



**LOS PREBIÓTICOS TIPO INULINA EN ALIMENTACIÓN AVIAR. I:  
CARACTERÍSTICAS Y EFECTOS A NIVEL INTESTINAL.  
INULIN-TYPE PREBIOTICS IN POULTRY FEEDING. I: CHARACTERISTICS  
AND EFFECTS ON THE GUT**

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

Departamento de Producción Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense,  
28040 Madrid – España. \*Correspondencia: ltortiz@vet.ucm.es

**RESUMEN**

Tras la prohibición por la Unión Europea en 2006 del uso de los antibióticos promotores del crecimiento (APC) en alimentación animal, los investigadores tuvieron que proponer alternativas a los productores de broilers para sustituir estos APC. Los prebióticos se definieron en 1995 como ingredientes alimentarios no digeribles que afectan de manera favorable al hospedador mediante la estimulación del crecimiento de bacterias intestinales beneficiosas. Dentro de los diferentes prebióticos estudiados, la inulina ha destacado debido a los resultados alentadores obtenidos sobre diferentes parámetros. En este trabajo se revisan, en primer lugar, los efectos de los prebióticos del tipo de la inulina sobre el intestino de los broilers, tanto a nivel macroscópico (longitud intestinal) como microscópico (tamaño y densidad de vellosidades y microvellosidades), así como sobre la microbiota intestinal. En segundo lugar, se hace una puesta al día de la información publicada relativa a la influencia de la inclusión de inulina en la ración sobre la digestibilidad de los diferentes nutrientes.

**Palabras clave:** prebióticos, inulina, pollos, broiler, microbiota, morfología intestinal, digestibilidad

**ABSTRACT**

Following the EU ban in 2006 on the use of antibiotic growth promoters (AGP) in animal feeding there was a need to find some alternatives to replace AGP in broiler production. Prebiotics were defined in 1995 as non-digestible food ingredients that favorably affect the host by stimulating the growth of beneficial intestinal bacteria. Among the different

studied prebiotics, the use of inulin has been highlighted in several studies due to the encouraging results obtained on different parameters. This paper reviews, first, the effects of inulin-type prebiotics on intestinal morphology, both on macroscopic (intestinal length) and microscopic (size and density of villi and microvilli) structures and on the intestinal microbiota in the gut of broiler chickens. Finally, there is an update of the published information concerning the influence of the dietary inclusion of inulin on nutrient digestibility.

**Keywords:** prebiotics, inulin, broilers, microbiota, intestinal morphology, digestibility

## INTRODUCCIÓN

Los antibióticos promotores del crecimiento (APC) se han utilizado en Europa en producción animal desde hace varias décadas, ya que daban lugar a una mejora de los índices productivos al controlar la microbiota entérica (Gaggia *et al.*, 2010). La Unión Europea tomó la decisión de prohibir su uso en alimentación animal a partir del 1 de enero de 2006, debido a la posibilidad de generación de resistencias a patógenos de los antibióticos y a las consecuencias negativas sobre la salud y el bienestar animal y la seguridad alimentaria (Gaggia *et al.*, 2010). Ante este hecho surgió la necesidad de investigar para proponer alternativas a los productores de broilers que les permitieran producir animales sanos, mantener los rendimientos productivos y disponer de productos microbiológicamente seguros. Los prebióticos pueden modificar la microbiota intestinal y, por tanto, podrían ser considerados como alternativas potenciales a los APC.

Gibson y Roberfroid (1995) definen los prebióticos como “sustancias o productos que no son absorbidos o hidrolizados durante su tránsito por el aparato digestivo, sirven de sustrato a las bacterias beneficiosas, estimulando su crecimiento y/o su actividad metabólica, alteran la microbiota intestinal de manera favorable para el hospedador e inducen efectos beneficiosos no sólo en el medio intestinal, sino también sistémicos”. Estos mismos autores (Gibson *et al.*, 2004) completaron años más tarde su concepto inicial de prebiótico basándose en diversas investigaciones científicas y establecieron que para clasificar a un ingrediente alimenticio como prebiótico, debe cumplir tres requisitos: 1) resistir la acidez gástrica, la hidrólisis por las enzimas digestivas de los mamíferos y la absorción gastrointestinal; 2) ser fermentado selectivamente por un número limitado de microorganismos potencialmente beneficiosos, localizados principalmente en el colon, estimulando su crecimiento y/o

actividad metabólica; y 3) alterar la microbiota del colon hacia una composición más saludable, incrementando la población de especies sacarolíticas y reduciendo la población de especies patógenas.

Un grupo de investigadores liderados por el profesor Gibson de la Universidad de Reading (Reino Unido) evaluó distintas sustancias candidatas a prebióticos y estimó que las que cumplieran de modo estricto las tres condiciones descritas anteriormente eran: los fructanos (inulina y fructooligosacáridos), los galactooligosacáridos y la lactulosa. No obstante, como prebióticos se han ensayado un mayor número de sustancias que no cumplen estos criterios tan estrictos, sin que se pueda negar su eficacia. Así, los que más se utilizan comercialmente son: fructooligosacáridos (FOS), mananooligosacáridos (MOS), galactooligosacáridos (GOS), transgalactooligosacáridos (TOS), fructanos (inulina) y lactulosa (Gibson *et al.*, 2004; Bhatia y Rani, 2007).

En este trabajo se revisará, fundamentalmente, la información disponible sobre los efectos de los fructanos del tipo de la inulina en la alimentación de las aves, como alternativa posible a los APC, debido a los resultados alentadores obtenidos sobre diferentes parámetros, en especial la estimulación del desarrollo y la actividad de la microbiota beneficiosa del tracto intestinal, principalmente bifidobacterias y, en menor grado, lactobacilos, y la prevención de la colonización de bacterias patógenas (Bailey *et al.*, 1991; Waldroup *et al.*, 1993; Xu *et al.*, 2003).

## **Fructanos**

Los fructanos son carbohidratos de reserva que se localizan en los tejidos vegetativos, sobre todo en la base de los tallos y órganos subterráneos de especies vegetales mono y dicotiledóneas. De acuerdo con su estructura química, los fructanos se definen como aquellos compuestos en los que la mayoría de los enlaces son de tipo fructosil-fructosa (Lewis, 1993), abarcando desde polímeros de alta masa molecular hasta oligómeros tan pequeños como el disacárido inulobiosa. Existe una amplia variedad de fructanos en los vegetales, dependiendo de su estructura: lineal, ramificada o cíclica; tipo de enlace:  $\beta(2,1)$  ó  $\beta(2,6)$ ; longitud de la cadena (grado de polimerización, GP): oligómeros (GP<10) o polímeros (GP>10); y presencia o ausencia de glucosa en el extremo de la cadena.

Los fructanos se pueden clasificar en dos grandes grupos: el de las levanas y el de las inulinas. El grupo de las levanas incluye los fructanos que contienen principal o exclusivamente enlaces  $\beta(2,6)$ -fructosil-fructosa y son, en general, lineales, aunque pueden tener ramificaciones a través de enlaces  $\beta(2,1)$ . Las levanas están presentes en las partes vegetativas de los cereales de invierno (trigo, cebada, avena y centeno) y las gramíneas pratenses perennes (ray-grass, dactilo, festuca, etc.). El grupo de las inulinas incluye los fructanos que contienen principal o exclusivamente enlaces  $\beta(2,1)$ -fructosil-fructosa. También son, en general, lineales pero pueden presentarse igualmente en forma cíclica y con ramificaciones a través de enlaces  $\beta(2,6)$ . Las inulinas de los vegetales tienen una pequeña proporción (1-2%) de ramificación y un GP<200, variable con la especie, las condiciones climáticas y la edad fisiológica de la planta. Estos fructanos del tipo de la inulina están presentes en más de 36.000 vegetales, existiendo una amplia variedad de tipos y concentración según la especie. Las inulinas son los fructanos característicos de las plantas dicotiledóneas, entre las que destaca la familia de las Compuestas, cuyos miembros más representativos son la patata (*Helianthus tuberosus*) y la achicoria (*Cichorium intybus*) (Carpita et al., 1989; Niness et al., 1999).

La mayoría de los productos comerciales actuales que contienen inulina se obtienen de la raíz de la achicoria, que tiene una riqueza en inulina del 16-18% (más del 70% en materia seca) y son una mezcla de fructanos de cadena corta (GP<10) y de cadena larga (GP>10). Otra fuente importante de fructanos es la patata, con una riqueza ligeramente mayor en inulina (17-21%). El término genérico “inulina” se aplica a la mezcla de oligómeros y polímeros originales de la raíz de la achicoria y con un grado de polimerización de entre 2 y 60. Los términos “oligofructosa”, “oligofructanos” o “fructooligosacáridos (FOS)” son sinónimos y se utilizan para identificar, tanto al producto extraído de la inulina de la achicoria mediante hidrólisis enzimática parcial y con un grado de polimerización de 2-7, como al producto sintético obtenido a partir de la sacarosa por acción de fructosidasas procedentes de *Aspergillus niger* y con un grado de polimerización de 2-4 (Roberfroid, 2007).

Los fructanos tipo inulina tienen una serie de efectos beneficiosos cuando se incluyen en la dieta, tanto en el hombre como en los animales, sobre la composición y actividad de la microflora intestinal, la producción de heces, la absorción de Ca y otros minerales, la inmunidad y resistencia a infecciones y la homeostasis lipídica. Además, estos carbohidratos también reducen el riesgo de determinadas enfermedades como las infecciones intestinales, la

enfermedad inflamatoria intestinal, el cáncer de colon, la osteoporosis y la obesidad. Estos efectos beneficiosos se han atribuido a su característica estructura química y a sus propiedades fermentativas (Roberfroid, 2007). Los enlaces  $\beta$ -glicosídicos de los fructanos tipo inulina son resistentes a la hidrólisis por las enzimas digestivas de los mamíferos y las aves, que sólo hidrolizan los enlaces  $\alpha$ -glicosídicos, impidiendo su absorción a través de la pared intestinal (a excepción de los de GP 2 y 3), y llegando, por lo tanto, intactos al intestino grueso (Niness *et al.*, 1999; Roberfroid *et al.*, 1998). Los fructanos tipo inulina pueden ser considerados carbohidratos no digestibles y, por tanto, parte de la fibra dietética. Sin embargo, su influencia sobre la función intestinal no es atribuible a sus propiedades físico-químicas, como ocurre con otros componentes de la fibra dietética, sino a sus efectos fisiológicos y a sus propiedades fermentativas específicas (Roberfroid, 2007).

### **Fermentación de los fructanos tipo inulina en el intestino**

Una vez en el intestino grueso, los fructanos fermentan por acción de la microbiota intestinal dando lugar a ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como los ácidos acético, propiónico y butírico, y ácido láctico, que se absorben fácilmente en el colon (sólo el 5-10% se excreta en las heces) y alcanzan la circulación sistémica. En general, la concentración de los ácidos acético, propiónico y butírico está en relación 60:20:20, pero como consecuencia de la fermentación de los fructanos se modifica a favor del ácido butírico, el más activo fisiológicamente. Este incremento en los AGCC produce una disminución del pH que da lugar a una reducción de bacterias proteolíticas pertenecientes a los géneros *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Salmonella*, entre las que se pueden encontrar algunas especies patógenas, así como de *Escherichia coli*. Al mismo tiempo, se aprecia un aumento del número de bacterias intestinales sacarolíticas pertenecientes a los géneros *Bifidobacterium* y *Lactobacillus* que, generalmente, se han asociado con efectos beneficiosos para la salud (Xu *et al.*, 2003). Es decir, el proceso de fermentación de los fructanos en el colon es selectivo, pues se altera la microbiota hacia una composición más saludable.

Los fructanos de cadena larga son más resistentes que los de cadena más corta a la fermentación sacarolítica en el colon proximal (Roberfroid *et al.*, 1998), progresando su fermentación durante el tránsito por todo el intestino grueso y continuando en el segmento transversal e, incluso, en la parte distal. Por consiguiente, al tener mayor GP, la inulina necesita más tiempo que los FOS para su fermentación, produciéndose una mayor hidrólisis

de la inulina en el colon distal. Este hecho permite la proliferación de las bacterias sacarolíticas en este segmento, que es donde, normalmente, dominan los microorganismos proteolíticos. Por ello, se considera que los fructanos de cadena larga, como la inulina, tienen efectos beneficiosos más pronunciados que los de cadena más corta, en cuanto al efecto sobre la microbiota del colon. En estudios hechos en el hombre se ha demostrado que la combinación de fructanos de cadena corta y fructanos de cadena larga es fisiológicamente más activa que las fracciones individuales, manifestándose los efectos beneficiosos no sólo en el colon proximal, sino también en el distal (Van Loo, 2004). La adición de oligofructosa incrementa, principalmente, la concentración de bífidobacterias, en tanto que la adición de inulina estimula el crecimiento de lactobacilos (Van de Wiele *et al.*, 2006)

En las aves, aunque los estudios son escasos, se ha observado igualmente que la inulina tiene capacidad para alterar el patrón de fermentación en los últimos tramos del intestino y, principalmente, en los ciegos. Así, Rebolé *et al.* (2010) comprobaron en pollos broiler que la inclusión de inulina en el pienso (10 g/kg) favorecía el incremento de la concentración cecal de los ácidos butírico y láctico, así como el de la relación ácido butírico/ácido acético.

### **Efectos de los fructanos tipo inulina en el intestino**

La capacidad del intestino para absorber alimento, y en parte también para digerirlo, está determinada por varios parámetros: longitud del intestino, tamaño, densidad y disposición de las vellosidades intestinales, y tamaño y densidad de las microvellosidades de los enterocitos (Milles *et al.*, 2006). Se ha postulado que los prebióticos, y más concretamente los fructanos, podrían afectar al desarrollo intestinal, tanto a nivel macroscópico (longitud del intestino), como microscópico (tamaño y densidad de vellosidades y microvellosidades).

#### *Efecto sobre la longitud intestinal*

Diversas investigaciones sustentan la idea de que el uso de prebióticos puede producir un incremento de la altura de las vellosidades intestinales, así como de la propia longitud del intestino (Parker, 1974; Fuller, 1989; Goldin, 1998; Sanders, 1999). En el caso concreto de los fructanos, Yusrizal y Chen (2003) evaluaron los efectos de la inclusión de FOS e inulina en el pienso (1 g/kg) sobre las características intestinales de los pollos (42 días de edad),

evidenciando que la oligofruktosa aumenta la longitud tanto del intestino delgado como del grueso y que ambos prebióticos incrementan la densidad de las vellosidades en el yeyuno. Sin embargo, la inulina (1 g/kg) no afecta a la longitud relativa, ni al peso relativo de los diferentes segmentos intestinales (duodeno, yeyuno, íleon y ciegos), hecho que también fue observado posteriormente por Ortiz *et al.* (2009) al estudiar la inclusión de inulina en el pienso en concentraciones de 5 a 20 g/kg.

Es bien conocido que ciertos componentes de las raciones de los pollos, como por ejemplo determinados polisacáridos no digestibles, pueden favorecer el desarrollo del tracto intestinal, debido a su gran capacidad de retención de agua, lo cual incrementa la viscosidad del quimo y, por tanto, el tiempo de permanencia del alimento en el intestino (Brenes *et al.*, 1993; Parsaie *et al.*, 2007). Sin embargo, la inulina, aunque posee una alta solubilidad en agua, tiene muy poca capacidad para incrementar la viscosidad de la digesta (Schneeman, 1999). Por otra parte, algunos autores consideran que el incremento en la concentración de AGCC derivado de la fermentación de los fructanos, podría producir una hiperplasia de la mucosa y un incremento del espesor de la pared intestinal (Oku *et al.*, 1984; Campbell *et al.*, 1997; Révész *et al.*, 1993).

#### *Efecto sobre el tamaño y densidad de las vellosidades*

La estructura de la mucosa intestinal revela información muy útil sobre la fisiología del intestino. Así, una mayor altura de las vellosidades intestinales se traduce en un aumento no sólo de la superficie intestinal, sino también, de la actividad de las enzimas del borde en cepillo y de los sistemas de transporte de nutrientes (Pluske *et al.*, 1996), lo que da lugar a una activación de las funciones de digestión y absorción.

Las células epiteliales de la mucosa intestinal se originan en las criptas de Lieberkühn y migran a lo largo de la superficie de las vellosidades hasta la parte superior de éstas, siendo expulsadas al lumen en 48-96 h (Imondi y Bird, 1966; Potten, 1998). La descamación o inflamación provocada por bacterias patógenas o sus toxinas da lugar a un aumento de la tasa de renovación para lograr la regeneración de las vellosidades, lo cual se asocia con una mayor profundidad de las criptas (Yason *et al.*, 1987). A mayor tasa de renovación, mayor consumo de energía y proteína para el mantenimiento del intestino, disminuyendo la eficiencia productiva del animal (Xu *et al.*, 2003). Teniendo en cuenta estas observaciones, no es de

extrañar que en muchas de las investigaciones llevadas a cabo sobre los efectos de los fructanos y otros prebióticos se hayan incluido estudios histomorfométricos de la mucosa intestinal. En este sentido se ha observado un incremento de la longitud de las vellosidades en pollos alimentados con pienso suplementado con FOS (1- 4 g/kg) (Sonmez y Eren, 1999; Xu *et al.*, 2003) y MOS (1 g/kg) (Sonmez y Eren, 1999; Iji *et al.*, 2001; Baurhoo *et al.*, 2007). Por el contrario, Williams *et al.* (2008) indicaron que la estructura del intestino de los pollos no se modifica con la suplementación de la ración con FOS (0,6 g/kg), en coincidencia con lo hallado por Catala-Gregori *et al.* (2007), mientras que Yang *et al.* (2008) encontraron una disminución en la profundidad de las criptas al suplementar la dieta de los pollos con 2 g/kg de MOS.

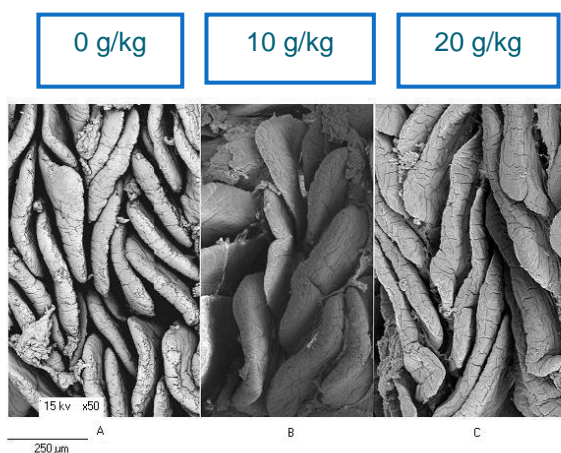
Rebolé *et al.* (2010) observaron un incremento en el cociente longitud de la vellosidad/profundidad de la cripta en pollos alimentados con una ración suplementada con inulina (10 g/kg), en comparación con el grupo control. En cambio, Rehman *et al.* (2007a) constataron que en los pollos que consumían inulina la longitud de las vellosidades y la profundidad de las criptas de la mucosa del yeyuno aumentaba, pero no se modificaba el cociente longitud de la vellosidad/profundidad de la cripta.

Algunos autores han relacionado estos cambios en las vellosidades con variaciones en la concentración de AGCC en el intestino. Williams *et al.* (2001) señalaron que la formación de AGCC a partir de los carbohidratos fermentables es importante para el mantenimiento de la morfología e integridad funcional del epitelio del colon. En los pollos, la suplementación de la ración con inulina da lugar a un incremento en las concentraciones de lactato en el yeyuno y butirato en los ciegos (Rehman *et al.*, 2006). De estos AGCC, al butirato se le atribuye una mayor importancia en relación con la estructura intestinal, ya que se ha demostrado que es un potente estimulador de la división celular. Además, se considera al butirato la principal fuente de energía para los colonocitos, induciendo una mayor proliferación celular en las criptas de Lieberkühn de la mucosa colorrectal e ileal (Topping y Clifton, 2001).

Una técnica particularmente útil para estudiar la densidad y disposición de las vellosidades, es la microscopía electrónica de barrido. Yusrizal y Chen (2003) pusieron de manifiesto que la densidad de las vellosidades es mayor en los pollos alimentados con FOS o inulina (10 g/kg) que en los del grupo control, hecho atribuido al posible efecto trófico de los AGCC y, especialmente, al ya mencionado ácido butírico. Rebolé *et al.* (2010) también



observaron mediante microscopía electrónica de barrido (Figura 1) que el aspecto morfológico de las vellosidades del yeyuno de los pollos que consumían inulina mostraban una disposición en zig-zag, simulando una ola, similar a lo descrito por otros investigadores (Yamauchi e Isshiki, 1991; Pelicano *et al.*, 2005). Las vellosidades organizadas de esta forma son más eficaces para la absorción de nutrientes que las dispuestas en paralelo o al azar, ya que favorecen un mayor contacto entre el quimo y el epitelio de la mucosa intestinal (Yamauchi e Isshiki, 1991).

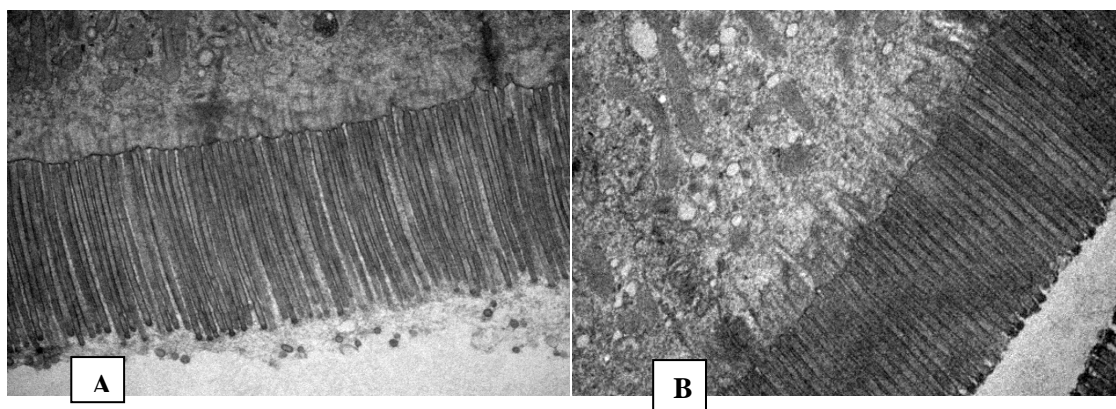


**Figura 1. Imagen de microscopía electrónica de barrido de las vellosidades intestinales en pollos de 35 días de edad, alimentados con pienso suplementado con niveles crecientes de inulina (0, 10 y 20 g/kg de pienso).**

#### *Efecto sobre el tamaño y densidad de las microvellosidades*

El tamaño y la densidad de las microvellosidades es otro factor a tener en cuenta en la capacidad del intestino para digerir y absorber alimento, como ya se ha indicado. Se han realizado muy pocos estudios a este respecto en aves y con resultados no coincidentes. Así, Rebolé *et al.* (2010) en pollos de 35 días de edad no encontraron a nivel del yeyuno modificaciones ni en la longitud, ni en la anchura, ni en la densidad de las microvellosidades por efecto de la incorporación de inulina a la ración (20 g/kg pienso) (Figura 2). Por lo tanto, el factor de amplificación de la superficie intestinal, no mejoró como consecuencia de los cambios producidos en las microvellosidades. Por el contrario, Xu *et al.* (2003) observaron un incremento en la longitud de las microvellosidades del yeyuno en pollos alimentados con una ración suplementada con 4 g/kg de FOS durante 49 días atribuyéndolo, posiblemente, a la

capacidad que tienen los FOS de crear en el intestino un ambiente microbiano más favorable, más que a una acción directa sobre el tejido intestinal.



**Figura 2. Imagen de microscopía electrónica de transmisión de las microvellosidades intestinales en pollos de 35 días de edad alimentados: A) con pienso control y B) con pienso suplementado con inulina (20 g/kg de pienso)**

#### *Efectos sobre la microbiota intestinal*

La microbiota intestinal y su actividad metabólica tienen un importante impacto sobre el proceso digestivo, la utilización del alimento y el desarrollo del animal hospedador. Su composición puede modificarse por varios factores, entre ellos la incorporación de oligosacáridos y polisacáridos no digeribles a la ración que sirven como sustrato para la microbiota intestinal comensal. En el colon, estos carbohidratos fermentables disminuyen la concentración de compuestos derivados del metabolismo putrefactivo y son fuente de energía para la producción de proteína microbiana (Rehman *et al.*, 2007a). Por esta razón es importante la utilización de fructanos en la alimentación aviar con el objetivo de promover el crecimiento de ciertos grupos de bacterias, como bifidobacterias y lactobacilos, capaces de proporcionar nutrientes al hospedador y/o limitar el crecimiento de bacterias potencialmente perjudiciales para el mismo, como algunas cepas de *E. coli*, *Salmonella* spp., *Campilobacter* spp. y *Clostridium perfringens*, por su efecto bacteriostático y bactericida.

El proceso de colonización del tracto digestivo por microorganismos potencialmente patógenos se lleva a cabo a través de las glicoproteínas bacterianas de superficie denominadas “lectinas”, que se caracterizan por tener la capacidad de enlazarse de forma específica y reversible a carbohidratos de superficie localizados en las células epiteliales de la mucosa digestiva. De esta manera, microorganismos como *Salmonella spp.*, *E. coli* o *Vibrio cholerae* que presentan fimbrias de tipo 1, utilizan lectinas con afinidad por la manosa con dicho fin (Sharon y Lis, 1993). Por ello, la utilización de MOS en la alimentación de los pollos es una buena alternativa para reducir la colonización de los ciegos por *Salmonella enteritidis* (Gil de los Santos *et al.*, 2005).

En estudios *in vitro*, los AGCC ejercen un efecto acidificante sobre el quimo que controla el desarrollo de *E. coli*. Se ha constatado, también, menor presencia de *Salmonella* en los ciegos de los broilers al suministrarles un 2,5% de manosa en el agua de bebida. Esto podría ser debido a la gran sensibilidad de *Salmonella spp.* al pH ácido y al ácido propiónico o a la interferencia que podría ejercer la manosa sobre la adhesión de este microorganismo a los receptores de la pared intestinal (Barrow, 1992).

Flickinger *et al.* (2003) realizaron diversos experimentos en los que observaron que la administración de fructanos tipo inulina a broilers disminuía la colonización de potenciales patógenos (*Salmonella spp.*, *E. coli* y *Campilobacter jejuni*). Rebolé *et al.* (2010) comprobaron que la inclusión de inulina (20 g/kg de pienso) determinaba un incremento significativo de bacterias pertenecientes a los géneros *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*, tanto en el íleon como en los ciegos, comparado con el grupo control. Significativamente, a una dosificación de 10 g de inulina/kg de pienso, la concentración de *Lactobacillus* en los ciegos era también más alta.

### **Digestibilidad de nutrientes**

En las aves, los efectos nutritivos de la inclusión de prebióticos en el pienso han sido menos investigados que los relativos a la microbiota intestinal y al control de ciertas patologías gastrointestinales y, por consiguiente, la información disponible es bastante más escasa. A esto se une, además, que los resultados obtenidos difieren según que el aditivo utilizado sea un fructano de cadena corta, como los FOS, o de cadena más larga, como la

inulina o, incluso, que se trate de otro tipo de prebiótico (Niness *et al.*, 1999; Roberfroid *et al.*, 1998).

Los resultados obtenidos por nuestro equipo de investigación en pollos de carne de 21 días (Alzueta *et al.*, 2010) mostraron un incremento significativo de la digestibilidad de la proteína, así como de la digestibilidad ileal de la mayoría de los aminoácidos cuando en el pienso se incluyó inulina a niveles crecientes desde 5 hasta 20 g/kg (Figura 3). Por el contrario, Biggs *et al.* (2007) constataron que un nivel de inclusión de 8 g de inulina/kg de pienso deprimía la digestibilidad de los aminoácidos, mientras que una concentración menor (4 g/kg) no tenía ningún efecto. La discrepancia entre los resultados de estos dos estudios es clara y podría explicarse por la diferente edad de las aves en ambos experimentos (35 días en el segundo caso y 21 días en el primero) y, muy especialmente, por la metodología empleada para determinar la digestibilidad (digestibilidad fecal en el caso de Biggs *et al.*, 2007, mientras que en nuestro se determinó la digestibilidad ileal). Cuando la digestibilidad de los aminoácidos se determina a partir de la excreta, se puede esperar una subestimación de los coeficientes de digestibilidad correspondientes a las raciones que incluyen inulina, debido a la síntesis *de novo* de aminoácidos microbianos como consecuencia del aumento de la microbiota derivada de la fermentación postileal de la inulina.

En el estudio mencionado anteriormente (Alzueta *et al.*, 2010), en relación con la digestibilidad de la grasa y de los principales ácidos grasos (ácidos oleico y linoleico), se observó una respuesta lineal positiva a la inclusión de inulina en el pienso (Fig. 4). En cambio, la digestibilidad ileal del almidón no se modificó en los grupos que consumieron inulina.

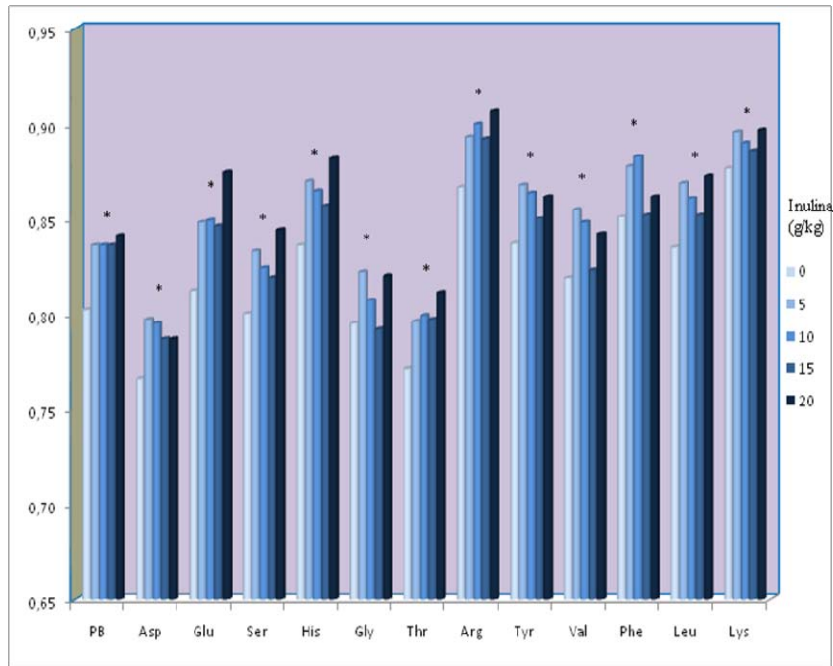


Figura 3. Efecto de niveles crecientes de inulina en el pienso sobre los coeficientes de digestibilidad ileal de la proteína bruta (PB) y los aminoácidos, en pollos de 35 días. \* ( $P < 0,05$ ).

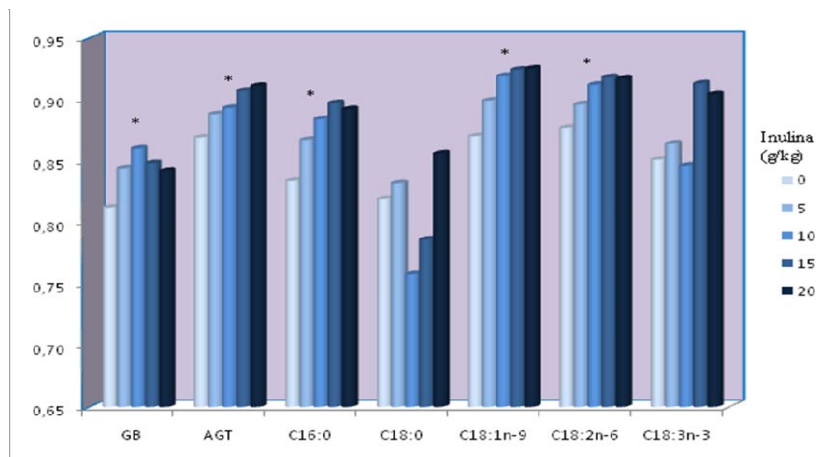


Figura 4. Efecto de niveles crecientes de inulina en el pienso sobre los coeficientes de digestibilidad ileal de la grasa bruta (GB), ácidos grasos totales (AGT) y principales ácidos grasos, en pollos de 35 días. \* ( $P < 0,05$ ).

Aunque no se conoce con precisión el mecanismo mediante el cual la inulina podría aumentar la digestibilidad de la proteína y la grasa, probablemente está relacionado con algunos de los efectos señalados anteriormente y, en particular, con su capacidad para inducir cambios beneficiosos en la microbiota y la estructura de la mucosa intestinal, incluyendo un aumento en la longitud de las vellosidades (Xu *et al.*, 2003; Rehman *et al.*, 2007b). Ello daría lugar a una mayor superficie de absorción y un aumento de la capacidad digestiva y de

absorción de los nutrientes (Cera *et al.*, 1988; Pluske *et al.*, 1997; Maneewan y Yamauchi, 2004).

Puede concluirse que los fructanos tipo inulina estimulan la población de bifidobacterias y lactobacilos en el intestino de los pollos de carne y podrían mejorar la digestibilidad de la proteína y la grasa. Sin embargo, 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 estos prebióticos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alzueta, C, Rodríguez, ML, Ortiz, LT, Rebolé, A y Treviño, J. 2010. Effects of inulin on growth performance, nutrient digestibility and metabolisable energy content in broiler chickens. *Br. Poult. Sci.*, 51(3): 393-398.
- Bailey, JS, Blankenship, LC y Cox, NA. 1991. Effect of fructooligosaccharide on Salmonella colonization on the chicken intestine. *Poult. Sci.*, 70 (12): 2433-2438.
- Barrow, PA. 1992. Probiotics for chickens. En *Probiotics, The Scientific Basis*, Fuller, R. (Ed), pp: 225-257. Chapman & Hall. London.
- Bhatia, A y Rani, U. 2007. Prebiotics and health: Clinical implications. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 1(6): 546-554.
- Baurhoo, B, Phillip, L y Ruiz-Feria, CA. 2007. Effects of purified lignin and mannan oligosaccharides on intestinal integrity and microbial populations in the ceca and litter of broiler chickens. *Poult. Sci.*, 86: 1070-1078.
- Bhatia, A y Rani, U. 2007. Prebiotics and health: Clinical implications. *J. Clin. Diagnostic Res.* 1: 546-554.
- 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.
- Brenes, A, Smith, M, Guenter, W y Marquard, RR. 1993. Effect of enzyme supplementation on the performance and digestive tract size of broiler chickens fed wheat- and barley-based diets. *Poult. Sci.*, 72: 1731-1739.

- Campbell, JM., Fahey Jr, GC y Wolf, BW. 1997. Selected indigestible oligosaccharides affect large bowel mass, cecal and fecal short-chain fatty acids, pH and microflora in rats. *J. Nutr.*, 127: 130-136.
- Carpita N, Kanabus C, Housley J. 1989. Linkage structure of fructans and fructan oligomers from *Triticum aestivum* and *Festuca arundinacea* leaves. *J. Plant Physiol.*, 134:162-168.
- Catala-Gregori P, Mallet, S, Travel A y Lesire, M. 2007. Un extrait de plantes et un prebiotique sont aussi efficaces que l'avilamycine pour ameliorer les performances du poulet de chair. 7<sup>e</sup> Journées de la Reserche Avicole, Tours, France, pp. 202-206.
- Cera, KR, Mahan, DC, Cross, FR, Reinhart, GA y Witmayer, RE. 1988. Effect of age, weaning and posweaning diet on small intestinal growth and jejunal morphology in young swine. *J. Anim. Sci.* 66: 574-584.
- Flickinger, E, van Loo, J y Fahey, G. 2003. Nutritional response to the presence of inulin and oligofructose in the diets of domesticated animals: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 43: 19-60.
- Fuller, R. 1989. Probiotics in man and animals. *J. Appl. Bacteriol.*, 66: 365-378.
- Gaggia, F, Mattarelli, P y Biavati, B. 2010. Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. *Int. J. Food Microbiol.*, 141: S15-S28.
- Gibson, GR. y Roberfroid, MB. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics *J. Nutr.*, 125: 1401-1412.
- Gibson, GR., Probert, HM., van Loo, J, Rastall, RA y Roberfroid, MB. 2004. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutr. Res. Rev.*, 17: 259-275.
- Gil de los Santos, JR, Storch, OB y Gil-Turnes, C. 2005. *Bacillus cereus* var. Toyoi and *Saccharomyces boulardii* increased feed efficiency in broilers infected with *Salmonella enteritidis*. *Br. Poult. Sci.*, 46: 494-497.
- Goldin, BR. 1998. Health benefits of probiotics. *Br. J. Nutr.*, 80: 203-207.
- Iji, PA, Saki, AA y Tivey, DR. 2001. Intestinal structure and function of broiler chickens on diets supplemented with a mannanoligosaccharide. *J. Food Sci. Agric.*, 81: 1186-1192.
- Imondi, AR y Bird, FH. 1966. The turnover of intestinal epithelium in the chick. *Poult. Sci.*, 45: 142-147.
- Lewis, DH. 1993. Nomenclature and diagrammatic representation of oligomeric fructans: paper for discussion. *New Phytologist*, 124: 583-594.
- Maneewan, B y Yamauchi, K. 2004. Intestinal villus recovery in chickens refeed semi-purified protein-, fat-, or fibre-free pellet diets. *Br. Poult. Sci.*, 45: 163-170.

- Milles, RD, Butcher, GD, Henry, PR y Littell, RC. 2006. Effect of antibiotic growth promoters on broiler performance, intestinal growth parameters and quantitative morphology. *Poult. Sci.*, 85: 476-485.
- Niness KR. 1999. Inulin and oligofructose: what are they?. *J. Nutr.* 129: 1402S-1406S.
- Oku, T, Tokunaga, T y Hosoya, H. 1984. Non-digestibility of a new sweetener, "Neosugars" in the rat. *J. Nutr.*, 114: 1574-1581.
- Ortiz, LT, Rodríguez, ML, Alzueta, C, Rebolé A y Treviño, J. 2009. Effect of inulin growth performance, intestinal tract sizes, mineral retention and tibial bone mineralisation in broiler chickens. *Br. Poult. Sci.*, 50: 325-332.
- Parker, RB. 1974. Probiotics, the other half of antibiotic story. *Anim. Nutr. Health*, 29: 4-8.
- Parsaie, S, Shariatmadari, F, Zamiri, MJ y Khajeh, MJ. 2007. Influence of wheat based-diets supplemented with xylanase, bile acid and antibiotics on performance, digestive tract measurements and gut morphology of broilers compared with a maize-based diet. *Br. Poult. Sci.*, 48: 594-600.
- Patterson, J. y Burkholder, K. 2003. Application of prebiotics and probiotics in poultry production. *Poult. Sci.*, 82: 627-631.
- Pelicano, ERL, Souza, PA, Souza, HBA, Figueiredo, DF, Biago, MM, Carballo, SR. y Bordon, VF. 2005. Intestinal mucosa development in broiler chickens fed natural growth promoters. *Braz. J. Poult. Sci.*, 7: 221-229.
- Pluske, JR, Tompson, MJ, Atwood, CS, Bird, PH, Williams, IH y Hartmann, PE. 1996. Maintenance of villus height and crypt depth, and enhancement of disaccharide digestion and monosaccharide absorption in piglets fed on cows' whole milk after weaning. *Br. J. Nutr.*, 76: 409-422.
- Pluske, JR, Hampson, DJ y Williams, IH. 1997. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 51: 215-236.
- Potten, CS. 1998. Stem cells in the gastrointestinal epithelium: Numbers characteristics and death. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 353: 821-830.
- Rebolé, A, Ortiz, LT, Rodríguez, M<sup>a</sup>L, Alzueta, C, Treviño, J y 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, Böhm, J y Zentek, J. 2006. Effects of diets with sucrose and inulin on the microbial fermentation in the gastrointestinal tract of broilers. Page 155 in Proc. Soc. Nutr. Physiol., Göttingen, Germany. DLG-Verlag GmbH, Frankfurt, Germany.



- Rehman, H, Rosenkranz, C, Böhm, J y Zentek, J. 2007a. 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., Böhm, J. y Zentek, J. 2007b. Effects of differentially fermentable carbohydrates on the microbial fermentation profile of the gastrointestinal tract of broilers. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 92: 471-480.
- Rémésy, C, Levrat, MA, Gamet, L y Demigné, C. 1993. Faecal fermentation in rats fed oligosaccharides (inulin) are modulated by dietary calcium level. *Am. J. Physiol.*, 264: 855-862.
- Roberfroid MB. 2007. Inulin-type Fructans: Functional Food Ingredients. *J. Nutr.* 137: 2493S-2502S.
- Roberfroid, B, Van Loo, J.A.E y Gibson, G. 1998. The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *J. Nutr.*, 128: 1-9.
- Sanders, M. 1999. Probiotics. *Food Technol.*, 53: 67-77.
- Schneeman, BO. 1999. Fiber, inulin and oligofructose: similarities and differences. *J. Nutr.*, 129 (7S): 1424S-1427S.
- Sharon, N y Lis, H. 1993. Carbohydrates in cell recognition. *Sci. Am.*, 268: 82-89.
- Sonmez, NW y Eren, M. 1999. Effects of supplementation of zinc bacitracin, mannan-oligosaccharides and probiotic into the broiler feeds on morphology of the small intestine. *Vet. Fak. Dergisi Uludag Univ.*, 18: 125-138.
- Topping DL y Clifton MP. 2001. Short chain fatty acids and human colonic functions: Roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. *Physiol. Rev.*, 81: 1031-1064.
- Van de Wiele, T, Beon, N, Possemiers, S, Jacobs, H y Verstraete, W. 2006. Inulin-type-fructans of longer degree of polymerization exert more pronounced in vitro prebiotic effects. *J. Appl. Microbiol.* 102: 452-460.
- Van Loo, J. 2004. The specificity of the interaction with intestinal bacterial fermentation by prebiotics determines their physiological efficacy. *Nutr. Res. Rev.*, 17: 89-98.
- Verdonk, JM, Shim, SB, van Leeuwen, P y Verstegen, MW. 2005. Application of inulin-type fructans in animal feed and pet food. *Br. J. Nutr.*, Supplement 1: S125-38.
- Walldroup, AL, Skinner, JT, Hierholzer, RE y Walldroup, PW. 1993. An evaluation of fructooligosaccharide in diets for broiler chickens and effects on salmonellae contamination of carcasses. *Poult. Sci.*, 72: 643-650.

- Williams, BA, Verstegen, MWA y Tamminga, S. 2001. Fermentation in the large intestine of single-stomached animals and its relationship to animal health. *Nutr. Res. Rev.*, 14: 207-227.
- Williams, J, Mallet, S, Leconte, M, Lessire, M y Gabriel, I. 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 y Wang, MQ. 2003. Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poult. Sci.*, 82: 1030-1036.
- Yamauchi, K E e Isshiki, Y. 1991. Scanning electron microscopic observations in the intestinal villi in growing White Leghorn and broiler chicken from 1 to 30 days of age. *Br. Poult. Sci.*, 32: 67-78.
- Yang, Y, Iji, PA, Kocher, A, Thomson, E, Mikkelsen, LL y Choct, M. 2008. Effects of mannanoligosaccharide in broiler chicken diets on growth performance, energy utilization, nutrient digestibility and intestinal microflora. *Br. Poult. Sci.*, 49: 186-194.
- Yason, CV, Summers, BA y Schat, KA. 1987. Pathogenesis of rotavirus infection in various age groups of chickens and turkeys: Pathology. *Am. J. Vet. Res.*, 6: 927-938.
- 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.