

## **LOS PREBIÓTICOS TIPO INULINA EN ALIMENTACIÓN AVIAR**

### **II: EFECTOS SISTÉMICOS**

### **INULIN-TYPE PREBIOTICS IN POULTRY FEEDING**

### **II: SYSTEMIC EFFECTS**

Ortiz, LT\*, Velasco, S, Rodríguez, ML, Rebolé, A y Alzueta C.

Departamento de Producción Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense,  
28040 Madrid-España.

\*Correspondencia: [ltortiz@vet.ucm.es](mailto:ltortiz@vet.ucm.es)

#### **RESUMEN**

Conseguir y mantener una elevada eficiencia productiva es un objetivo primordial de los programas de alimentación animal. Con esta finalidad se ha intensificado la investigación sobre la utilización de prebióticos como alternativa a los antibióticos promotores del crecimiento (APC) en alimentación aviar. Los prebióticos, y entre ellos los fructanos del tipo de la inulina, pueden tener efectos positivos sobre las aves, no sólo a nivel intestinal, sino también a nivel general o sistémico. Debido a que muchos prebióticos comparten gran parte de las propiedades fisiológicas de la fibra dietética, las investigaciones recientes están prestando especial atención al estudio de los efectos de los prebióticos sobre el metabolismo lipídico y el metabolismo mineral, así como sobre el sistema inmune. En este artículo se hace una revisión de la acción de los fructanos tipo inulina en los pollos de carne, en relación con sus efectos sistémicos y su influencia sobre los índices productivos.

**Palabras clave:** prebióticos, fructanos tipo inulina, pollos, broiler, metabolismo lipídico, retención de minerales, sistema inmune

#### **ABSTRACT**

A primary goal of the animal feeding programs is to achieve and maintain high production efficiency. With this purpose, nowadays the research in poultry feeding is focussed to the use

of prebiotics as an alternative to the antibiotic growth promoters (APC). In poultry production, prebiotics, and especially inulin-type fructans, could have beneficial effects at both local (intestinal function) and systemic levels. Since many prebiotics exhibit much of the physiological properties of dietary fibre, nowadays the research is paying special attention to the study of the effects of prebiotics on lipid and mineral metabolisms and immune system. The current article is a review of some of the systemic effects of inulin-type fructans in broiler feeding as well as of the incidence on performance.

**Keywords:** prebiotics, inulin-type fructans, broilers, lipid metabolism, mineral retention, immune system

## INTRODUCCIÓN

Según datos recientes, España es el quinto país europeo en cuanto a consumo de carne de pollo, por detrás de Hungría, República Checa, Eslovenia y Reino Unido. En concreto, cada español toma una media de 16 kg de esta carne al año. Los consumos más elevados de carne de pollo se registran en la Comunidad Valenciana, La Rioja y Castilla-La Mancha, mientras que en el extremo opuesto se sitúan Murcia, Extremadura y Canarias. Así mismo, España produce más de un millón de toneladas anuales de carne de pollo, lo que sitúa a nuestro país en el segundo de la UE, por detrás del Reino Unido. Las principales comunidades autónomas productoras son Cataluña, Andalucía, Comunidad Valenciana y Galicia.

La prohibición en la UE de la suplementación de los piensos con antibióticos promotores del crecimiento (APC) ha supuesto importantes implicaciones económicas en la industria avícola y, especialmente, en la de producción de carne, donde su empleo era más generalizado. Dichas implicaciones son consecuencia de una menor eficiencia alimenticia, motivada principalmente por una mayor dificultad en el control de las enfermedades subclínicas. Por este motivo se han intensificado las investigaciones sobre la utilización de los prebióticos como alternativa a los APC en alimentación aviar. Los prebióticos, y entre ellos los fructanos tipo inulina, pueden tener efectos positivos en las aves, no sólo localmente, a nivel intestinal, sino también a nivel general o sistémico.

En un artículo anterior (Velasco *et al.*, 2010a) se revisaron los efectos de los fructanos tipo inulina sobre la morfología y función intestinal de los pollos. En este trabajo se presenta una puesta al día de la información existente sobre los efectos sistémicos: metabolismo lipídico, retención de minerales y acción inmunoestimulante de los fructanos en las aves, así como también su influencia sobre los parámetros productivos en los pollos de carne.

### **Efectos de los fructanos sobre el metabolismo lipídico**

Las evidencias más recientes apuntan a que no sólo se deben considerar como factores de riesgo cardiovascular las elevaciones de colesterol total sanguíneo, sino también las de triacilglicéridos (Williams, 1997). Se ha observado en estudios llevados a cabo, fundamentalmente, en animales de experimentación y en el hombre que algunos prebióticos parecen tener efecto sobre el metabolismo de los triacilglicéridos, con consecuencias sobre sus niveles hepáticos y/o séricos, aunque los resultados obtenidos dependen del modelo experimental utilizado. Así, Roberfroid (2005) indica que el nivel de triacilglicéridos en el suero se redujo un 36% (valor medio de ocho estudios) en animales que consumían una ración suplementada con 100 g/kg de inulina. En ratas y hámsters no obesos, alimentados con dietas ricas en carbohidratos, se observó una disminución de la concentración de triacilglicéridos hepáticos y séricos cuando se añadían fructanos tipo inulina a la dieta durante varias semanas (Delzenne y Kok, 2001).

En los animales de experimentación, esta disminución de la triacilgliceridemia suele ir unida a una menor lipogénesis de *novo* en el hígado pero no en las células del tejido adiposo (Delzenne y Kok, 2001). La reducción de los niveles de expresión de las enzimas lipogénicas que son clave en la lipogénesis hepática, como la sintetasa de ácidos grasos, parece estar relacionada con la disminución de la capacidad lipogénica provocada por los fructanos. Por el contrario, cuando los fructanos se incorporan a una dieta rica en lípidos no se detectan cambios a nivel hepático, pero sí una menor triacilgliceridemia en las ratas, lo que sugiere un efecto periférico. Sin embargo, en otro trabajo realizado con ratas obesas, la suplementación con fructanos disminuyó la esteatosis hepática, pero no modificó los niveles de triacilglicéridos posprandiales (Daubioul *et al.*, 2000). Este efecto quizás se debe a una menor disponibilidad de los ácidos grasos no esterificados provenientes del tejido adiposo, ya que tanto la masa grasa como el peso corporal descendieron durante el tratamiento. Otro factor importante a tener en cuenta cuando se estudia el efecto sistémico de la inulina es la duración del tratamiento, ya que se ha observado en ratas que los efectos hipotriacilgliceridémicos sólo aparecen tras varias semanas (Delzenne, 1999).

Se conocen muy pocos trabajos en los que se haya estudiado el efecto de la inulina sobre el metabolismo lipídico de los pollos. Ammerman *et al.* (1989) encontraron que la adición de oligofruktosa o fructooligosacáridos (FOS) a la ración (3,75 g/kg) produjo una reducción de la grasa corporal. Yusrizal y Chen (2003) observaron disminuciones en el nivel de colesterol en suero y en el peso de la grasa abdominal de los pollos cuando éstos consumían una ración

suplementada con inulina (10 g/kg). Resultados muy recientes de nuestro grupo de investigación (Velasco *et al.*, 2010a) indican que la adición de inulina (10 g/kg) a la ración provoca una disminución de hasta un 31% en la concentración de lípidos en hígado y en la de triacilglicéridos y colesterol-VLDL en sangre.

En general, parece ser que la acción de los prebióticos sobre el contenido lipídico sérico, hepático o corporal no es uniforme, sino que depende del estado nutricional y fisiopatológico. Esto podría ayudar a entender por qué en el hombre, cuyas condiciones experimentales no son fácilmente controlables, los resultados de los efectos de los prebióticos sobre los lípidos circulantes son muy variables.

#### *Mecanismos implicados en el efecto de los fructanos sobre el metabolismo lipídico*

La posibilidad de que la microflora intestinal pueda ejercer efectos beneficiosos sobre el metabolismo lipídico se apoya en los estudios realizados con bacterias productoras de ácido láctico, ya que es un hecho sobradamente documentado que la mayoría de los prebióticos estimulan el crecimiento de las bacterias ácido-lácticas (Velasco *et al.*, 2010a). Sin embargo, la proliferación de bifidobacterias no parece ser la causa del efecto hipocolesterolémico, ya que otros prebióticos, como por ejemplo los levanos, no son bifidogénicos y, sin embargo, también disminuyen los niveles séricos de colesterol en ratas (Yamamoto *et al.*, 1999).

Se han propuesto diversos mecanismos que podrían explicar, al menos parcialmente, el efecto de los prebióticos sobre el metabolismo lipídico. Así, el aumento de la desconjugación y excreción fecal de las sales biliares podría estar implicado en la reducción de los niveles de colesterol causada por probióticos y prebióticos (St-Onge *et al.*, 2000). Además, se tiene también conocimiento de que la degradación de los prebióticos en el intestino conduce a la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) en cantidades importantes, principalmente acetato, propionato y butirato, que son absorbidos totalmente en el tracto intestinal. Mientras que el butirato es metabolizado por los enterocitos, el acetato y el propionato alcanzan intactos el hígado a través de la vena porta. Una vez que el acetato entra en el hepatocito, se activa la acetil-coenzima A sintetasa 2, quedando el acetato incorporado a los procesos de colesterogénesis y lipogénesis. Este hecho se ha propuesto como base del efecto hipercolesterolémico de algunos carbohidratos como la lactulosa, cuya fermentación en el colon da lugar a un aumento de la producción de acetato. De forma contraria, el propionato podría contribuir a la disminución de la lipogénesis y colesterogénesis, al menos *in vitro*, en los hepatocitos de las ratas (Delzenne y Williams, 2002), ya que es un inhibidor competitivo de la proteína que se encarga de la entrada del acetato a la célula hepática.

Se ha sugerido que la producción de altas concentraciones de propionato mediante fermentación podría ser la causa de la disminución de los niveles séricos y hepáticos de colesterol en ratas alimentadas con almidón resistente o fructanos (Cheng y Lai, 2000). Por tanto, parece que el proceso de fermentación de los prebióticos, y principalmente la relación acetato/propionato que alcanza el hígado, es un marcador que puede ser utilizado como predictor de las propiedades hipolipemiantes de los prebióticos. Sin embargo, todavía no existen suficientes datos experimentales en el hombre que permitan establecer las contribuciones cuantitativas del acetato y el propionato a la regulación del metabolismo lipídico. La mayor parte de los datos experimentales sobre los posibles mecanismos implicados en el efecto hipolipemiante de los prebióticos, aparte del anteriormente señalado efecto de los AGCC sobre el eje colónico-hepático, proceden de estudios llevados a cabo en animales.

Otro mecanismo propuesto para explicar la disminución de la triacilgliceridemia atribuida a los carbohidratos fermentables es el posible retraso del vaciado gástrico y, por tanto, de la liberación de glucosa e insulina, así como también los cambios producidos en los niveles de algunos péptidos intestinales, GIP (polipéptido insulino-trópico dependiente de glucosa) y GLP1 (péptido similar al glucagon tipo 1), que podrían alterar el metabolismo lipídico (Battilana *et al.*, 2001). Ambos péptidos se liberan de las células endocrinas de la mucosa intestinal tras la ingestión de carbohidratos, e intensifican la producción de insulina postprandial a partir de las células  $\beta$  pancreáticas (Morgan, 1996). Además de su efecto insulino-trópico, dichos péptidos incrementan la actividad de la lipoproteína lipasa (Knapper *et al.* 1995), enzima implicada en el catabolismo del triacilglicerol circulante (Kok *et al.*, 1998).

### **Efectos de los fructanos sobre la retención de minerales**

A partir de numerosos estudios realizados en distintos animales y en el hombre durante los últimos veinte años, se ha podido deducir claramente uno de los efectos nutritivos de los fructanos tipo inulina (inulina y FOS): la estimulación de la absorción de algunos minerales.

Así, la estimulación de la absorción de Ca por la inclusión de carbohidratos indigestibles en la dieta ha sido ampliamente documentada en animales de laboratorio, tanto en los ensayos que incluían FOS (Ohta *et al.*, 1995, 1998a y 1999), como en los que utilizaban inulina (Delzenne *et al.*, 1995). Según estos autores, la oligofructosa se mostró ligeramente más eficaz que la inulina en el incremento de la absorción de Ca. Nuestros resultados con pollos en

crecimiento (Ortiz *et al.*, 2009) también mostraron un aumento, de hasta un 18%, en la retención de Ca con la incorporación de inulina a la ración.

La adición de FOS a la ración mejora también significativamente la retención de Mg en ratas jóvenes, tanto si se trata de una dieta estándar (Ohta *et al.*, 1993; Delzenne *et al.*, 1995; Ohta *et al.*, 1995, 1998a y 1999) como si la dieta es deficitaria en Mg (Ohta *et al.*, 1994). De forma similar a lo que sucede con la absorción de Ca, se puede afirmar, con una base científica sólida, que la inulina aumenta la absorción de Mg (Roberfroid, 2005).

Los estudios relativos al efecto estimulante de los fructanos sobre la absorción de otros bioelementos son más escasos y sus resultados menos concluyentes. Por ejemplo, respecto al P, Ohta *et al.* (1999) comprobaron en ratas que era necesaria una concentración de FOS de 150 g/kg para obtener un incremento significativo en la absorción de este bioelemento, ya que en estudios previos no habían observado ningún efecto con dosis de 50 g/kg en ratas jóvenes alimentadas con dietas deficientes en Mg (Ohta *et al.*, 1994), ni con 75 g/kg en ratas gastrectomizadas (Ohta *et al.*, 1998b). En un estudio llevado a cabo con ratas adultas ovariectomizadas, se observó que ni la absorción ni la retención de P se vieron afectadas por la oligofructosa incluida a niveles de 5 y 10 g/kg en la dieta, ya que únicamente se redujo la excreción urinaria de P cuando la concentración de oligofructosa fue igual o superior a 50 g/kg (Scholz-Ahrens y Schrezenmeir, 2002).

En el caso de los pollos de carne, los resultados obtenidos por nuestro equipo de investigación (Ortiz *et al.*, 2009) mostraron que la inclusión de inulina en el pienso incrementaba la retención relativa aparente de Ca, como ya hemos mencionado, en mayor medida la de Zn (hasta un 35%) y, sobre todo, la de Cu (más de un 450%). Este llamativo incremento detectado en la retención de Cu resulta especialmente relevante, dada la importancia de este elemento en la formación de puentes de colágeno durante el crecimiento del hueso y su posible repercusión en los animales con unas necesidades de rápido crecimiento como las que se dan en los pollos broiler. Así mismo, también se observó un aumento de los niveles de cenizas y Ca en la tibia de los pollos.

#### *Mecanismos implicados en el efecto de los fructanos sobre la retención de minerales*

Los mecanismos de acción de los fructanos sobre la absorción y el metabolismo mineral permanecen todavía en el terreno de las hipótesis, necesitándose más investigación para su completo entendimiento.

Una hipótesis se basa en que el efecto de los fructanos tipo inulina sobre el metabolismo de los minerales se puede deber a un aumento tanto del transporte activo como de la absorción pasiva a través del epitelio intestinal. Dicho aumento estaría ocasionado probablemente, entre otros factores, por el descenso del pH y el incremento de la concentración de diversos metabolitos, fundamentalmente los AGCC del contenido intestinal, a consecuencia del aumento de las fermentaciones microbianas (Levrat *et al.*, 1991).

Otra hipótesis es que la inulina podría favorecer el crecimiento de la microflora no sólo en el colon ascendente, sino en las partes más distales, transversal e, incluso, colon descendente (Roberfroid, 2005), lo que produciría diversos cambios que facilitarían la absorción mineral a lo largo de los distintos segmentos del colon.

### **Acción inmunoestimulante de los fructanos**

El sistema inmune de las aves es un sistema complejo, compuesto por diversos tipos de células y sustancias solubles que funcionan conjunta y coordinadamente para lograr una respuesta inmune protectora. Las estructuras principales del sistema inmune de las aves son los órganos linfáticos, que se dividen en primarios y secundarios. Los órganos linfáticos primarios son la bolsa de Fabricio y el timo, que es donde se forman y diferencian los linfocitos B y los linfocitos T, respectivamente. Los órganos linfáticos secundarios se caracterizan por contener agregados de linfocitos y células presentadoras de antígeno, y están distribuidos por todo el cuerpo, siendo los más importantes el bazo, la médula ósea, la glándula de Harder, el tejido linfático asociado a los bronquios y el asociado al intestino, GALT (gut associated lymphoid tissue) (Sharma, 2003). En los pollos, este último incluye las tonsilas cecales, las placas de Peyer y los agregados linfáticos del urodeum y proctodeum (Befus *et al.*, 1980).

El tejido linfático intestinal actúa en primera línea en la defensa de la superficie intestinal (Yegani and Korver, 2008); de él forman parte las denominadas células M, células presentadoras de antígeno que se encuentran distribuidas entre los enterocitos. Dichas células transportan el antígeno desde la luz intestinal hasta las placas de Peyer, donde lo procesan y presentan a los linfocitos, los cuales se activan. A continuación, los linfocitos se desplazan por la linfa hasta los nódulos mesentéricos y, a través del conducto torácico y vía sanguínea, vuelven a la lámina propia del intestino (Lomax y Calder, 2009). De este modo, los linfocitos activados por un antígeno específico se distribuyen por todo el intestino.

Existe suficiente evidencia científica de que el sistema inmune es capaz de responder a numerosos factores, entre ellos algunos relacionados con la alimentación. En este sentido, se

han realizado investigaciones encaminadas a determinar los efectos de los fructanos sobre el sistema inmune no sólo en animales de laboratorio, sino en animales de compañía (perro) y animales productivos (cerdo). En las aves, sin embargo, se han realizado muy pocos estudios, si bien recientemente se han publicado algunos resultados referentes a quitooligosacáridos, mananoligosacáridos y fructooligosacáridos (RuiLin *et al.*, 2007; Janardhana *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2009. respectivamente). A continuación se resumen los principales efectos observados, tanto sobre el sistema inmune innato, como sobre el sistema inmune adaptativo.

### *Efectos a nivel intestinal*

Sobre el sistema inmune innato. Los escasos estudios disponibles hasta la fecha indican que el sistema inmune innato del intestino puede mejorar con el consumo de fructanos y, como consecuencia, la respuesta primaria del hospedador a la infección se vería beneficiada. En dichos estudios, realizados en animales de laboratorio y perros (Field *et al.*, 1999; Kelly-Quagliana *et al.*, 2003; Trushina *et al.*, 2005), se observó un aumento del número y la actividad de los macrófagos, así como un incremento de la expresión de las moléculas del complejo mayor de histocompatibilidad (MHCII) en las células presentadoras de antígeno. Sin embargo, no se observó incremento de la actividad de las células asesinas naturales (NK) ni en los nódulos mesentéricos, ni en las placas de Peyer.

Sobre el sistema inmune adaptativo. Algunos estudios realizados mayoritariamente en ratones han mostrado un incremento del número de células B en las placas de Peyer, así como de las concentraciones de IgA en el intestino y las heces, como consecuencia de la suplementación de la dieta con fructanos (Manhart *et al.*, 2003; Hosono *et al.*, 2003; Nakamura *et al.*, 2004). Dichos hallazgos podrían indicar una mejora de la salud intestinal a consecuencia del consumo de fructanos, ya que los anticuerpos IgA presentes en la mucosa intestinal impiden a los patógenos adherirse a la mucosa. Sin embargo, en otros estudios, particularmente en los realizados en perros, no se han obtenido resultados positivos. La falta de concordancia entre dichas investigaciones podría deberse a que la estimulación del sistema inmune sería mayor en aquellas zonas del intestino donde la población de las bacterias beneficiosas habría aumentado como resultado de la adición de fructanos.

En cuanto a los efectos de los fructanos sobre el número y respuesta de las células T sobre algunas citoquinas (interleuquinas IL-5, IL-6 e IL-10 e interferón- $\gamma$ ) a nivel intestinal, los resultados obtenidos hasta la fecha, si bien no siempre concordantes, sugieren un efecto positivo.



### *Efectos sistémicos*

Inmunidad innata sistémica. El efecto de los fructanos ha sido más estudiado a nivel sistémico que a nivel intestinal (GALT), habiéndose realizado estudios en animales de laboratorio y perros (Kelly-Quagliana *et al*, 2003; Grieshop *et al*, 2004; Trushina *et al*, 2005). En síntesis, los fructanos parecen tener poco efecto sobre la función fagocítica, mientras que la función de las células NK, al menos en el bazo, se ve mejorada. Al igual que ocurre a nivel intestinal, se ha observado en bazo y timo un incremento de la expresión de las moléculas del MHCII en las células presentadoras de antígeno por acción de los fructanos.

Inmunidad adaptativa sistémica. A diferencia de lo observado localmente en el intestino, los fructanos parecen tener leve efecto sobre la inmunidad humoral sistémica, ya que en la mayoría de las investigaciones llevadas a cabo no se han detectado incrementos en las concentraciones de las inmunoglobulinas del suero (Hosono *et al*, 2003; Grieshop *et al*, 2004). En relación con las subpoblaciones de las células T (CD4<sup>+</sup>, CD8<sup>+</sup>, B220<sup>+</sup>, CD11b<sup>+</sup>, CD11c<sup>+</sup>) en sangre, bazo y timo, se han obtenido resultados contradictorios, pues si bien en unos casos los fructanos alteraron dichas subpoblaciones, en otros no produjeron cambios. Al igual que ocurre a nivel intestinal, se han descrito modificaciones en la producción de citoquinas por las células T a nivel sistémico (Grieshop *et al*, 2004; Trushina *et al*, 2005).

### *Mecanismos implicados en la acción de los fructanos sobre el sistema inmune*

Se han postulado diversos mecanismos, directos o indirectos, para explicar los efectos de los fructanos sobre el sistema inmune. En cuanto a los directos, se especula que los fructanos podrían interaccionar, a través de receptores de carbohidratos, con las células inmunes. Los mecanismos indirectos se basan en la capacidad de dichos prebióticos para modular favorablemente la microbiota intestinal e incrementar las concentraciones de los AGCC, los cuales se unirían a los receptores de las células inmunes de los tejidos linfoides del intestino. También se ha observado que el butirato puede alterar la expresión génica de las células epiteliales y, a su vez, modificar la señal que dichas células envían a las células del sistema inmune. (Lomax y Calder, 2009).

Los resultados obtenidos hasta la fecha sugieren que existe una clara correlación entre el consumo de fructanos tipo inulina y el incremento de diversos marcadores de la función inmune, tanto a nivel local intestinal (GALT), como a nivel sistémico. Sin embargo, con la información de que se dispone actualmente no se pueden extraer conclusiones definitivas y, particularmente en el caso de las aves, es un campo en el que son necesarias más investigaciones.

## **Efectos de los fructanos sobre los parámetros productivos de las aves**

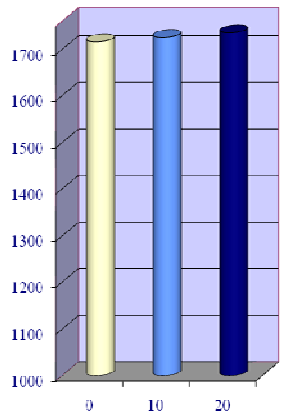
Mejorar la eficiencia productiva es un objetivo de los programas de alimentación animal que, en el caso de los pollos de carne, viene determinado por un mayor aumento del peso vivo de los animales, una reducción del índice de transformación del pienso y/o una disminución de la edad a la cual se alcanza el peso comercial deseable. Un crecimiento rápido no sólo ahorra trabajo y alimento, sino que permite aumentar la producción anual y, por consiguiente, minimizar los costes fijos de producción (Austic y Nesheim, 1990).

Los datos publicados sobre la respuesta productiva de los pollos de carne a la inclusión de fructanos en la ración son escasos y contradictorios. Así, Ammerman *et al.* (1989) encontraron que el aumento de peso vivo de los pollos incrementaba con la inclusión de FOS en la ración a una concentración de 3,75 g/kg. Yusrizal y Chen (2003) observaron que la inulina o los fructooligosacáridos, incorporados a una concentración de 10 g/kg, mejoraban los aumentos de peso vivo y el índice de transformación en las hembras, pero no en los machos. Xu *et al.* (2003) también observaron mejoras en los aumentos de peso vivo cuando se añadían FOS a la dieta control (4 g/kg).

En contraste, Waldroup *et al.* (1993) y Williams *et al.* (2008), empleando FOS a niveles de 3,7 y 0,6 g/kg, respectivamente; Biggs *et al.* (2007), suplementando con inulina o FOS a concentraciones de 4 y 8 g/kg; y Rehman *et al.* (2007, 2008) incluyendo 10 g/kg de inulina, no observaron ningún efecto positivo sobre el rendimiento productivo de los pollos.

En diferentes ensayos realizados recientemente por nuestro equipo de investigación (Ortiz *et al.*, 2009; Rebolé *et al.*, 2010; Velasco *et al.*, 2010b), en los que se incluía inulina a niveles crecientes de 5 a 20 g/kg en las raciones de pollos broiler de 1 a 35 días de edad, se obtuvieron resultados variables en función de las distintas condiciones experimentales de los ensayos, como queda patente en las Figuras 1 y 2.

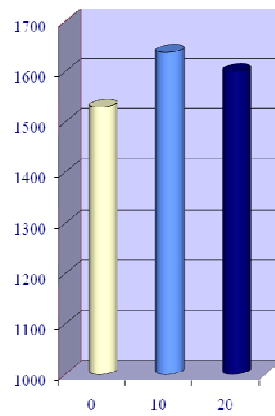
Aumento de peso vivo (g) de 1 a 35



Nivel de inulina (g/kg)

**A**

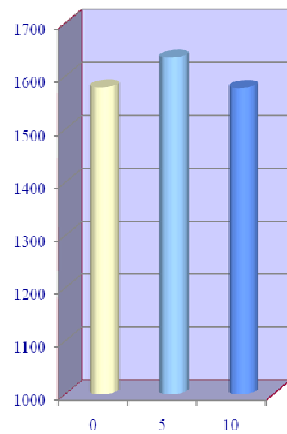
Aumento de peso vivo (g) de 7 a 35 d



Nivel de inulina (g/kg)

**B**

Aumento de peso vivo (g) de 1 a 35



Nivel de inulina (g/kg)

**C**

Figura 1. Efecto de niveles crecientes de inulina en el pienso sobre los aumentos de peso vivo en pollos de carne. A: machos, ración control maíz-soja, B: machos, ración control trigo-cebada-soja, C: hembras, ración control maíz-soja.

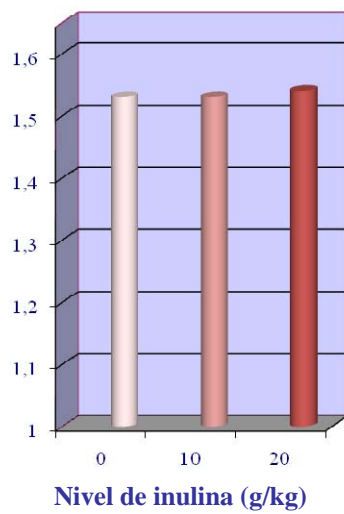
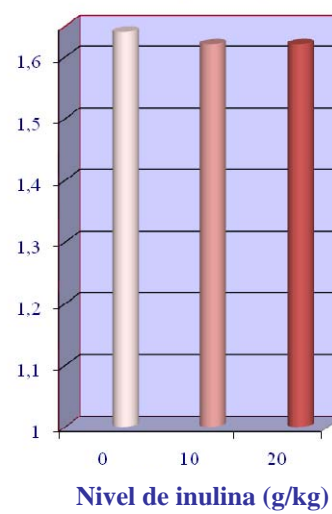
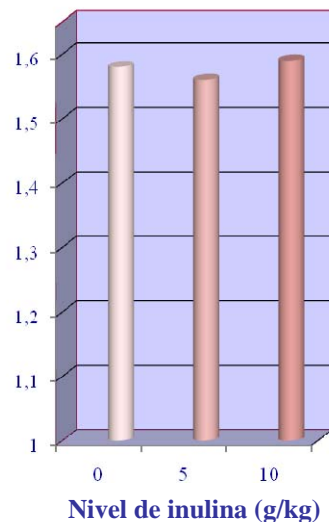
**Índice de transformación (1 a 35 d)****A****Índice de transformación (7 a 35 d)****B****Índice de transformación (1 a 35 d)****C**

Figura 2. Efecto de niveles crecientes de inulina en el pienso sobre los índices de transformación, en pollos de carne. A: machos, ración control maíz-soja, B: machos, ración control trigo-cebada-soja, C: hembras, ración control maíz-soja.

Como conclusión, aunque son necesarias más investigaciones, los estudios realizados sobre los efectos sistémicos en aves parecen indicar que los prebióticos tipo inulina reducen la deposición de grasa abdominal y tienen una acción hipolipemiante, además de favorecer la retención de minerales (especialmente del Ca) y estimular la respuesta inmune.

En lo que respecta a la efectividad de la inulina o los FOS para mejorar la productividad de los pollos de carne, ésta parece depender de varios factores, como ya han indicado diversos investigadores (Patterson y Burkholder, 2003; Verdonk *et al.*, 2005). Variables como la concentración del prebiótico, el tipo de ración, las características de los animales (entre ellas, el sexo) y, sobre todo, las condiciones higiénicas y de estrés medioambiental, pueden influir sobre la respuesta de los pollos a los fructanos del tipo de la inulina.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ammerman, E, Quarles, C y Twining, PV. 1989. Evaluation of fructooligosaccharides on performance and carcass yield of male broilers. *Poult. Sci.* 68 (Suppl. 1): 167 (Abstr.).
- Austic, RE y Nesheim, MC. 1990. Poultry Production. 13th ed. Lea & Febiger 200 Chesterfield Parkway, Malvern, P.A. Chesterfield Parkway, Malvern, PA.
- Battilana, P, Ornstein, K, Minehira, K, Schwarz, JM, Acheson, K, Schneiter, P, Burri, J, Jequier, E y Tappy, L. 2001. Mechanisms of action of beta-glucan in postprandial glucose metabolism in healthy men. *Eur. J. Clin. Nutr.* 55: 327-333
- Befus, AD, Johnston, N, Leslie, GA y Bienenstock, J. 1980. Gut-associated lymphoid tissue in chicken. I. Morphology, ontogeny and some functional characteristics of Peyer's patches. *J. Immunol.* 125: 2626-2632.
- Biggs, P, Parsons, CM y Fahey, GC. 2007. The effects of several oligosaccharides on growth performance, nutrient digestibilities, and cecal microbial populations in young chicks. *Poult. Sci.* 86: 2327-2336.
- Cheng, HH y Lai, MH. 2000. Fermentation of resistant starch produces propionate reducing serum and hepatic cholesterol in rats. *J. Nutr.* 130: 1991-1995.
- Daubioul, CA, Taper, HS, De Wispelaere, LD y Delzenne, NM. 2000. Dietary oligofructose lessens hepatic steatosis, but does not prevent hypertriglyceridemia in obese Zucker rats. *J. Nutr.* 130: 1314-1319.
- Delzenne, NM. 1999. The hypolipidaemic effect of inulin when animal studies help to approach the human problems. *Br. J. Nutr.* 82: 3-4.
- Delzenne, NM y Kok, N. 2001. Effects of fructans-type prebiotics on lipid metabolism. *Am. J. Clin. Nutr.* 73 (2 Suppl): 456S- 458S.

- Delzenne, N y Williams, C. 2002. Prebiotics and lipid metabolism. *Curr. Opin. Lipidol.* 13: 61-67.
- Delzenne, N, Aertssens, J, Verplaetse, H, Roccaro, M y Roberfroid, M. 1995. Effect of fermentable fructo-oligosaccharides on mineral, nitrogen and energy digestive balance in the rat. *Life Sci.* 57: 1579-1587.
- Field, CJ, McBurney, MI, Massimo, S, Hayek, MG y Sunvold, GD. 1999. The fermentable fiber content of the diet alters the function and composition of canine gut associated lymphoid tissue. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 72: 325-341.
- Grieshop, CM, Flickinger, EA, Bruce, KJ, Patil, AR, Czarnecki-Maulden, GL y Fahey, GC. 2004. Gastrointestinal and immunological responses of senior dogs to chicory and mannan-oligosaccharides. *Arch. Anim. Nutr.* 58: 483-493.
- Hosono, A, Ozawa, A, Kato, R. 2003. Dietary fructooligosaccharides induce immunoregulation of intestinal IgA secretion by murine Peyer's patch cells. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 67: 758-764.
- Janardhana, V, Broadway, MM, Bruce, MP, Lowenthal, JW, Geier, MS, Hughes, RJ y Bean, AGD. 2009. Prebiotics modulate immune responses in the gut-associated lymphoid tissue of chickens. *J. Nutr.* 139: 1404-1409.
- Kelly-Quagliana, K Nelson, P y Buddington, R. 2003. Dietary oligofructose and inulin modulate immune functions in mice. *Nutr. Res.* 23: 257-267.
- Knapper, JM, Puddicombe, SM, Morgan, LM y Fletcher, JM. 1995. Investigations into actions of glucose-dependent insulintropic polypeptide and glucagon-like peptide 1 (7-36 amide) on lipoprotein lipase activity in explants of rat adipose tissue. *J. Nutr.* 125: 183-188.
- Kok N, Morgan, LM, Williams, CM, Roberfroid, MB, Thissen, JP y Delzenne, NM. 1998. Insulin, glucagon-like peptide 1, glucose-dependent insulintropic polypeptide and insulin-like growth factor I as putative mediators of the hypolipidemic effect of oligofructose in rats. *J. Nutr.* 128: 1099-1103.
- Levrat, MA, Rémésy, C y Demigné C. 1991. High propionic acid fermentation and mineral accumulation in the cecum of rats adapted to different levels of inulin. *J. Nutr.* 121: 1730-1737.
- Lomax, AR y Calder, PC. 2009. Prebiotics, immune function, infection and inflammation: a review of the evidence. *Br. J. Nutr.* 101: 633-658.

- Manhart, N, Sppitler, A, Bargmeister, H, Mittlbock, M y Roth, E. 2003. Influence of fructooligosaccharides on Peyer's patch lymphocyte numbers in healthy and endotoxemic mice. *Nutr.* 19: 657-660.
- Morgan, LM. 1996. The metabolic role of GIP: physiology and pathology. *Biochem. Soc. Trans.* 24: 585-591.
- Nakamura, Y, Nosaka, S, Suzuki, M. 2004. Dietary fructooligosaccharides up-regulate immunoglobulin A response and polymeric immunoglobulin receptor expression in intestines of infant mice. *Clin. Exp. Immunol.* 137: 52-58.
- Ohta, A, Osakabe, N, Yamada, K, Saito, Y e Hidaka, H. 1993 Effects of fructooligosaccharides and other saccharides on Ca, Mg and P absorption in rats. *J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci.* 46: 123-129.
- Ohta, A, Baba, S, Takizawa, T y Adachi, T. 1994. Effects of fructooligosaccharides on the absorption of magnesium in the magnesium-deficient rat model. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 40: 171-180.
- Ohta, A, Ohtsuki, M, Baba, S, Adachi, T, Sakata, T. y Sakaguchi, E. 1995. Calcium and magnesium absorption from the colon and rectum are increased in rats fed fructooligosaccharides. *J. Nutr.* 125: 2417-2424.
- Ohta, A, Baba, S, Ohtsuki, M, Hirayama, M y Adachi, T. 1998a Comparison of the nutritional effects of FOS of different sugar chain length in rats. *Nutr. Res.* 18: 109-120.
- Ohta, A, Ohtsuki, M, Hosono, A, Adachi, T, Hara, H y Sakata, T. 1998b. Dietary fructooligosaccharides prevent osteopenia after gastrectomy in rats. *J. Nutr.* 128: 106-110.
- Ohta, A, Sakai, K, Takasaki, M, Uehara, M, Tokunaga, T y Adachi, T. 1999. Dietary heme iron does not prevent postgastrectomy anemia but fructooligosaccharides improve bioavailability of heme iron in rats. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 69: 348-355.
- Ortiz LT, Rodríguez ML, Alzueta C, Rebolé A y Treviño J. 2009. Effect of inulin on growth performance, intestinal tract sizes, mineral retention and tibial bone mineralisation in broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 50: 325- 332.
- Patterson, J y Burkholder, K. 2003. Application of prebiotics and probiotics in poultry production. *Poult. Sci.* 82: 627-631.
- Rebolé, A, Ortiz, LT, Rodríguez, ML, Alzueta, C, Treviño, J, Velasco, S. 2010. Effects of inulin and enzyme complex, individually or in combination, on growth performance, intestinal microflora, cecal fermentation characteristics, and jejunal histomorphology in broiler chickens fed a wheat- and barley-based diet. *Poult. Sci.* 89: 276-286.

- Rehman, H, Rosenkranz, C, Bölem, J y Zentek, J. 2007. Dietary inulin affects the morphology but not the sodium dependent glucose and glutamine transport in the jejunum of broilers. *Poult. Sci.* 86: 118-122.
- Rehman, H, Hellweg, P, Taras, D y Zentek, J. 2008. Effects of dietary inulin on the intestinal short-chain fatty acids and microbial ecology in broiler chickens as revealed by denaturing gradient gel electrophoresis. *Poult. Sci.* 87: 783-789.
- Roberfroid, MB. 2005. Inulin-Type Fructans: Functional Food Ingredients. CRC Press. Boca Ratón, Florida (EEUU), 359 pp.
- RuiLin, H, ZheYuan, D, ChengBo, Y, YuLong, Y, MingYong, X, GuoYao, W, TieYun, L, LiLi, L, ZhiRu, T, Ping, K, ZhengPing, H, Dun, D, Hua, X, XiangFeng, K y Yuming, G. 2007. Dietary oligochitosan supplementation enhances immune status of broilers. *J. Sci. Food Agric.* 87: 153-159.
- Scholz-Ahrens, KE y Schrezenmeir, J. 2002. Effect of oligofructose or dietary calcium on repeated calcium and phosphorus balances, bone mineralization and trabecular structure in ovariectomized rats. *Br. J. Nutr.* 88: 365-377.
- Sharma, JM. 2003. The avian immune system. En: Diseases of Poultry. Ames: YM Saif, ed Iowa State University, pp. 5-16.
- Silva, VK, Silva, JDT da, Torres, KAA, Faria Filho, DE, de Hada, FH y de Moraes, VMB. 2009. Humoral immune response of broilers fed diets containing yeast extract and prebiotics in the prestarter phase and raised at different temperatures. *J. Appl. Poult. Res.* 18: 530-540.
- St-Onge, MP, Farnworth, ER y Jones, PJ. 2000. Consumption of fermented and non fermented dairy products: effects on cholesterol concentrations and metabolism. *Am. J. Clin. Nutr.* 71: 674-681.
- Trushina, EN., Martynova, EA, Nikitiuk, DB, Mustafina, OK y Baigarin, EK. 2005. The influence of dietary inulin and oligofructose on the cell-mediated and humoral immunity in rats. *Vopr. Pitan.* 74: 22-27.
- Velasco, S, Rodriguez, ML, Alzueta, C, Rebolé, A, y Ortiz, LT. 2010a. La aplicación de prebióticos tipo inulina en alimentación aviar. I. Características y efectos a nivel intestinal. *Rev. Compl. Cienc. Vet.* 4: 87-104.
- Velasco, S., Ortiz, LT, Alzueta, C, Rebolé, A, Treviño, J y Rodriguez, ML. 2010b. Effect of inulin supplementation and dietary fat source on performance, blood serum metabolites, liver lipids, abdominal fat deposition, and tissue fatty acid composition in broiler chickens. *Poult. Sci.* 89: 1651–1662.



- Verdonk, JM, Shim, SB, van Leeuwen, P, Verstegen, MW. 2005. Application of inulin-type fructans in animal feed and pet food. *Br. J. Nutr. Suppl.* 1: S125-38.
- Waldroup, AL, Skinner, JT, Hierholzer, RE, Waldroup, PW. 1993. An evaluation of fructooligosaccharide in diets for broiler chickens and effects on salmonellae contamination of carcasses. *Poult. Sci.* 72: 643-650.
- Williams, CM. 1997. Postprandial lipid metabolism: effects of dietary fatty acids. *Proc. Nutr. Soc.* 6: 679-692.
- Williams, J, Mallet, S, Lacontem, M, Lessire, M y Gabriel, J. 2008. The effects of fructooligosaccharides or whole wheat on the performance and digestive tract of broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 49: 329-339.
- Xu, ZR, Hu, CH, Xia, MS, Zhan, XA, Wang, MQ. 2003. Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poult. Sci.* 82: 1030-1036.
- Yamamoto, Y., Takahashi, Y. y Kawano, M 1999. In vitro digestibility and fermentability of levan and its hypocholesterolemic effects in rats. *J. Nutr. Biochem.* 10: 13-18.
- Yegani, M y Korver, DR. 2008. Factors affecting intestinal health in poultry. *Poult. Sci.* 87: 2052-2063.
- Yusrizal, Y y Chen, TC. 2003. Effect of adding chicory fructans in feed on broiler growth performance, serum cholesterol and intestinal length. *Int. J. Poult. Sci.* 2: 214-219.