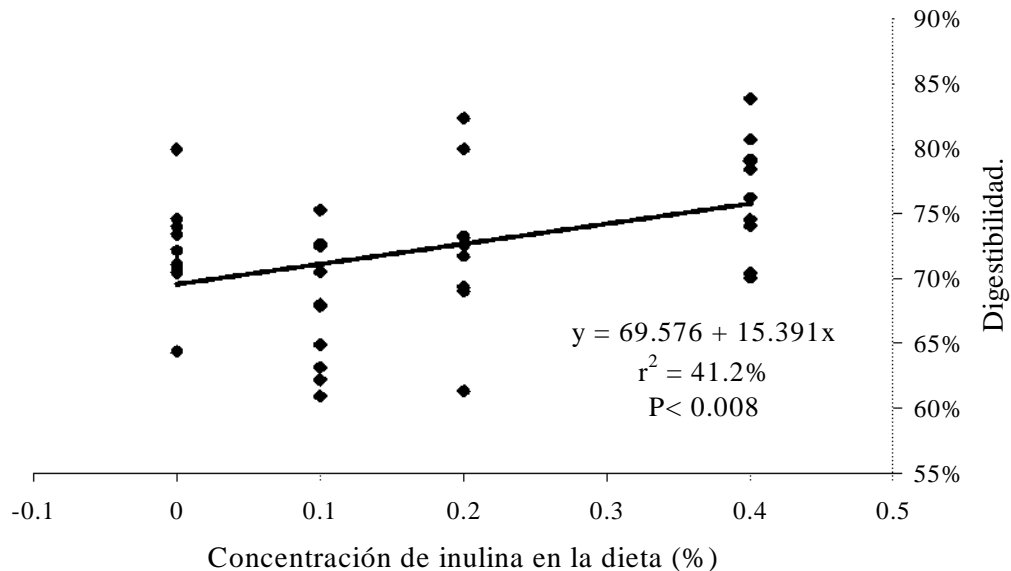


Figura 7. Gráfico de dispersión para la relación digestibilidad de proteína-tratamiento, en el día 7 de edad.

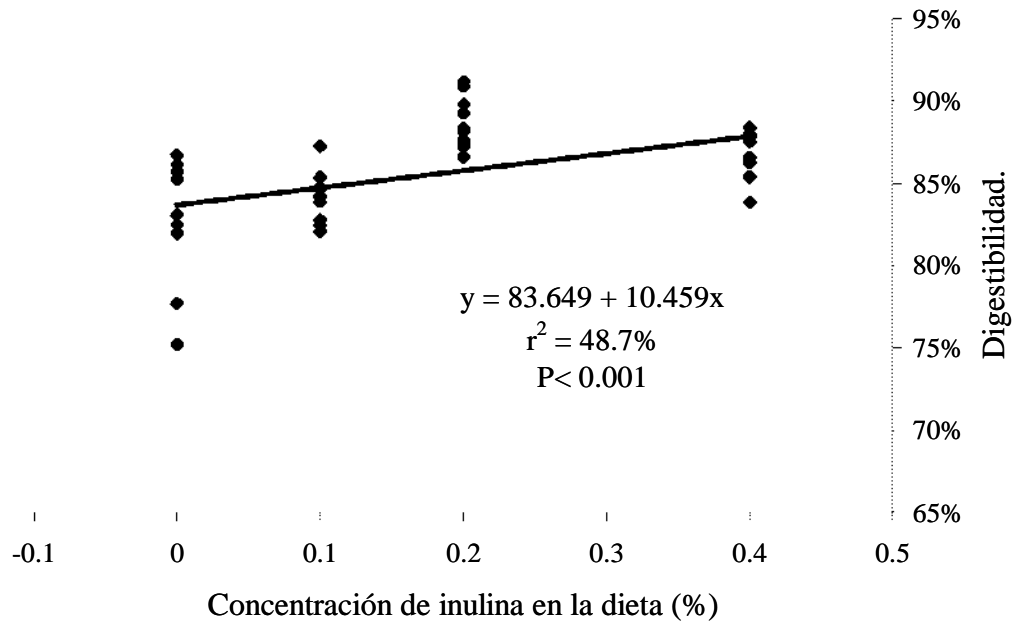


Figura 8. Gráfico de dispersión para la relación digestibilidad de proteína-tratamiento, en el día 14 de edad.

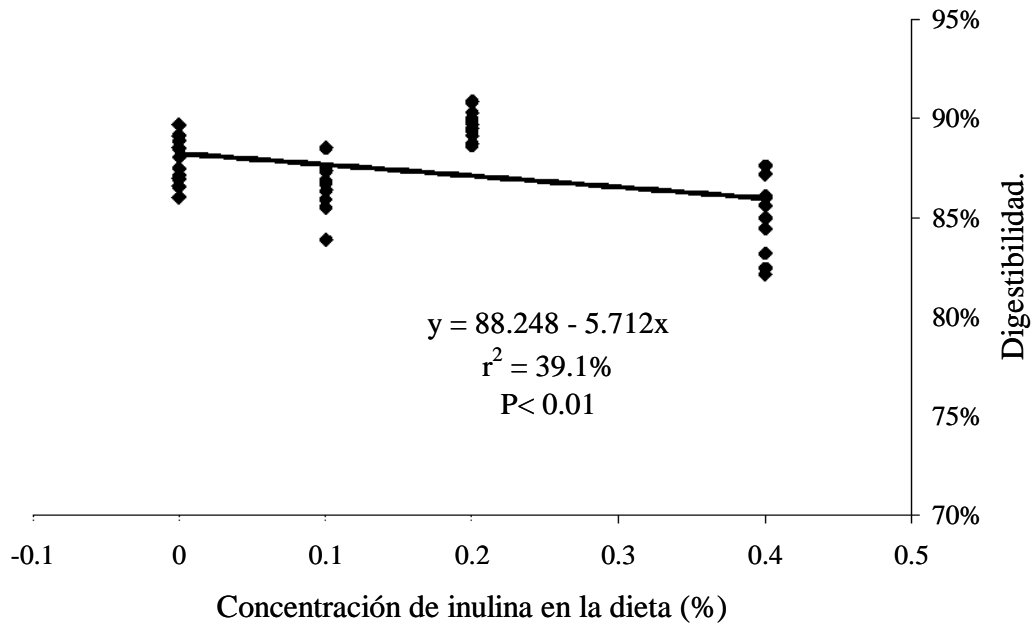


Figura 9. Gráfico de dispersión para la relación digestibilidad de proteína-tratamiento, en el día 21 de edad.

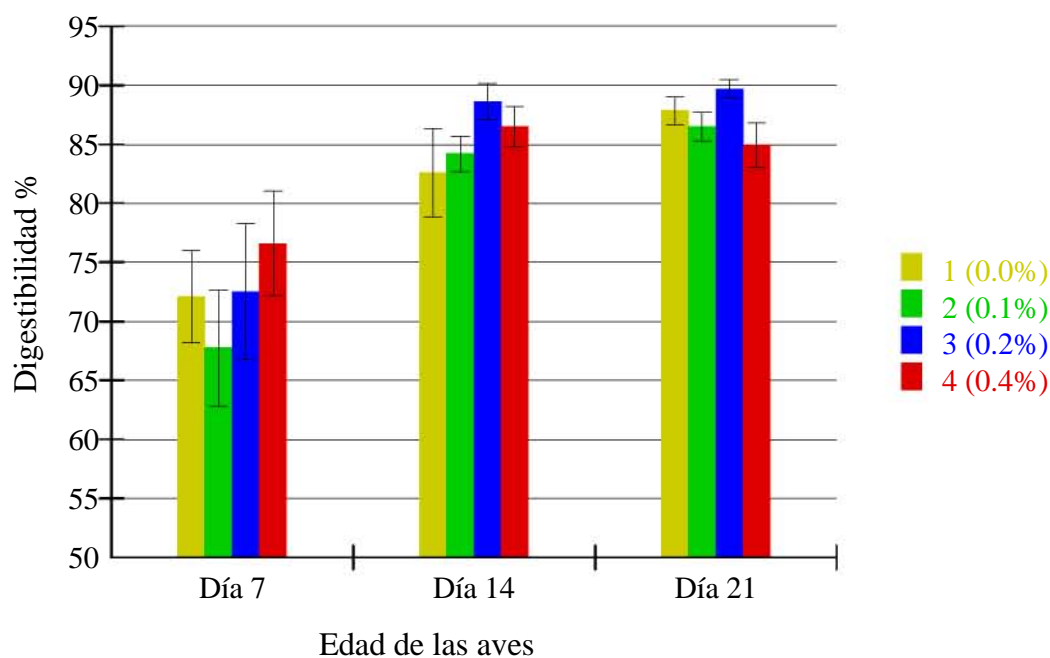


Figura 10. Digestibilidad de la proteína durante los tres días de muestreo.

Relación Edad-Tratamiento.

En la figura 10 se muestra como los tratamientos 1, 2 y 3, tuvieron un aumento gradual de sus valores, a pesar de no ser semejantes estadística en los tres días de medición. El tratamiento 3 registró un incremento significativo en los días 14 y 21 con respecto al día 7, sin tener una diferencia estadística entre los dos últimos días. En el grupo 4 la tendencia a aumentar se encontró en los días 7 y 14, pero no se encuentra cambios significativos para el día 21 con respecto al día 14 (figura 11).

En la figura 11 se representan las líneas de tendencia por cada día en el que se realizaron las mediciones, en este gráfico se observa como el tratamiento 4 no manifiesta el comportamiento que tienen el resto de los grupos, principalmente en el día 21.

El análisis estadístico que se realizó para determinar la interacción entre tratamientos y la edad del pollo, reveló que es posible afirmar la existencia de una interacción entre los tratamientos y el tiempo ($P < 0.01$). La forma de hacer esto evidente es observar las líneas de tendencia en las figuras 11 y 12, donde se aprecia que el grupo 4 produjo un decremento en la DFA de la proteína en el día 21 a diferencia de la respuesta obtenida por los otros tratamientos.

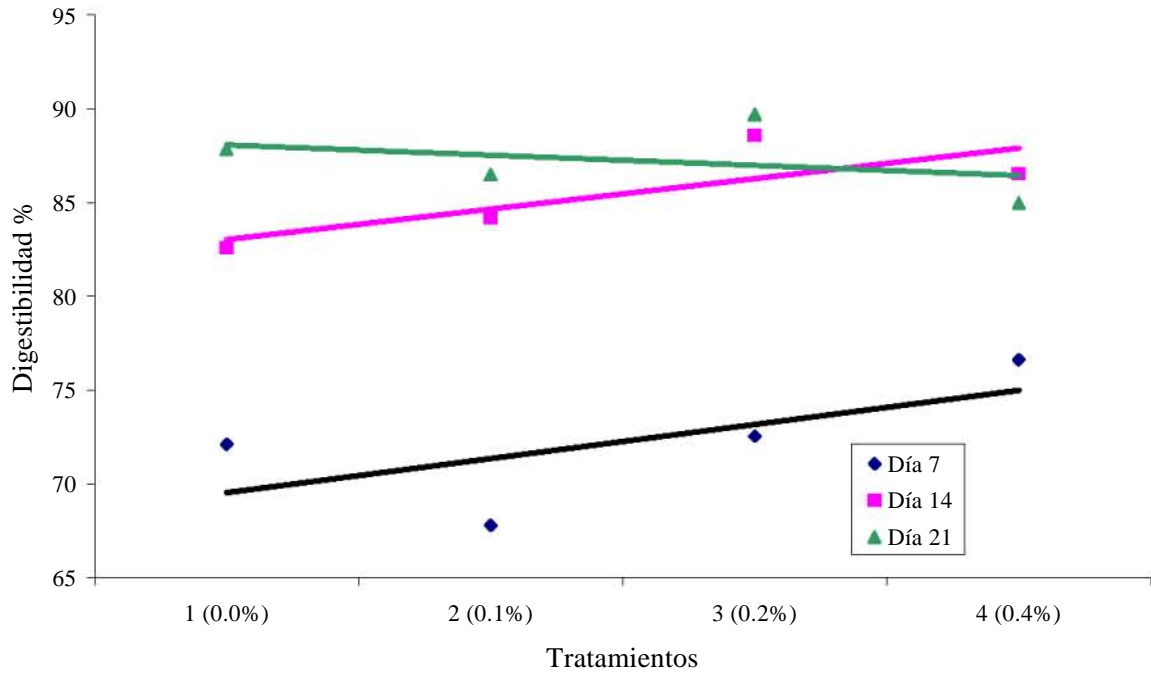


Figura 11. Líneas de tendencia por día para la digestibilidad del almidón.

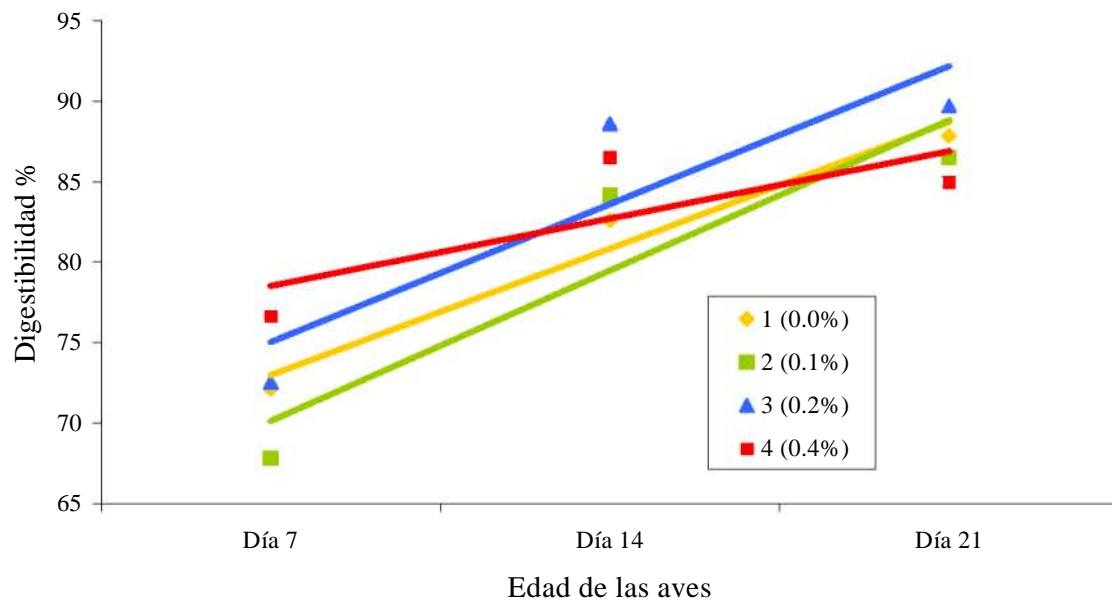


Figura 12. Líneas de tendencia por grupo para la digestibilidad del almidón.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para la DFA de la proteína y el almidón, muestran una gran similitud. Como se puede apreciar en las figuras 2 y 8, en el día 7 la DFA de ambos nutrimentos exhiben una relación lineal positiva con la concentración de IN en la dieta, a pesar de no aumentar en la misma proporción este prebiótico influyó sobre la digestibilidad. Una de las propiedades que ha demostrado tener la IN es la de aumentar la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) en el TGI^{31,51,52}. Teniendo en cuenta esta característica, se supone un modelo en el cual los grupos que contenían IN en la dieta aumentaron la concentración de AGV en el TGI de las aves.

Los AGV tienen efectos sobre la mucosa intestinal y sistémicos relacionados con el proceso digestivo. Como parte de la mucosa del TGI se encuentran un grupo de células endocrinas llamadas células L, estas células secretan un grupo de hormonas llamadas incretinas, dentro de estas sustancias están el Péptido Parecido al Glucagon-2 (GLP-2) y el Péptido YY (PYY)^{52,53,54}. Los AGV estimulan la producción y liberación de estas hormonas por parte de las células L, la intensidad con la que estimula este efecto depende de la concentración de AGV, a mayor concentración la cantidad de incretinas aumenta, como se esquematiza en la figura 13⁵⁵⁻⁵⁹.

El GLP-2 ha demostrado ser un mediador en el desarrollo intestinal, dentro de sus principales efectos fisiológicos se encuentran la estimulación del crecimiento de la mucosa intestinal, estimula la absorción intestinal de nutrimentos, estimula la actividad de enzimas como la sacarasa-isomaltasa y la aminopeptidasa^{58,60,61,62}. Estos elementos explican los hallazgos en estudios como los de Yusrizal y Chen³⁸ y Xu *et al*⁴⁰ donde al utilizar fructosanos en la dieta de pollos, la mucosa intestinal aparece más densa comparada con el testigo. Al tener una mucosa intestinal más densa y sana, se puede presumir del hecho que la actividad enzimática es mayor.

Los AGV tiene un efecto estimulante en el páncreas exócrino, significando un aumento en el flujo de jugo pancreático a la luz intestinal, Sileikene *et al*⁶³ estudio esta reacción en cerdos al utilizar AGV, aunque como él concluye, el efecto se le atribuye solo al butirato y al propionato^{64,65}.

Los AGV limitan el desarrollo de microorganismos patógenos en la luz intestinal como lo demostró Van Der Wielen *et al*¹⁰ y Bailey *et al*⁶⁶ utilizó FOS encontrando que la colonización de *Salmonella* era limitada. Uno de los efectos nocivos de las bacterias patógenas es el dañar a la mucosa intestinal por lo que limitan así la absorción de nutrimentos y la reducción en la liberación de enzimas digestivas, disminuyendo así la digestibilidad.

Los resultados en la DFA observados el día 7 para ambos nutrimentos pueden responder a los diferentes modelos mencionados o el conjunto de estos ya que no existe una relación excluyente o inhibitoria entre ellos.

En el día 14 la DFA de ambos nutrimentos no mostraron la misma respuesta, ya que la DFA de la proteína siguió el mismo patrón que el de la medición anterior a diferencia del almidón donde no existe relación alguna entre la concentración de IN y la DFA, pero sobresale el grupo 3 que es el grupo con el valor más alto.

La digestión del almidón depende en gran medida de la actividad enzimática del páncreas y de la mucosa intestinal. Los AGV a dosis altas como lo menciona Swanson *et al*⁶⁴ inhiben la secreción exócrina pancreática, cuando los utilizó en rumiantes en infusión duodenal, esto se puede explicar por la acción del PYY, que es un potente inhibidor del páncreas exócrino. Este péptido responde de la misma manera como lo hace el GLP-2 a los estímulos de los AGV en las células L^{67,68}.

Sobre este modelo se supone que el estímulo pancreático por parte del PYY, inhibió la secreción de enzimas pancreáticas a la luz intestinal, como consecuencia limitó la DFA del almidón en la concentración de IN más alta, a diferencia de lo ocurrido con el mismo grupo la medición anterior, no hay que olvidar que el consumo es mayor conforme el pollo crece y la proporción IN consumida-peso corporal es superior, sin importar que el porcentaje de IN en la dieta sea el mismo para ambos periodos.

En el día 21 se vuelve a observar coincidencia en la respuesta de la DFA de los nutrimentos bajo estudio ante la concentración de inulina en la dieta. En este caso se hace evidente en las figuras 4 y 10 la relación lineal negativa del DFA en relación con la concentración de inulina en la dieta. Aunque no son iguales, ya que el almidón fue el más evidente y su constante fue mayor, se observa que la inulina en el último periodo disminuye la DFA del almidón y la proteína.

En el último periodo se atribuye el mayor consumo de IN que al de los periodos anteriores. La disminución de la DFA en el último periodo para ambos nutrientes, responde a los efectos inhibitorios que poseen los AGV sobre el páncreas exócrino, vía PYY. La mucosa intestinal bajo el estímulo del GLP-2, mantendrá una gran actividad en el proceso digestivo para el almidón y la proteína, significando esto en una actividad enzimática elevada y el aumento en la absorción de nutrientes, mientras que los AGV estimulan la secreción pancreática, de esta manera se esperaría como en el primer periodo de muestreo un aumento en la DFA (figura 13), pero la participación del páncreas en la digestión de ambos

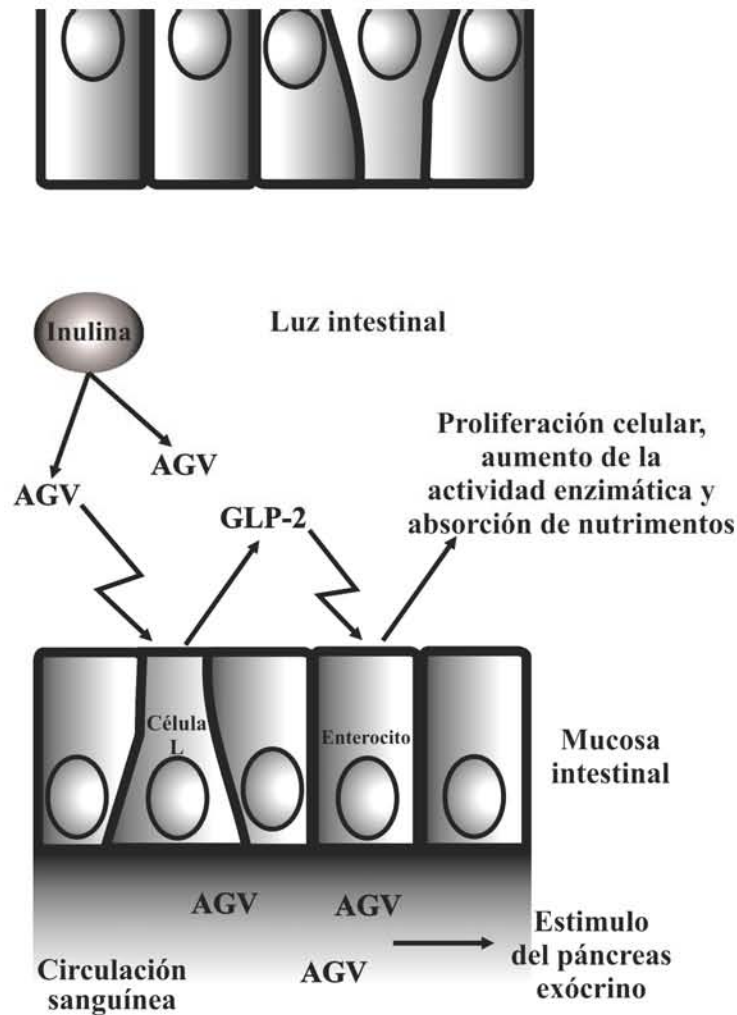


Figura 13. Diagrama que representa los posibles eventos fisiológicos de la mucosa intestinal, en los que interviene la inulina.

nutrientes es importante y la inhibición por parte del PYY explica el fenómeno observado en este periodo.

5. CONCLUSIONES

La interacción entre la concentración de inulina y los primeros 21 días de edad tuvieron un efecto sobre la digestibilidad fecal aparente del almidón y de la proteína, este efecto se observa en el día 21 de edad y con una concentración de 0.4%, que para ambos nutrimentos fue el valor más bajo de todo el muestreo.

La inulina mejora la digestibilidad aparente durante la primera semana para el almidón y la proteína, con una concentración de 0.4% en la dieta; en la segunda semana el fenómeno observado es el mismo; en la tercera semana la inulina disminuye la digestibilidad para ambos nutrimentos, cuando se utiliza 0.4% del prebiótico en la dieta.

Las concentraciones de inulina para mejorar la digestibilidad fecal aparente de la proteína y almidón durante los primeros 21 días de edad del pollo, son de 0.4% durante la primera semana y 0.2% hasta el día 21.

6. ANEXOS

Anexo 1

Técnica para la determinación de nitrógeno precipitable en excretas de pollo método Terpstra, K. y de Hart N (1974).

Material y equipo:

Tubos de vidrio de 50 ml con tapa de rosca

Vortex

Baño metabólico

Centrifuga

Balanza

Gradilla

Pipetas 5 ml

Reactivos:

Formaldehído

Alcohol etílico

Agua destilada

Acetato de sodio

Acetato de plomo

Ácido acético glacial

Procedimiento:

Pesar 1gr de muestra en materia seca en un tubo (50ml).

Agregar 20ml de la solución formaldehído-acetato y agitar vigorosamente.

Colocar en baño metabólico a ebullición por 20min y agitar cada 5 min.

Retirar del calor y dejar enfriar y agregar 5ml de la solución acetato de plomo con agitación.

Volver a someter a baño metabólico a ebullición por 10min. más.

Retirar del calor y dejar enfriar y agregar con agitación vigorosa 20ml de alcohol-formaldehído.

Dejar reposar la muestra por un mínimo de 12hr.

Filtrar el contenido del tubo en papel filtro Whatman No. 43.

Enjuagar el tubo con la solución de enjuague hasta que no queden residuos en el tubo.

Una vez escurrido el papel se deseca en una estufa de vacío.

Del papel previamente identificado se le determina nitrógeno por el método Kjeldahl.

Solución formaldehído-acetato pH 4.7: diluir 13.6g de acetato de sodio($3H_2O$) en 800ml de agua. Diluir 6g de ácido acético glacial en 50ml de formaldehído al 35%. Mezclar ambas soluciones y llevarlas a 1 litro.

Solución de acetato de plomo: diluir 100g de acetato de plomo ($3H_2O$) en 800ml, posteriormente agregar 50ml de formaldehído al 35% y suficiente ácido acético glacial para tener un pH de 4.7 y llevar la solución a 1 litro.

Solución alcohol-formaldehído: mezclar 950ml de alcohol 96% con 50ml de formaldehído al 35%.

Solución de enjuague: mezclar 500ml de Buffer formaldehído-acetato, 100ml de la solución acetato de plomo y 500ml de Alcohol-formaldehído.

Anexo 2**Técnica para la determinación de almidón método modificado de Bach Knudsen *et al* (1997).**

Material y equipo:

Tubos de vidrio de 50 ml con tapa de rosca

Vortex

Baño metabólico

Centrifuga

Balanza

Gradilla

Espectrofotómetro

Pipetas 5 ml

Matraces aforados de 100 ml

Reactivos:

Agua destilada

Acetato de sodio

Ácido acético

α -amilasa termoestable (EC 3.2.1.1)

amiloglucosidasa de *Aspergillus niger* (EC 3.2.1.3)

Procedimiento:

Pesar 150 mg de muestra en tubos de vidrio (50 ml).

Agregar 30 ml buffer de acetato 0.1 M al tubo con muestra[†] y agitar vigorosamente.

Tomar del sobrenadante 1ml para determinar glucosa antes de la extracción enzimática análisis.

A cada tubo se agrega 100 μ l de α -amilasa.

Agitar e incubar a baño maría durante 1 hora a ebullición, con agitación en vortex cada 15 minutos.

Dejar enfriar y agregar 200 μ l amiloglucosidasa.

Agitar e incubar a baño maría durante 2 horas a 60° C.

Dejar enfriar y centrifugar a 7400 rpm durante 10 min.

Tomar del sobrenadante 2 ml y aforar a 100 ml.

La glucosa se determina por el método de la glucosa oxidasa (GAGO-20 SIGMA).

‡ Tomar 2.871 ml de ácido acético y aforar a 500 ml con agua destilada y pesar 4.143 g de acetato de sodio y aforar a 500 ml con agua destilada. Hacer una solución con 52% de la solución de ácido acético y 48% de la solución de acetato de sodio.

Anexo 3**Técnica para la determinación de óxido crómico por método Czarnocki (1961)**

Material y equipo:

Matraz para microkjeldahl de 100ml.

Parrillas de digestión para microkjeldahl

Matraces aforados de 100 ml.

Tubos para centrifuga de polietileno con tapa de rosca.

Centrifuga.

Espectrofotómetro que permita lecturas de 440 nm.

Celdas de cuarzo.

Reactivos:

Ácido sulfúrico concentrado.

Ácido perclórico al 70%.

Molibdato de sodio dihidratado.

Óxido de cromo.

Procedimiento:

Pesar 1 a 2 gramos de muestra en un matraz.

Agregar 15ml de la solución digestora.

Dejar reposar el matraz mínimo 12hr.

Colocar el matraz en la parrilla para digestión a ebullición (evitar la formación de espuma y derrames).

Esperar que la muestra cambie a color verde opaco y verificar que no quede muestra sin digerir en las paredes.

La muestra hará un último cambio a color amarillo-rojizo dependiendo la concentración de cromo en la muestra.

Esperar 15min. después del cambio a color amarillo.

Retirar del calor, dejar enfriar y aforar a 100ml, cuidando de recuperar la mayor cantidad de muestra del matraz de digestión.

Dejar reposar la solución por 12 hr. o centrifugar a 3000 rpm por 15min.

Leer la muestra en el espectrofotómetro a 350 nm.

Mezcla digestora : diluir 20g de molibdato de sodio en una solución compuesta por 300ml de agua destilada, 300ml de ácido sulfúrico concentrado y 400ml de ácido perclórico al 70%.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Sulistiyanto B, Akiba Y, Sato K. Energy utilisation of carbohydrate, fat and protein sources in newly hatched broiler chicks. *Br Poultry Sci* 1999;40:653-659.
2. Sklan D. Development of the digestive tract of poultry. *Wld's Poultry Sci J.* 2001;57:415-427.
3. Uni Z, Ferket R. Methods for early nutrition and their potential. *Wld's Poultry Sci J.* 2004;60:101-111.
4. Jin S, Corless A. Digestive system development in post-hatch poultry. *Wld's Poultry Sci J.* 1998;54:335-345.
5. Geyra A, Uni Z, Sklan D. Enterocyte dynamics and mucosal development in the posthatch chick. *Poultry Sci.* 2001;80:776-782.
6. Noy Y, Sklan D. Posthatch development in poultry. *J Appl Poultry Res* 1997;6:344-354.
7. Uni Z, Ganot S, Sklan D. Posthatch development of mucosal function in the broiler small intestine. *Poultry Sci.* 1998;77:75-82.
8. Józefiak D, Rutkowski A, Martin S. Carbohydrate fermentation in the avian ceca: a review. *Anim Feed Sci Technol.* 2004;113:1-15.
9. Montage L, Pluske J, Hampson D. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Anim Feed Sci Technol.* 2003;108:95-117.
10. Van der Wielen P, Biesterveld S, Notermans S, Hofstra H, Urlings B, Van Knapen F. Role of volatile acids in development of the cecal microflora in broiler chickens during growth. *Appl Environment Microbiol.* 2000;66:2536-2540.
11. Darragh A, Hodgkinson S. Quantifying the digestibility of dietary protein. *J Nutr.* 2000;130:1850S-1856S.
12. Jagger S, Wiseman J, Cole D, Craigon J. Evaluation of inert markers for the determination of ileal and faecal apparent digestibility in the pig. *Br J Nutr.* 1992;68:729-739.
13. Vogtmann H, Pfirter H, Prabuchi A. A new method of determining metabolisability of energy and digestibility of fatty acids in broiler diets. *Br Poult Sci.* 1975;16:531-534.

14. Short F, Gordon P, Wiseman J, Boorman K. Determination of titanium dioxide added as an inert marker in chicken digestibility studies. *Anim Feed Sci Technol.* 1996;59:215-221.
15. Kotb A, Luckey T. Markers in nutrition. *Nutr Abstr Rev.* 1972;42:813-845.
16. Borin K, Ogle B, Lindberg J. Methods and techniques for the determination of amino acid digestibility: A Review; *Livestock Research for Rural Development* 2002;14:6. Retrieved June 19, 2006, from <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/6/bori146.htm>.
17. Scott T, Boldaji F. Comparison of inert markers (chromic oxide or insoluble ash [celitetm]) for determining apparent metabolizable energy of wheat- or barley-based broiler diets with or without enzymes. *Poultry Sci.* 1997;76:594-598.
18. Hussein H, Campbell J, Bauer L, Fahey G, Hogarth A, Wolf B, *et al.* Selected fructooligosaccharide composition of pet-food ingredients. *J Nutr.* 1998;128:2803S-2805S.
19. Niness R. Inulin and Oligofructose: What Are They? *J Nutr.* 1999;129:1402S-1406S.
20. Roberfroid M. Prebiotics and probiotics: are they functional foods?. *Am J Clin Nutr.* 2000;71(suppl):1682S-1687S.
21. Schneeman O. Fiber, Inulin and oligofructose: similarities and differences. *J Nutr.* 1999;129:1424S-1427S.
22. Jenkins A. Inulin, oligofructose and intestinal function. *J Nutr.* 1999;129:1431S-1433S.
23. Cummings H. Prebiotic digestion and fermentation. *Am J Clin Nutr.* 2001;73 (suppl):415S-420S.
24. Gibson G, Roberfroid M. Dietary modulation of the human colonic microflora: introducing the concept of prebiotics. *J Nutr.* 1995;125:401-412.
25. Farmworth E, Molder H, Jones J, Cave N, Yamazaki H, Rao A. Feeding jerusalem artichoke flour rich in fructooligosaccharides to weanling pigs. *Can J Anim Sci.* 1992;72:977-980.
26. Houdijk J, Bosch M, Verstegen M, Berenpas E. Effects of dietary oligosaccharides on the growth performance and faecal characteristics of young growing pigs. *Anim Feed Sci Technol.* 1998;71:35-48.

-
27. Russell T, Kerkley M, Allee G. Effect of fructooligosaccharide on growth performance of the weaned pig. *J Anim Sci.* 1996;74(Suppl): 61.
 28. Maertens L, Aerts J, De Boever J. Degradation of dietary oligofructose and inulin in the gastro-intestinal tract of the rabbit and the effects on cecal pH and volatile fatty acids. *World Rabbit Sci.* 2004;12:235-246.
 29. Volek Z, Skřivanova V, Marounek M, Zita L. Replacement of starch by pectin and chicory inulin in the starter diet of early-weaned rabbits: effect on growth, health status, cecal traits and viscosity of the small intestinal content. *Memorias del VIII congreso internacional de cunicultura, 2004 Septiembre 7-10; Puebla, Mexico, p.853-860.*
 30. Propst E, Flickinger E, Bauer L, Merchen N, Fahey G. A dose-response experiment evaluating the effects of oligofructose and inulin on digestibility, stool quality, and fecal protein catabolites in healthy adult dogs. *J Anim Sci.* 2003;81:3057-3066.
 31. Hesta M, Janssens G, Debraekeleer J, De Wilde R. The effect of oligofructose and inulin on faecal characteristics and nutrient digestibility in healthy cats. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2001;85:135-141.
 32. Flickinger E, Van Loo J, Fahey G. Nutritional responses to the presence of inulin and oligofructose in the diets of domesticated animals: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2003;43:19-60.
 33. Houdijk J, Bosch M, Tamminga S, Verstegen M, Berenpas E, Knoop H. Apparent ileal and total-trac nutrient digestion by pigs as affected by dietary nondigestible oligosaccharides. *J Anim Sci.* 1999;77:148-158.
 34. Ammerman, E., C. Quarles, and P. V. Twining, Jr. Effect of dietary fructooligosaccharides on feed efficiency in floor-pen reared male broilers. *Poultry Sci.* 1988a. 67(Suppl. 1):1.(Abstr.)
 35. Ammerman, E., C. Quarles, and P. V. Twining, Jr. Broiler response to the addition of dietary fructooligosaccharides. *Poultry Sci.* 1988b. 67(Suppl. 1):46.(Abstr.)
 36. Ammerman, E., C. Quarles, and P. V. Twining, Jr. Evaluation of fructooligosaccharides on performance and carcass yield of male broilers. *Poultry Sci.* 1989. 68(Suppl. 1):167.(Abstr.)

37. Waldroup A, Skinner J, Hierholzer R, Waldroup P. an evaluation of fructooligosaccharide in diets for broiler chickens and effects on salmonellae contamination of carcasses. *Poultry Sci.* 1993;72:643-650.
38. Yusrizal and T. C. Chen. Effect of adding chicory fructans in feed on broiler growth performance, serum cholesterol and intestinal length. *Int J Poultry Sci.* 2003;2:214-219.
39. Ortega D, Juárez R, Petrone G. Evaluación de la eficiencia productiva en pollos de engorda suplementados con prebióticos y antibióticos promotores de crecimiento. *Memorias del XXX Convención Anual ANECA; 2005 abril 27-30; Puerto Vallarta (Jalisco) México. Asociación Nacional de Especialistas en Ciencias Avícolas de México A.C.*
40. Xu Z. Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poultry Sci.* 2003;82:1030-1036.
41. Martin W, Wiliams V, Williams B. Alternative to use of antibiotics as growth promoters for monogastric animals. *Anim Biotech.* 2002;13:113-127.
42. Mack O. North, Donald D. Bell. *Manual de producción avícola. México (D.F) Manual Moderno.* 1993.
43. Ten Doeschate R, Scheele C, Schreurs V, Van Der Klis J. Digestibility studies in broiler chickens: influence of genotype, age, sex and method of determination. *Br Pultry Sci.* 1993;34:131-146.
44. Garcia ME. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la republica mexicana. México (D.F.) Talleres offset Larios. 1988.
45. Terpstra, K.; de Hart, N. The estimation of urinary nitrogen and faecal nitrogen in poultry excreta. *Z. Tierphysiol. Tierernaher. Futtermittelkd.* 1974;32:306-320.
46. AOAC. *Official methods of analysis.* 17th ed. Washington (DC): Association of Official Analytical Chemists, 2003.
47. Bach Knudsen, K.E., Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Anim. Feed Sci. Technol.* 1997;76:319-338.
48. Czarnocki J, Sibbald I Evans E. The determination of chromic oxide in samples of feed and excreta by acid digestion and spectrophotometry. *Can J Anim Sci* 1961;41:167-179.
49. Wayne W. Daniel. *Bioestadística.* 4^a edición. México, Limusa; 2004.

-
50. Hicks CR. Fundamental concepts in the design of experiments. 3rd ed. New York: CBS College Publishing.
 51. Flamm G, Glinsmann W, Kritchevsky D, Prosky L, Roberfroid M. Inulin and oligofructose as dietary fiber: a review of the evidence. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2001;41:353-362.
 52. Patterson J, Burkholder K. Application of prebiotics in poultry production. *Poultry Sci.* 2003;82:627-631.
 53. Delzenne N, Cani P, Daubioul C, Neyrinck A. Impact of inulin and oligofructose on gastrointestinal peptides. *Br J Nutr.* 2005;93 Suppl. 1:S157-S161.
 54. Burcelin R. The incretins: a link between nutrients and well-being. *Br J Nutr.* 2005;93 Suppl. 1:S147-S156.
 55. Burrin D, Stoll B, Guan X. Glucagon-like peptide 2 function in domestic animals. *Domestic Animal Endocrinology.* 2003;24:103-122.
 56. Tappenden K, Albin D, Bartholome A, Mangian H. Glucagon-like peptide-2 and short fatty acids: a new twist to an old story. *J Nutr.* 2003;133:3717-3720.
 57. Chey W, Chang T. Neural hormonal regulation of exocrine pancreatic secretion. *Pancreatology.* 2001;1:320-335.
 58. Reimer R, McBurney M. Dietary fiber modulates intestinal proglucagon messenger ribonucleic acid and postprandial secretion of glucagon-like peptide-1 and insulin in rats. *Endocrinology.* 1996;137:3948-3956.
 59. Tappenden K, McBurney M. Systemic short chain fatty acids rapidly alter gastrointestinal structure, function, and expression of early response genes. *Dig Dis Sci.* 1998;43:1526-1536.
 60. Kitchen P, Fitzgerald A, Goodlad R, Barley N, Ghatei M, Legon S, *et al.* Glucagon-like peptide-2 increases sucrase-isomaltase but not caudal-related homeobox protein-2 gene expression. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol.* 2000;278:G425-G428.
 61. Petersen Y, Burrin D, Sangild P. GLP-2 has differential effects on small intestine growth and function in fetal and neonatal pigs. *Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol.* 2001;281:R1986-R1993.
 62. Tsai C, Hill M, Drucker D. Biological determinants of intestinotrophic properties of GLP-2 in vivo. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol.* 1997;272:G662-G668.

-
63. Sileikiene V, Mosenthin R, Tafaj M, Kruszewska D, Weström B, Mattson I, *et al.* Effect of short chain fatty acids infused intrailealy on interdigestive exocrine pancreatic secretions in growing pigs. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2005;89:253-259.
 64. Katho K, Tsuda T. Effects of acetylcholine amd short-chain fatty acids on acinar cells of the exocrine pancreas in sheep. *J Physiol.* 1984;356:479-489.
 65. Swanson K, Matthews J, Woods C, Harmon D. Influence of substrate and/or neurohormonal mimic on in vitro pancreatic enzyme release from calves postruminal infused with partially hydrolyzed starch and /or casein. *J Anim Sci.* 2003;81:1323-1331.
 66. Bailey J, Blankenship L, Cox N. Effec of fructooligosaccharide on *Salmonella* colonization of the chicken intestine. *Poultry Sci.* 1991;70:2433-2438.
 67. Botermans J, Pierzynowski S. Relations between body weight, feed intake, daily weight gain, and exocrine pancreatic secretion in chronically cetheterized growing pigs. *J Anim Sci.* 1999;77:450-456.
 68. Konturek S, Zabielski R, Konturek J, Czanecki J. Neuroendocrinology of the pancreas; role of brain-gut axis in pancreatic secretion. *Eu J Pancreatol.* 2003;481:1-14.

8. ABREVIATURAS

TGI	Tracto gastrointestinal
ID	Intestino delgado
AG's	Acidos grasos
IN	Inulina
OF	Oligofructosa
FOS	Fructooligosacaridos
DA	Digestibilidad aparente
CA	Conversión alimenticia
PC	Proteína cruda
FC	Fibra cruda
G	Grasa
MO	Materia orgánica
DFA	Digestibilidad fecal aparente
AGV	Ácidos grasos volátiles
GLP-2	Péptido parecido al glucagon
PYY	Péptido YY