

POTENCIAL DEL ALMIDÓN RESISTENTE RETROGRADADO DE PAPA FRENTE A OTROS ADITIVOS FUNCIONALES USADOS EN POLLOS DE ENGORDE

D. Rodríguez-Aguilar^{1*}, C. J. Ariza-Nieto², G. Afanador-Téllez³

Artículo recibido: 7 de octubre de 2013 · Aprobado: 27 de marzo de 2014

RESUMEN

El almidón resistente retrogradado (AR3) de las variedades de papa Pastusa (*Solanum tuberosum* grupo *tuberosum*) y Guaneña (*Solanum tuberosum* grupo *phureja*) fue evaluado como aditivo funcional con características similares a la fibra dietaria y por su potencial prebiótico en pollos de engorde. Se asignaron aleatoriamente 792 pollos machos Ross de un día de edad a uno de cinco tratamientos experimentales bajo un diseño completamente al azar. Se evaluaron niveles de suplementación de 1,0% de AR3 –Pastusa (AR3P) y Guaneña (AR3G)–, frente a manano-oligosacáridos (MOS, 0,5%), carboximetilcelulosa (CMC, 1%), levadura comercial (LEV, 0,5%) y un control sin suplementar. Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM del programa SAS*. MOS y AR3P mostraron el mayor peso y ganancia de peso corporal al día 42 de edad ($P<0,05$), MOS presentó el menor consumo de alimento frente al tratamiento CMC ($P<0,05$), con una mejor conversión alimenticia comparado con CMC y el control sin suplementar ($P<0,05$). Los grupos AR3P y AR3G tuvieron un comportamiento intermedio para la conversión de alimento. El mayor porcentaje de eficiencia americana e índice de productividad fue para MOS, seguido de AR3P frente al control sin suplementar ($P<0,05$). Con referencia al ingreso neto parcial por pollo fraccionado, MOS mostró el mayor ingreso comparado con AR3G, observando para los demás tratamientos un comportamiento intermedio ($P<0,05$). Los resultados sugieren que el AR3P tiene potencial para ser usado como un aditivo funcional en dietas para pollos de engorde durante un ciclo comercial de producción.

Palabras clave: almidón resistente, fibra dietaria, *Solanum tuberosum*, *S. phureja*.

POTENTIAL OF POTATO RETROGRADED RESISTANT STARCH FOREHEAD WITH OTHER FUNCTIONAL ADDITIVE USED IN BROILER CHICKENS

ABSTRACT

The retrograded resistant starch (RS3) of potato varieties: Pastusa (*Solanum tuberosum tuberosum* group) and Guaneña (*Solanum tuberosum phureja* group) was evaluated as an additive in the diet of broilers for its functional characteristics similar to dietary fiber and

¹ Maestría en Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Cr. 30 nro. 45-07, Bogotá (Colombia).

² Laboratorio de Nutrición Animal CBB, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), km 14 Vía Bogotá – Mosquera (Colombia).

³ Departamento de Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Cr. 30 nro. 45-07, Bogotá (Colombia).

* Autor para correspondencia: derodriguezag@unal.edu.co

as a potential prebiotic. A total of 792 one-day-old Ross male broilers were randomly allotted to one of the five treatment groups: Pastusa (AR3P, 1%), Guaneña (AR3G, 1%), mannan-oligosaccharides (MOS, 0.5%), carboxymethylcellulose (CMC, 1%), commercial yeast, 0.5%, and control without supplementation. Data were analyzed under a completely randomized design using the GLM procedure of SAS. MOS and AR3P showed the greatest body weight and body weight gain at day 42 of age ($P < 0.05$). MOS had the lowest feed intake compared with CMC ($P < 0.05$) and feed conversion compared to CMC and control group without supplementation ($P < 0.05$). AR3P and AR3G showed an intermediate performance for feed conversion. The highest percentage of American efficiency and productivity index were for MOS and AR3P when compared to the control group ($P < 0.05$). MOS showed the highest partial net income when compared to AR3G. The results suggest that the AR3P shows a potential as a functional additive for broilers during a commercial production cycle.

Key words: Resistant starch, dietary fiber, *Solanum tuberosum*, *S. phureja*.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria avícola ha venido de la mano con avances en la investigación y la validación de diferentes desarrollos tecnológicos en una gran variedad de contextos de producción, cuyo objetivo ha sido optimizar la expresión del potencial genético de las diferentes estirpes, mediante la implementación de sistemas de alimentación con impacto positivo en diferentes tipos de indicadores: biológicos, económicos y ambientales (Talpaz *et al.* 1988; Castrodeza *et al.* 2005). En Colombia, la avicultura es un renglón relevante para el PIB nacional; específicamente, la industria avícola productora de carne de pollo ha mostrado parámetros de productividad que se encuentran dentro de estándares internacionales que la ubican en el sexto lugar a nivel continental (Conpes 2007). Con referencia al consumo *per cápita* de carne de pollo, si bien es relativamente bajo (20 kg/persona/año) frente a países como Estados Unidos (43 kg/persona/año) o Brasil (31 kg/persona/año), brinda la posibilidad de expandir la producción interna (Espinal *et al.* 2005),

sin descuidar las exigencias actuales de un consumidor global, orientadas a la búsqueda de productos inocuos, sanos y con alto valor nutritivo.

La fibra dietaria se define clásicamente como un polisacárido no amiláceo (PNA) que no se digiere en el intestino delgado y llega al colon para ser fermentado. Sin embargo, actualmente se conocen otros oligosacáridos resistentes y carbohidratos análogos que pueden ser incluidos dentro de esta definición, como es el caso del almidón resistente (Gibson *et al.* 1996; Champ *et al.* 2003; Sharma *et al.* 2008). El almidón resistente (AR) ha sido clasificado en cuatro grupos: el AR1 que constituye el almidón de difícil acceso físico, el AR2 que son los gránulos de almidón no gelatinizados, el AR3 es el almidón retrogradado y finalmente el AR4, conformado por el almidón modificado químicamente, los cuales han recibido mucha atención, tanto por sus potenciales beneficios para la salud, como por sus propiedades funcionales. Éstos influyen de manera positiva en el funcionamiento del tracto digestivo, la dinámica de la microflora, los niveles de

colesterol en sangre, el índice glicémico y en el control de la diabetes en los humanos (Fuentes-Zaragoza *et al.* 2010). Las concentraciones de AR pueden variar durante el procesamiento, almacenamiento y el consumo del alimento (Bello-Pérez y Paredes-López 2009), como ocurre en el caso de la papa con el paso del AR2 a AR3, mediante la retrogradación y posterior enfriamiento. Sin embargo, las respuestas entre especies pueden ser diferenciales (Bird y Topping 2001).

El potencial nutracéutico del AR está relacionado con la reducción de la digestibilidad por la presencia de enzimas digestivas tales como la alfa-amilasa, la isoamilasa y la pulanasa, que presentan una tasa más lenta de fermentación y un perfil de ácidos grasos volátiles (AGV) característico frente a la mayoría de las fibras dietarias, dentro del cual se destaca el butirato, como principal nutriente de los colonocitos (Bello-Pérez y Paredes-López 2009). Cuando se logra optimizar la absorción de nutrientes, se influye de manera positiva sobre la funcionalidad de la barrera intestinal y la microflora presentes, brindando un mejor ambiente intestinal (Adams 2004; Wenk 2003). Con el AR3 se puede alcanzar una disminución de los costos de mantenimiento del tracto gastrointestinal y una mejora de la respuesta inmune, obteniendo una mejor productividad y eficiencia en la producción de carne de pollo (Van der Klis y Jansman 2002).

La potencialidad del almidón resistente retrogradado de papa en los escenarios descritos no ha sido estudiada en pollos de engorde. Este estudio evaluó la influencia del almidón resistente retrogradado (AR3) de las variedades de papa Guaneña y Pastusa, sobre la respuesta del crecimiento, los parámetros productivos y la valoración

económica de su inclusión como posible aditivo funcional en sistemas de alimentación de pollos de engorde, durante un ciclo completo de producción comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Comité de bioética animal

El estudio fue sujeto a evaluación y aprobación para su realización por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia, Acta No. 002 de 2009.

Localización

Este estudio se realizó en las instalaciones avícolas de la Corporación Agropecuaria Colombiana Corpoica, en el Centro de Investigación Tibaitatá, ubicado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca). Este centro de investigación se localiza a 2.650 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 14°C y humedad relativa promedio de 76%.

Animales y alojamiento

Se utilizaron 792 pollos machos de un día de edad de la estirpe Ross provenientes de un mismo lote, bajo condiciones similares de manejo y ambiente. Del día 1 al 21 de edad se alojaron 44 aves por cada corral (1,5 x 2,0 m) en piso, con cama de viruta reutilizada, siendo cada corral una réplica experimental (3 réplicas por tratamiento). Una criadora a gas fue compartida entre dos corrales y cada uno contó, durante las dos primeras semanas de edad, con tres comederos BB y un bebedero automático de campana. Al día 14 de edad se colocaron dos comederos de tolva por cada corral hasta el final del estudio. La temperatura inicial de recepción fue de

35°C y fue disminuyendo gradualmente cada semana hasta alcanzar el promedio de la temperatura ambiente. Se manejó iluminación continua durante la primera semana de edad y 16 horas a partir del día ocho de edad. Al día 21 de edad, los animales de cada corral fueron divididos en dos grupos, cada uno de 20 animales con un promedio de peso corporal similar entre grupo, para tener un total de 36 corrales experimentales, siendo cada corral una réplica experimental (6 réplicas por tratamiento). Las aves tuvieron acceso libre al agua de bebida y al alimento durante la totalidad del experimento.

Tratamientos experimentales

Las aves fueron distribuidas de manera aleatoria en seis tratamientos experimentales y fueron alimentadas bajo un sistema de alimentación por fases, así:

- *Iniciación*, del 1^{er}. al 21^o. días de edad (2950 kcal de Energía Metabolizable Aparente [EMA/kg], 22% de Proteína Cruda [PC] y 1,21% lisina digestible),
- *Crecimiento*, del 22^o. al 35^o. días de edad (3050 kcal de EMA/kg, 19% de PC y 1,08% de lisina digestible), y
- *Finalización*, del 36^o. al 42^o. días de edad (3150 kcal de EMA/kg, 18% de PC y 0,89% de lisina digestible).

Los anteriores perfiles se establecieron según los requerimientos nutricionales definidos para cada fase por las Tablas Brasileñas de Alimentación (Rostagno 2005) (Tablas 1 y 2).

Los tratamientos experimentales utilizados fueron: 1) Control sin suplementar; 2) Manano oligosacáridos (MOS); 3) Levadura comercial (Levapan®), ambos a una inclusión de 0,5 %; 4) Carboximetil celulosa (CMC) al 1,0% de inclusión;

5) AR3 de papa Guaneña (AR3G) y 6) AR3 de papa Pastusa (AR3P) con un nivel de inclusión 1,0%. En el caso del AR3 de papa se trabajó con un almidón sometido a proceso de retrogradación con una concentración de AR3 de 18,0% para la variedad Pastusa y de 18,7% para la variedad Guaneña. Se realizó un análisis proximal a los ingredientes utilizados en la formulación de las dietas acorde a los protocolos propuestos por la AOAC (2000), evaluando los siguientes parámetros: humedad, proteína cruda, cenizas y energía bruta y se determinó el contenido de almidón total (AOAC 1998) y almidón resistente (Goñi *et al.* 1996). Las dietas fueron isocalóricas e isoproteicas, manteniendo niveles similares de calcio y fósforo, balance electrolítico e inclusión de almidón resistente tipo 1 en los tratamientos experimentales.

Determinación del almidón resistente

Se cuantificó la fracción de almidón resistente luego de ser sometida a las condiciones fisiológicas del proceso de digestión en términos del pH, temperatura fisiológica y velocidad de paso del estómago al intestino correspondiente al almidón retrogradado (AR3), como glucosa liberada medida mediante GOD-PAP (Kit GOP GAGO20 -1KT, SIGMA®) * 0,9 (factor de conversión) a una absorbancia de 540 nm. A la muestra se agregaron 10 mL de buffer KCl-HCl y 200 µl de pepsina/buffer HCl (Mallinckrodt® Ref 2629-57), calentando en baño termostático a 40°C por 60 min; seguidamente se añadieron 9 mL de Trisma-Maleato (pH 6,9) y 1 mL de α-amilasa termoestable (SIGMA ALDRICH® ref. A3176-1MU) / buffer Trisma-Maleato, lo cual se incubó por 16 horas a 37 °C con agitación constante. Posteriormente, luego de lavar con agua

TABLA 1. Dietas experimentales utilizadas en el bioensayo entre los días 1 a 35 de edad.

Ingredientes	Dietas experimentales											
	Iniciación (día 1 al 21 de edad) (kg/kg)						Crecimiento (día 22 al 35 de edad) (kg/kg)					
	Control	CMC	MOS	LEV	AR3G	AR3P	Control	CMC	MOS	LEV	AR3G	AR3P
Maíz	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Torta soya 49	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Harina arroz	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Soya extruida	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Glucosa	0,06	0,04	0,05	0,05	0	0	0,06	0,05	0,05	0,05	0	
Salvado trigo	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Harina pescado	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0
Fosfato Mon.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Carb. de Ca	0,0091	0,0091	0,0091	0,0091	0,0092	0,0092	0,0095	0,0095	0,0095	0,0095	0,0095	0,0095
Aceite de soya	0,0004	0,0078	0,0041	0,0041	0,0072	0,0063	0,0178	0,0252	0,0215	0,0215	0,0252	0,0252
Sal	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
DL-Metionina	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0034	0,0034	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Relleno a	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,0018	0,0086	0,0086	0,0086	0,0086	0,0086	0,0086
Bicarbonato Na	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
L-Lisina HCl	0,0021	0,0021	0,0021	0,0021	0,0022	0,0022	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Premix Vit. & Min. b	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
L-Treonina	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Cloruro Colina 60%	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
CMC		0,01						0,01				
Levadura				0,005						0,005		
MOS			0,005							0,005		
AR3G					0,053						0,053	
AR3P						0,056						0,056
Análisis de nutrientes (calculado)												
EM (Mcal/kg)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100
Proteína (%)	21,6	21,6	21,6	21,6	21,5	21,5	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6
AR tipo 1 (%)	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
AR tipo 3 (%)		1,0	0,24	0,14	1,0	1,0		1,0	0,24	0,14	1,0	1,0
Calcio (%)	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
P-disponible (%)	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
B. electro. (Meq/kg)	258,3	258,3	258,3	258,3	256,6	256,5	250,1	250,1	250,1	250,1	250,1	250
Lisina digestible (%)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Control: control sin suplementar; CMC: carboximetilcelulosa de baja viscosidad; MOS: manano-oligosacáridos Safmannan®; LEV: levadura comercial Levapan®; AR3G: almidón resistente retrogradado de papa Guaneña (18.7% AR3); AR3P: almidón resistente retrogradado de papa Pastusa (18.0% AR3); a Relleno: arena de río; b Contenido por kg de dieta: vitamina A 4000 UI, vitamina D 1250 UI, vitamina E 30 UI, vitamina B12 0,008 mg, riboflavina 2,5 mg, niacina 12 mg, ácido pantoténico 4 mg, vitamina K 1,25 mg, ácido fólico 4 mg, vitamina B6 10 mg, tiamina 7,5 mg, biotina 0,05 mg, zinc 30 mg, hierro 22 mg, cobre 4,5 mg, manganeso 32 mg, yodo 0,45 mg, selenio 0,15 mg.

TABLA 2. Dietas experimentales utilizadas en el bioensayo entre los días 35 y 42 de edad.

Dietas experimentales						
Finalización (Día 36 al 42 de edad)(kgkg)						
Ingredientes	Control	CMC	MOS	LEV	AR3G	AR3P
Maíz	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Torta soya 49	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Harina arroz	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Soya extruida	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Glucosa	0,068	0,051	0,059	0,059	0,007	0,005
Salvado trigo	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024
Fosfato Mon.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Carb. de Ca	0,0084	0,0084	0,0084	0,0084	0,0084	0,0084
Aceite de soya	0,0262	0,0335	0,0299	0,0299	0,0336	0,0335
Sal	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
DL-Metionina	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
Relleno a	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
Bicarbonato Na	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
Premex Vit. & Min. b	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Cloruro Colina 60%	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
CMC		0,01				
Levadura				0,005		
MOS			0,005			
AR3G					0,053	
AR3P						0,056
Análisis de nutrientes (calculado)						
EM (Mcal/kg)	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200
Proteína (%)	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6
AR tipo1 (%)	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
AR tipo 3 (%)		1,0	0,24	0,14	1,0	1,0
Calcio (%)	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
P-disponible (%)	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
B. Electro. (Meq/kg)	252,6	252,6	252,6	252,6	252,6	252,6
Lisina digestible (%)	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87

Control: control sin suplementar; CMC: carboximetilcelulosa de baja viscosidad; MOS: manano-oligosacáridos Safmannan®; LEV: levadura comercial Levapan®; AR3G: almidón resistente retrogradado de papa Guaneña (18.7% AR3); AR3P: almidón resistente retrogradado de papa Pastusa (18.0% AR3); a Relleno: arena de río; b Contenido por kg de dieta: vitamina A 4000 UI, vitamina D 1250 UI, vitamina E 30 UI, vitamina B12 0,008 mg, riboflavina 2,5 mg, niacina 12 mg, ácido pantoténico 4 mg, vitamina K 1,25 mg, ácido fólico 4 mg, vitamina B6 10 mg, tiamina 7,5 mg, biotina 0,05 mg, zinc 30 mg, hierro 22 mg, cobre 4,5 mg, manganeso 32 mg, yodo 0,45 mg, selenio 0,15 mg.

destilada y descartar el sobrenadante, se agregaron 3 mL de KOH 4N y 3 mL de agua destilada, ajustando el pH con HCl 2N y 3 mL de buffer de acetato de sodio (pH 6,9), para adicionar 80 µl de amiloglucosidasa (SIGMA ALDRICH® Ref A 9913) e incubar a 60 °C por 45 minutos (Goñi *et al.* 1996).

Extracción del almidón

Para la extracción del almidón de las dos variedades de papa se utilizó un protocolo desarrollado por el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos –ICTA– de la Universidad Nacional de Colombia, con algunas modificaciones. La papa fue pesada, lavada, pelada y picada en trozos medianos y dejada en reposo en una solución de agua (1:2 agua/papa) con sal (solución al 3% de NaCl) por 30 minutos, para posteriormente ser molida en una licuadora industria. La extracción del almidón se realizó mediante múltiples lavados de la pulpa con agua usando un lienzo fino; luego se procedió a decantar el almidón por unos 40 minutos, extrayendo el agua del recipiente y trasladando el almidón a una bandeja para secarlo a 30°C por 24 horas en un horno con circulación de aire forzado. Posteriormente fue molido a un tamaño de partícula de 1mm Ø y empacado.

Retrogradación del almidón papa

Para la retrogradación del almidón se empleó la metodología descrita por Tufvesson *et al.* (2001) y Leeman *et al.* (2006) modificando la temperatura de enfriamiento de 4 a 0 °C y de 31 a 32 °C. Se realizó una mezcla de papa con agua en una relación de 1:3, la cual fue depositada en un recipiente sellado a 60°C, agitando cada 3 minutos, luego el recipiente fue introducido en un baño

maría a temperatura de ebullición por 15 minutos. Después de que las muestras se enfriaron a temperatura ambiente fueron sometidas, primero a 0°C, y posteriormente a 32°C, por 24 horas en cada una de las temperaturas con el fin de obtener el mayor porcentaje de almidón resistente retrogradado.

Parámetros e indicadores productivos

Las aves fueron pesadas en los días 1, 7, 14, 21, 28, 35 y 42 de edad; simultáneamente se registró el consumo de alimento por comedero para calcular, por diferencia, el consumo de cada corral y se registró la mortalidad diaria en cada uno de los seis tratamientos. Con los resultados obtenidos se calcularon el consumo de alimento total, la conversión alimenticia y la sobrevivencia. A su vez, se compararon los pesos corporales registrados para cada uno de los grupos experimentales y se calculó la conversión de energía –calculada como las Mcal consumidas por gramo de biomasa de pollo al día 42 de edad–. Finalmente se estimaron los indicadores productivos ‘factor de eficiencia europea’ (FEE), el ‘porcentaje de eficiencia americana’ (%EA) y el ‘índice de productividad’ (IP), utilizando las siguientes fórmulas:

$$FEE = \frac{Supervivencia (\%) \times Peso\ corporal\ vivo (kg) \times 100}{Edad (días) \times Conversión\ alimenticia}$$

$$\%EA = \frac{Peso\ vivo (kg) \times 100}{Conversión\ alimenticia}$$

$$IP = \frac{\%EA \times 100}{Conversión\ alimenticia}$$

Rendimiento en canal

Al día 42 de edad, previo registro del peso corporal, se sacrificaron 12 aves seleccionadas al azar por tratamiento, mediante dislocación cervical (Clifford 1984), para luego ser sacrificadas mediante sangría de la yugular a nivel del paladar, pasando en

la línea de sacrificio por escaldado (55 – 60 °C), pelado mecánico y eviscerado manual. Una vez evisceradas, se pesó la canal, la grasa abdominal y las fracciones de pechuga, pierna-pernil, alas, costillar y rabadilla.

Análisis económico

El análisis de los efectos económicos del nivel de inclusión de AR3 de papa de las variedades Pastusa y Guaneña se realizó a través de técnicas de presupuestos parciales. Se llevó a cabo un análisis económico comparativo entre los tratamientos, basado en los costos e ingresos por tratamiento o grupo experimental. Para estimar el costo por kilogramo de pollo en pie por tratamiento se utilizó el modelo descrito por Marini (1978). Para calcular el costo por kg de pollo en pie en pesos (C) se utilizó la siguiente fórmula:

$$C = B/[X + c(Yi)]$$

Dónde: B es el costo del ave de un día (\$1.230); X es el peso corporal del pollo a los 42 días de edad; Y es la conversión de alimento; c es el costo del alimento a los 42 días de edad e i es el tratamiento experimental.

Los costos de las dietas para las diferentes fases de alimentación aparecen en la Tabla 3. Con referencia al precio del AR3 para cada una de las variedades de papa, se tuvo en cuenta el costo por kilogramos de papa, un costo aproximado del procesamiento y extracción del almidón de papa y el costo aproximado para la elaboración del AR de papa.

El Ingreso Neto Parcial por pollo en pie (INPP) a los 42 días de edad se calculó de la siguiente forma:

$$INPP = \frac{(Py \times Yi) - (Px \times Xi)}{n}$$

Dónde: Py es el precio de un kg de pollo en pie (\$2.700); Y es la cantidad de pollo (kg) a los 42 días de edad; Px es el precio del kg de alimento (\$) (Tabla 3); X es la cantidad de alimento consumido a los 42 días de edad; n es el número de pollos a los 42 días de edad/réplica e i es el tratamiento experimental.

El Ingreso Parcial por Pollo en Canal (IPPC) a los 42 días de edad se estimó mediante la ecuación:

$$IPPC = \frac{[Py (Yi \times Xi)] - INPP}{n}$$

TABLA 3. Costos-fórmula de las dietas experimentales (\$/kg).

Tratamiento	Fase		
	Iniciación	Crecimiento	Finalización
Control	1.200	1.194	1.210
CMC	1.235	1.230	1.245
MOS	1.254	1.248	1.264
Levadura	1.220	1.215	1.231
AR3 Guaneña	1.328	1.321	1.337
AR3 Pastusa	1.278	1.269	1.285

Dónde: *INPP* es el Ingreso Neto Parcial por Pollo en Pie a los 42 días (\$); *Y* es la cantidad de pollo (kg) a los 42 días de edad; *X* es el rendimiento en canal (%); *n* es el número de pollos por tratamiento e *i* es el tratamiento experimental.

El Ingreso Parcial por Pollo Fraccionado en Canal a los 42 días (*IPPF*) por tratamiento se estimó mediante la ecuación:

$$IPPF = \frac{[(Py2Y2i + Py3Y3i + Py4Y4i + Py5Y5i + Py6Y6i) - IPPC]}{n}$$

Dónde: *IPPC* es el Ingreso Parcial por Pollo en Canal a los 42 días (\$); *Py2* es el precio de la pechuga (\$7.200); *Y2* es la cantidad (kg) de pechuga a los 42 días; *Py3* es el precio de la pierna-pernil (\$6.800); *Y3* es la cantidad (kg) de pierna-pernil a los 42 días; *Py4* es el precio de las alas (\$2.400); *Y4* es la cantidad (kg) de alas a los 42 días; *Py5* es el precio de la costilla (\$1.000); *Y5* es la cantidad (kg) de costilla a los 42 días; *Py6* es el precio de la rabadilla (\$1.000); *Y6* es la cantidad (kg) de rabadilla a los 42 días; *n* es el número de pollos/tratamiento e *i* es el tratamiento experimental.

Análisis estadístico

Para determinar el efecto de los diferentes tratamientos sobre las variables consumo de alimento, peso corporal al sacrificio, ganancia de peso corporal, conversión alimenticia, factor de eficiencia europea, porcentaje de eficiencia americana, índice de productividad, sobrevivencia, rendimiento en canal, peso de la grasa abdominal, peso de fracciones de la canal: pechuga, pierna-pernil, alas, costillar y rabadilla y los indicadores calculados a partir del análisis económico se utilizó un diseño completamente al azar (Steel y Torrie 1992), cuya descripción es:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde: μ es la media poblacional; *A_i* es el efecto del *i*-énimo tratamiento; ε_{ijk} es el error experimental; *i* es el 6°. Tratamiento; *j* corresponde a 3 réplicas hasta día 21 de edad y 6 réplicas hasta el día 42 de edad; *Y_{ij}* es el valor observado de la variable.

Los datos fueron analizados por ANOVA usando el procedimiento GLM de SAS[®] versión 9.2 (2007). Cuando se presentaron diferencias significativas se utilizó la prueba de Tukey para separar la media de los tratamientos experimentales ($P < 0.05$). Los porcentajes de supervivencia y mortalidad fueron comparados estadísticamente por medio de la prueba de Kruskal-Wallis ($Pr > \text{Chi-cuadrado}$), al presentar heterogeneidad de la varianza.

RESULTADOS

Parámetros productivos

Los pesos corporales registrados para los diferentes tratamientos experimentales durante un ciclo completo productivo se observan en la Tabla 4. Se encontraron diferencias ($P < 0,05$) en los pesos registrados al día 7 de edad y al día 42, respectivamente. Al día 7 de edad, el tratamiento LEV mostró el mayor peso corporal, mientras que para MOS se observó el menor valor, seguido de CMC. Los tratamientos AR3P, control sin suplementar y AR3G, exhibieron un comportamiento intermedio para esta variable. El peso corporal presentó diferencias ($P < 0,05$) al día 42 de edad, donde el control sin suplementar mostró el menor peso corporal frente al MOS y AR3P, siendo diferentes en 108,7 y 109,2 g/ave respectivamente, mientras que los demás tratamientos presentaron un comportamiento intermedio.

TABLA 4. Pesos corporales al suplementar diferentes aditivos funcionales en un ciclo completo de pollos de engorde (42 días de edad).

Edad (días)	Tratamiento						
	Control	CMC	MOS	LEV	AR3G	AR3P	EEM
	(g)						
1	43,5	43,3	43,2	43,3	43,3	43,3	0,07
7	155,3 ab	147,0 bc	146,2 c	156,1 a	155,7 ab	154,2 ab	1,85
14	364,6	340,8	347,4	361,1	363,9	362,6	5,87
21	718,8	687,5	703,6	722,5	718,3	728,9	11,61
28	1264,5	1220,0	1228,0	1267,5	1224,9	1253,5	16,07
35	1892,4	1867,4	1859,4	1905,3	1853,6	1908,8	23,98
42	2335,1 b	2383,5 ab	2443,8 a	2393,0 ab	2373,1 ab	2444,3 a	25,81

Control: Control sin suplementar; CMC: carboximetilcelulosa; LEV: levadura comercial; MOS: manano oligosacáridos; AR3G: almidón resistente retrogradado de papa Guaneña; AR3P: almidón resistente retrogradado de papa Pastusa; abc promedios con letras diferentes en sentido horizontal presentan diferencias significativas ($P < 0,05$). EEM: error estándar de la diferencia de medias.

Los parámetros productivos evaluados para los diferentes tratamientos experimentales se muestran en la Tabla 5. Con relación a la ganancia de peso corporal se observaron diferencias ($P < 0,05$) entre los grupos experimentales. Entre el día 22 al 42 de edad, MOS mostró el mayor valor comparado con el control sin suplementar, los demás tratamientos presentaron una ganancia de peso corporal intermedia entre estos dos. Al analizar el ciclo completo, MOS y AR3P mostraron los mayores valores de ganancia de peso frente al control sin suplementar, mientras que los demás tratamientos mostraron un comportamiento intermedio entre el control sin suplementar, MOS y AR3P. El mayor consumo de alimento ($P < 0,05$) se registró para CMC entre el día 22 al 42 de edad y durante el ciclo completo, siendo MOS el que incentivó un menor consumo de alimento, mientras que los demás tratamientos presentaron valores intermedios.

La conversión alimenticia presentó diferencias ($P < 0,05$) entre los grupos experimentales para los dos periodos y el ciclo completo. Entre los días 1 al 21 de edad, el tratamiento AR3P mostró la mejor conversión comparado con CMC, mientras que los demás grupos experimentales exhibieron valores intermedios en esta variable. Del día 22 al 42, los tratamientos CMC y control sin suplementar, mostraron la mayor conversión alimenticia, cuando se compararon con MOS, mientras que frente a los demás tratamientos no se encontraron diferencias. Al evaluar el ciclo completo, CMC, el control sin suplementar y la LEV ostentaron los mayores valores frente a MOS, mientras que AR3G y AR3P obtuvieron un comportamiento intermedio.

Cuando se estimó la conversión de energía ingerida para la generación de biomasa (peso corporal de aves vivas y muertas) y la sobrevivencia no se observaron diferencias significativas ($P > 0,05$ y Pr

TABLA 5. Parámetros productivos al suplementar diferentes aditivos funcionales en un ciclo completo de pollos de engorde (42 días de edad).

Variable	Días	Control	CMC	MOS	LEV	AR3G	AR3P	EEM
GPC (g/periodo)	1 al 21	690,1	640,5	658,7	676,4	660,0	680,0	14,15
	22 al 42	1612,6 b	1693,9 ab	1735,3 a	1673,6 ab	1658,4 ab	1718,1 ab	25,69
	1 al 42	2291,6 b	2340,2 ab	2400,6 a	2349,7 ab	2329,8 ab	2401,0 a	24,94
Consumo alimento (g/periodo)	1 al 21	1090,9	1076,3	1060,8	1099,4	1070,7	1059,9	14,31
	22 al 42	3021,0 ab	3071,9 a	2865,8 b	2986,7 ab	2913,4 ab	3000,9 ab	43,24
	1 al 42	4092,3 ab	4148,3 a	3926,6 b	4086,1 ab	3984,1 ab	4060,8 ab	44,72
Conversión alimenticia (consumo/ ganancia)	1 al 21	1,58 ab	1,68 a	1,61 ab	1,63 ab	1,62 ab	1,56 b	0,03
	22 al 42	1,87 a	1,81 a	1,65 b	1,79 ab	1,76 ab	1,75 ab	0,03
	1 al 42	1,79 a	1,77 a	1,64 b	1,74 a	1,71 ab	1,69 ab	0,04
Conversión energía (Mcal/g biomasa)	1 al 42	5,38	5,35	4,90	5,13	5,13	5,14	0,12
Sobrevivencia * (%)	1 al 42	85,32	89,17	81,07	81,75	90,87	87,42	3,39

Control: Control sin suplementar; CMC: carboximetilcelulosa; MOS: manano oligosacáridos; LEV: levadura comercial; AR3G: almidón resistente retrogradado de papa Guaneña; AR3P: almidón resistente retrogradado de papa Pastusa; GPC: ganancia de peso corporal; abc promedios con letras diferentes en sentido horizontal presentan diferencias significativas ($P < 0,05$). EEM: error estándar de la diferencia de medias. * Prueba de Kruskal-Wallis, ($Pr > \text{Chi-cuadrado } 0,393$).

> Chi-cuadrado 0,394, respectivamente). Durante el periodo experimental se observó una reacción postvacunal a la vacuna de New Castle, lo cual condujo a un aumento de la mortalidad para los tratamientos AR3G (8,8%), MOS (7,1%), Control (6,1%), LEV(3,6%), AR3P (2,4%) y CMC (1,2%); por su parte, la incidencia de ascitis, común como causa de mortalidad en las condiciones experimentales, fue de 8,5% para LEV, 8,3% para MOS, 6,0% para CMC, 3,7% para el control sin suplementar, 3,5% para AR3P y 2,5% para AR3G. Sin embargo, no se encontraron diferencias en el porcentaje de mortalidad entre los diferentes tratamientos ($Pr > \text{Chi-cuadrado } 0,4098$).

Indicadores productivos

El factor de eficiencia europea (Tabla 6) no mostró diferencias entre los tratamientos ($P > 0,05$). Con relación al porcentaje de eficiencia americana, MOS y AR3P mostraron los mayores promedios para esta variable (149,8 y 144,6), cuando se comparan con el control sin suplementar, siendo estos diferentes entre sí ($P < 0,05$). De otra parte, el control sin suplementar presentó el menor valor (130,8), seguido de CMC (134,6), mientras que AR3G y LEV mostraron un comportamiento intermedio con referencia a los demás tratamientos, pero con resultados similares entre ellos. Para el índice de productividad, se observó que MOS obtuvo el mayor

promedio (92,1) cuando se compara con el control sin suplementar, CMC y LEV (73,3, 76,0 y 79,2, respectivamente), mas no con AR3P y AR3G, tratamientos que mostraron un comportamiento intermedio (85,7 y 81,3) y similar entre ellos.

Rendimiento en canal

En la Tabla 7 se muestran los valores para el peso corporal en pie, peso en canal y las diferentes fracciones o partes del pollo para los diferentes grupos experimentales al día 43 del ciclo productivo. No se encontraron

TABLA 6. Indicadores productivos obtenidos al suplementar diferentes aditivos funcionales en un ciclo completo productivo de pollos de engorde (42 días de edad).

Variable	Tratamiento						
	Control	CMC	MOS	LEV	AR3G	AR3P	EEM
FEE	265,6	285,7	287,0	267,5	300,1	299,7	9,6
EA	130,8 c	134,6 bc	149,8 a	137,7 abc	138,8 abc	144,6 ab	3,0
IP	73,3 b	76,0 b	92,1 a	79,2 b	81,3 ab	85,7 ab	2,9

Control: Control sin suplementar; CMC: carboximetilcelulosa; MOS: manano oligosacáridos; LEV: levadura comercial; AR3G: almidón resistente retrogradado de papa Guaneña; AR3P: almidón resistente retrogradado de papa Pastusa; FEE: Factor Eficiencia Europea; EA: % de Eficiencia Americana; IP: índice de productividad; EEM: error estimado de la media; abc promedios con letras diferentes en sentido horizontal presentan diferencias significativas (P < 0,05); EEM: error estándar de la diferencia de medias.

TABLA 7. Peso corporal en pie, peso en canal y peso de las fracciones de pollos de engorde al suplementar diferentes aditivos funcionales en el día 43 de edad de pollos de engorde.

Fracción	Tratamiento						
	Control	CMC	MOS	LEV	AR3G	AR3P	EEM
Peso corporal pie (kg)	2,570	2,579	2,649	2,613	2,575	2,638	0,023
Peso canal (kg)	1,68	1,69	1,76	1,75	1,71	1,73	0,020
Rendimiento canal (%)	65,50	65,57	66,39	66,95	66,56	65,74	0,446
Grasa abdominal (kg)	0,031	0,025	0,025	0,026	0,027	0,030	0,002
Pechuga (kg)	0,619	0,645	0,667	0,663	0,636	0,630	0,011
Alas (kg)	0,196 ab	0,184 b	0,194 ab	0,196 ab	0,193 ab	0,204 a	0,004
Rabadilla (kg)	0,197 ab	0,185 b	0,202 ab	0,197 ab	0,195 ab	0,206 a	0,044
Costillar (kg)	0,125	0,133	0,135	0,137	0,131	0,138	0,003
Pierna-pernil (kg)	0,513	0,529	0,533	0,534	0,534	0,536	0,006

Control: Control sin suplementar; CMC: carboximetilcelulosa; MOS: manano oligosacáridos; LEV: levadura comercial; AR3G: almidón resistente retrogradado de papa Guaneña; AR3P: almidón resistente retrogradado de papa Pastusa; abc promedios con letras diferentes en sentido horizontal presentan diferencias significativas, P < 0,05. EEM: error estándar de la diferencia de medias.

diferencias ($P > 0,05$) para ninguna de las variables evaluadas, con excepción de los kilogramos de alas y rabadilla obtenidos al final del ciclo. Para ambas variables el mayor valor fue observado para AR3P, comparado con el promedio de CMC, sin encontrar diferencias con los demás tratamientos experimentales.

Análisis económico

Los resultados del análisis económico pueden ser observados en la Tabla 8. El tratamiento AR3G mostró el mayor costo por kilogramos de pollo en pie (costo kg/P/P), comparado con MOS y LEV, que obtuvieron el menor valor, mientras que no hubo diferencia con los demás grupos experimentales.

Con relación al ingreso neto parcial por pollo en pie (INPPP), MOS mostró el mayor ingreso comparado con AR3G, mientras los demás tratamientos tuvieron un comportamiento intermedio. En el caso del ingreso parcial por pollo en canal (IPPC), AR3G alcanzó el mayor valor, cuando se comparó con el control sin

suplementar que obtuvo el menor ingreso, sin diferir mayormente de los demás tratamientos experimentales. Finalmente, con relación al ingreso parcial por pollo fraccionado (IPPF), MOS mostró el mayor ingreso, cuando se compara con AR3G, sin mostrar diferencia con los demás grupos experimentales.

DISCUSIÓN

En la actualidad existe la necesidad de diseñar y formular sistemas de alimentación orientados a una producción más eficiente y eficaz de carne de pollo, buscando generar un producto competitivo que satisfaga las necesidades y exigencias actuales del consumidor en términos de calidad e inocuidad, en un entorno de apertura comercial y libre competencia. Esto ha conducido al desarrollo de nuevas tecnologías nutricionales que apuntan a mejorar los parámetros productivos mediante la optimización de la eficiencia en la absorción de nutrientes y mejoras en la digestibilidad de las materias primas utilizadas en la alimentación mediante el

TABLA 8. Análisis económico al suplementar pollos de engorde con diferentes aditivos funcionales al día 43 de edad.

Índice	Tratamiento						EEM
	Control	CMC	MOS	LEV	AR3G	AR3P	
Costo kg/P/P	2.657,5 ab	2.608,6 ab	2.510,3 b	2.596,6 b	2.749,7 a	2.628,6 ab	35,00
INPPP	2.107,3 ba	1.935,4 ba	2.305,1 a	2.191,7 ba	1.759,9 b	2.019,9 ba	109,79
IPPC	5.638,8 b	5.844,3 ba	5.781,3 ba	5.855,3 ba	6.122,6 a	5.959,9 ba	88,41
IPPF	3.133,6 ba	3.088,1 ba	3.445,7 a	3.243,1 ba	2.848,5 b	2.929,7 ba	137,74

Costo kg/P/P: costos por kilogramo de pollo en pie; INPPP: ingreso neto parcial por pollo en pie; IPPC: ingreso parcial pollo canal; IPPF: ingreso parcial por pollo fraccionado; Control: control sin suplementar; CMC: carboximetilcelulosa; MOS: Manano oligosacáridos; LEV: levadura comercial; AR3G: almidón resistente retrogradado de papa Guaneña; AR3P: almidón resistente retrogradado de papa Pastusa; abc promedios con letras diferentes en sentido horizontal presentan diferencias significativas ($P < 0,05$). EEM: error estándar de la diferencia de medias.

uso de aditivos o enzimas y modulando o estimulando la presencia de ciertas poblaciones microbianas benéficas para la salud del ave, entre otras.

El desarrollo de innovaciones de productos multifuncionales a partir de carbohidratos, como los oligosacáridos (mano-oligosacáridos y fructo-oligosacáridos) provenientes de levaduras, han arrojado resultados positivos sobre los parámetros productivos y el estado sanitario e inmune de las aves (López *et al.* 2009). Entre las levaduras, *Saccharomyces cerevisiae* es la especie más estudiada como un aditivo natural (NRC 1994; Miazzo *et al.* 1995; Miazzo *et al.* 2001; Miazzo *et al.* 2005) con niveles de inclusión entre 0,5 y 1,5%, aún cuando se han reportado niveles entre 0,2 y 1,0% (Churchill *et al.* 2000; Upedra y Yathiraj 2003). Así mismo, la industria alimenticia ofrece diferentes carbohidratos con propiedades específicas, como es el caso de algunos de los componentes de la fibra dietaria que benefician al huésped mediante la estimulación selectiva del crecimiento y/o actividad de una o un número limitado de bacterias en el colon (Gibson y Roberfroid 1995), como ha sido observado por el grupo de investigación en el pasado para la carboximetilcelulosa en condiciones experimentales similares (Camacho y Granados 2003).

El AR, como parte de la fibra dietaria, está conformado por una mezcla compleja de sustancias con diferentes propiedades químicas y físicas que pueden ejercer diferentes tipos de efectos fisiológicos (Fuentes-Zaragoza *et al.* 2010). En 2008, la Comisión de Comunidades Europeas definió la fibra como aquellos polímeros de hidratos de carbono con tres o más unidades monoméricas que no son digeribles ni absorbidos en el intestino delgado (Commission of the European

Communities, 2008). Cuando se inició con la determinación de polisacáridos no amiláceos (PNA), se detectó una fracción de almidón que no podía ser hidrolizada sin haber sido químicamente dispersa con anterioridad. Esta fracción del almidón fue identificada posteriormente como almidón retrogradado y se ha denominado 'almidón resistente' (Englyst y Englyst 2005). Por lo tanto, componentes como los PNA, oligosacáridos resistentes y carbohidratos análogos –donde se incluye el almidón resistente (Sharma *et al.* 2008) dada su naturaleza no digerible–, pueden ser considerados en la cantidad total de fibra dietaria presente en una dieta (Fuentes-Zaragoza *et al.* 2010).

En este contexto, el presente estudio evaluó diferentes compuestos con capacidad funcional, como son la levadura (LEV, Levapan[®]), carboximetilcelulosa de baja viscosidad (CMC), manano-oligosacáridos (MOS, Safmannan[®]) y el AR3 proveniente de las variedades de papa Guaneña y Pastusa.

En el caso de MOS y AR3P, se observó una mayor ganancia de peso corporal frente al control sin suplementar en 108,67 y 109,18 g, respectivamente. Así mismo, la conversión alimenticia para AR3P durante los primeros 21 días de edad fue menor en 7,14% frente a CMC y en 3,10% en comparación con MOS. Sin embargo, el tratamiento MOS entre los días 22 y 42 de edad, mostró una menor conversión alimenticia de 8,38, 7,34 y 5,75% en comparación con el control sin suplementar, CMC y LEV, mientras que AR3G y AR3P presentaron un comportamiento intermedio.

Al comparar los resultados obtenidos con la literatura disponible se observa que en el estudio de Chee *et al.* (2010), una suplementación con MOS a razón de 2 kg/ton, entre los 7 y 21 días, condujo a un

mayor peso corporal frente al control sin suplementar, sin diferencias en el consumo de alimento, encontrando una menor conversión alimenticia durante este periodo de tiempo. Ashayerizadeh *et al.* (2011) evaluaron un producto comercial (Biolex-MB[®]) y reportaron incrementos significativos en la tasa específica y la eficiencia de crecimiento frente al control sin suplementar durante la fase de crecimiento, sin afectar durante este periodo y el ciclo completo (42 días), el consumo de energía y la proteína cruda. Resultados similares han sido reportados por Pelicano *et al.* (2004), donde la ganancia de peso corporal y la conversión alimenticia pueden ser mejoradas en pollos de engorde cuando se suplementa 1.7 g de MOS/kg dieta durante los primeros 21 días de edad; sin embargo, estos efectos no fueron significativos a los 42 días de edad. Hooge (2004) mostraron un análisis de pruebas hechas en campo por más de 10 años con MOS, con niveles de inclusión entre 0,1 y 0,2% en la fase de preiniciación y entre 0,05 y 0,2% en la de crecimiento, encontrando una mejora media de 2,2% en el crecimiento, 2% en conversión alimenticia y un 24% en el índice de mortalidad. No obstante, otros investigadores señalan que los resultados de los diferentes estudios varían entre un ensayo y otro, en gran medida debido a la alta variabilidad de la respuesta entre individuos frente a la suplementación con MOS (Simon y Jadamus 2002).

La suplementación con la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, en el nivel de 0,5%, no afectó el comportamiento productivo de los pollos de engorde y mostró un comportamiento intermedio en las variables productivas evaluadas. Con relación a la fuente comercial utilizada (Levaplan[®]), López *et al.* (2008) evaluó cepas de leva-

dura nativas colombianas provenientes de frutales y observaron un consumo de alimento similar al obtenido en este estudio frente al control sin suplementar, mostrando una mayor ganancia de peso corporal al día 35 de edad y una menor conversión de alimento en las fases de iniciación y crecimiento, respectivamente.

Respecto de CMC, Camacho y Granados (2003) evaluaron el efecto de dos niveles de inclusión en la dieta (0,5 y 1,0%) hasta el día 40 de edad, encontrando diferencias ($P < 0,05$) para la conversión de alimento en la fase de crecimiento (22 a 35 días de edad), siendo menor para el tratamiento con nivel de inclusión de 0,5% frente al control sin suplementar. No se observaron diferencias en las ganancias de peso corporal o consumo de alimento para ninguno de los periodos o el ciclo productivo completo. En este sentido, se sugiere que los efectos de la fibra dietaria dependen del tipo (parcial o altamente fermentable), la dosis, la composición y los perfiles fisiológicos individuales del individuo que la consume. Sin embargo, como lo reportaron Lee *et al.* (2004), quienes suplementaron con CMC al 1,0% en hembras Cobb, hallaron que la ganancia de peso corporal fue similar a la del grupo control y encontraron una reducción del consumo de alimento generado por un aumento en la viscosidad del contenido intestinal, lo cual afectó la absorción y difusión de las enzimas digestivas y los nutrientes; con ello se alteró de manera negativa el proceso digestivo. En dicho estudio, el consumo de alimento para CMC no se vio afectado, siendo mayor ($P < 0,05$) en el periodo de crecimiento y en el ciclo productivo completo y mostrando un peso corporal final mayor al control sin suplementar, pero con una mayor conversión alimenticia. Estos resultados

contrastantes están relacionados con el tipo de CMC utilizado en los diferentes estudios.

En general, CMC, LEV, AR3G, AR3P y MOS exhibieron un comportamiento superior al control sin suplementar, con respecto al peso corporal final y la tasa específica de crecimiento. En el caso de MOS, estos compuestos actúan mediante selectivamente sobre bacterias patógenas, como *Salmonella* spp. y *Escherichia coli*, inhibiendo su adhesión a los enterocitos (Patterson y Burkholder 2003; Bozkurt *et al.* 2009), lo que crea un efecto de aglutinación (Singbootra 2005; Spring *et al.* 2000), similar a lo que ocurre con las levaduras, que permite proteger al huésped contra un determinado tipo de bacterias patógenas (Santin *et al.* 2001). A su vez, promueve la integridad intestinal al estimular el crecimiento y el aumento del área de absorción de las vellosidades, mediante la generación de sustancias como ácido láctico, vitaminas del complejo B, peróxido de hidrógeno y enzimas que, en conjunto, ayudan al mantenimiento de la superficie de absorción intestinal (Artiga 2002) a la par que hay un efecto modulador inmune (Ferket 2003; Patterson y Burkholder 2003; Bozkurt *et al.* 2009). En el caso de la CMC de baja viscosidad utilizada en este estudio, al ser una fibra soluble y fermentable por las bacterias del colon, puede inhibir la proliferación de microorganismos patógenos, incrementa la absorción de minerales y produce vitaminas (Tungland y Meyer 2002).

El factor de eficiencia europea –FEE– mostró que todos los grupos experimentales se ubicaron por encima de 220; este indicador fue menor numéricamente para el grupo control sin suplementar, así como para LEV y MOS. Los grupos AR3G y AR3P mostraron los mayores valores. En

general, este indicador se vió afectado por la sobrevivencia. El porcentaje de eficiencia americana –EA– mostró valores superiores a 100 en todos los tratamientos, los cuales estuvieron por encima del control sin suplementar, destacándose MOS y AR3P (con +19,04 y +13,84, respectivamente). Los promedios para el índice de productividad –IP– se mantuvieron sobre 70 en todos los tratamientos, siendo el mayor para MOS y el menor para el control sin suplementar, CMC, LEV; AR3G y AR3P mostraron un comportamiento intermedio (ver Tabla 6).

El análisis económico señaló que MOS y LEV presentaron el menor costo por kg/pollo/pie. En el caso de MOS, el ingreso neto por pollo en pie –INPP– fue mayor frente a AR3G, debido al costo de la dosis para suministrar el nivel de inclusión deseado, comparado con los demás grupos experimentales. Sin embargo, en el grupo AR3P la cantidad de almidón retrogradado necesario para alcanzar el nivel de inclusión incrementó el costo del alimento dentro de la formulación. El análisis del ingreso parcial por pollo en canal –IPPC– mostró el mayor valor para AR3G, mientras que el control sin suplementar fue menor en \$483,8, siendo AR3P y MOS similares entre sí, pero con un valor de \$178,59 más a favor de AR3P, debido a una mayor sobrevivencia de los pollos durante el estudio. Finalmente el ingreso parcial por pollo fraccionado –IPPF– fue menor para AR3G, mientras que MOS presentó el mayor ingreso y los demás tratamientos se comportaron de manera intermedia.

Los efectos observados en el presente estudio con relación a la suplementación de AR3 proveniente de las variedades de papa Guaneña y Pastusa, como fuente de fibra dietaria, sobre los parámetros productivos (en especial para AR3P) podría residir en

el mejoramiento de las condiciones de los ciegos en el pollo de engorde, habida cuenta que se ha demostrado la capacidad de AR3 para inducir la generación de AGV en el colon de ratas (Henningsson *et al.* 2003); así, según Bird y Topping (2001), entre los AGV el butirato es la fuente más importante de energía para el epitelio del colon, ya que canaliza la utilización de energía proveniente del alimento hacia fines productivos, en lugar del mantenimiento y la renovación de las vellosidades intestinales. Un almidón lentamente digerible va a influir en el tiempo de retención de la digesta en el intestino delgado, limitando la extensión total de la digestión del almidón (Van der Aar 2003). De otra parte, con referencia a la eficiencia alimenticia en las aves, se ha observado una interacción entre la tasa de digestión y el nivel de aminoácidos: cuando existe una cantidad suficiente de aminoácidos en una dieta con almidón lentamente digerible se puede presentar una mayor ganancia de peso corporal, con una menor conversión alimenticia, ya que existe un suministro de energía por mayor tiempo, lo que conduce a una sincronía entre la glucosa y los aminoácidos para ser absorbidos y utilizados en la síntesis de tejido por parte del ave (Van der Aar 2003).

CONCLUSIONES

El tratamiento con MOS mostró los mejores resultados frente al control sin suplementar con referencia a los parámetros productivos. Sin embargo, AR3P alcanzó niveles similares en el peso corporal y la ganancia de peso corporal al día 42 de edad, mostrando un comportamiento intermedio para las variables 'consumo de alimento' y 'conversión alimenticia'; ello sugiere que tiene potencial para ser utiliza-

do como un aditivo funcional con efectos positivos sobre las variables analizadas, sin afectar el rendimiento en canal del ave.

La suplementación de AR3 proveniente de la papa presentó resultados similares a otros aditivos de la misma naturaleza, como LEV, CMC y MOS que afectaron de manera positiva la respuesta en crecimiento de pollos de engorde durante un ciclo comercial frente al control sin suplementar, al día 42 de edad; ello indicaría que su implementación podría tener un beneficio potencial, no solo a nivel del pollo de engorde, sino del humano que consume cantidades regulares de papa con algún porcentaje de AR3, producto de la transformación térmica de este recurso alimenticio.

Los indicadores económicos sugieren que el menor costo por kilogramo de pollo en pie durante un ciclo comercial lo obtuvo la suplementación de MOS y de una levadura comercial. Sin embargo, los resultados obtenidos con AR3P ameritan posteriores desarrollos tecnológicos que reduzcan los costos de producción del producto para su inserción como aditivo natural en la formulación comercial de pollos de engorde.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo agradecen al personal de la Unidad de Avicultura y del Laboratorio de Nutrición Animal del CBB-Corpoica; a Arturo Romero del ICTA y demás personas que colaboraron durante la ejecución del estudio. Así mismo, el primer autor agradece a la Dra. Nhora Martínez R. por su colaboración.

REFERENCIAS

- Adams CA. 2004. Nutricines in poultry production: focus on bioactive feed ingredients. *Nutr. Abstr. Rev. Series B* 74:1N-12N.

- [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 1998. Official Methods of Analysis – Method 996.11. 16th ed., Maryland, EUA: AOAC.
- [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed., Maryland, EUA: AOAC.
- Artiga MAE. 2002. Evaluación de diferentes cepas de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en dietas de pollos de engorde. [Tesis pregrado]. [Zamorano, Honduras] Escuela Agrícola Panamericana.
- Ashayerizadeh A, Dabiri N, Mirzadeh Kh, Ghorbani MR. 2011. Effects of dietary inclusion of several biological feed additives on growth response of broiler chickens. *J Cell Anim Biol.* 5(4):61-65.
- Bello-Pérez LA, Paredes-López O. 2009. Starches of some food crops, changes during processing and their nutraceutical potential. *Food Eng Rev.* 1:50-65.
- Bird AR, Topping DL. 2001. Resistant starch, fermentation, and large bowel health. En: Cho SS, Dreher ML, editores. *Handbook of dietary fiber.* New York: Marcel Dekker. p. 147-158.
- Bozkurt M, Küçükyılmaz K, Çatlı AU, Çınar M. 2009. Effect of dietary mannan oligosaccharide with or without oregano essential oil and hop extract supplementation on the performance and slaughter characteristics of male broilers. *S Afr J Anim Sci.* 39(3):223-232.
- Camacho DA, Granados, PE. 2003. Evaluación del efecto prebiótico de la carboximetilcelulosa de baja viscosidad en dietas para pollos de engorde. [Tesis de Especialización]. [Bogotá, Colombia] Universidad Nacional de Colombia.
- Castrodeza C, Lara P, Peña T. 2005. Multicriteria fractional model for feed formulation: economic, nutritional and environmental criteria. *Agr Syst.* 86:76-96.
- Champ M, Langkilde AM, Brouns F, Kettlitz B, Collet Yle B. 2003. Advances in dietary fiber characterization. 1. Definition of dietary fiber, physiological relevance, health benefits and analytical aspects. *Nutr Res Rev.* 16:71-82.
- Chee SH, Iji PA, Choct M, Mikkelsen LL, Kocher A. 2010. Characterization and response of intestinal microflora and mucins to manno-oligosaccharide and antibiotic supplementation in broiler chickens. *Brit Poultry Sci.* 5:368-380.
- Choct M, Hughes RG, Wang MR, Bedford AJ, Morgan AJ, Annison G. 1996. Increased small intestinal fermentation in partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. *Brit Poultry Sci.* 37:609-621.
- Churchill R, Mohan B, Viswanathan K. 2000. Effect of supplementation broilers rations with live yeast culture. *Cheiron.* 29:23-27.
- Clifford DH. 1984. Preanesthesia, anesthesia, analgesia and euthanasia. En: Fox JG, Cohen BJ, Loew FM, editores. *Laboratory animal medicine.* New York: Academic Press. p. 528-563.
- Conpes 2007. Política nacional de sanidad e inocuidad para la cadena avícola [Internet]. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación. [Citado 2012 julio 10]. Disponible en: <http://201.234.78.28:8080/jspui/handle/123456789/1131>
- Englyst KN, Englyst HN. 2005. Carbohydrate bioavailability. *Brit J Nutr.* 94:1-11.
- Espinal GF, Covaleda HM, Gaitán XA. 2005. La cadena de cereales: alimentos balanceados para animales, avicultura y porcicultura en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Documento de trabajo No. 51. [Citado 2013 mayo 23]. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/200511215360_caracterizacion_cereales.pdf
- Ferket PR. 2003. Controlling gut health without the use of antibiotics. En: Proceedings of the 30th Annual Carolina Poultry Nutrition Conference; 2003 octubre 30, Research Triangle Park (NC, EUA): Carolina Feed Industry Association. p. 57-68.
- Fuentes-Zaragoza E, Riquelme-Navarrete MJ, Sánchez-Zapata E, Pérez-Álvarez JA. 2010. Resistant starch as functional ingredient: a review. *Food Res Int.* 43:931-942.
- Gibson GR, Roberfroid, MB. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota. Introducing the concept of prebiotics. *J. Nutr.* 125:1401-1412.
- Gibson GR, Willems A, Reading S, Collins MD. 1996. Fermentation of non-digestible oligosaccharides by human colonic bacteria. *Proc Nutr Soc.* 55:899-912.
- Goñi I, García-Díaz L, Mañas E, Saura-Calixto F. 1996. Analysis of resistant starch: a method

- for foods and food products. *Food Chem.* 56:445-449.
- Henningson AM, Margareta E, Nyman GL, Bjorck IM. 2003. Influences of dietary adaptation and source of resistant starch on short-chain fatty acids in the hindgut of rats. *Br J Nutr.* 89:319-328.
- Hooge DM. 2004. Meta-analysis of broiler chicken pen trials evaluating dietary mannan oligosaccharide, 1993-2003. *Int. J. Poultry Sci.* 3(3):163-174.
- Lee KW, Everts H, Kappert HJ, Beynen A. C. 2004. Growth performance of broiler chickens fed a caboxymethyl cellulose containing diet on supplemental carvacrol and/or cinnamaldehyde. *Int J Poultry Sci.* 3(9):209-622.
- Leeman AM, Karlsson M, Eliasson A, Björck I. 2006. Resistant starch formation in temperature treated potato starches varying in amylose/amylopectin ratio. *Carbohydr Polym.* 65:306-313.
- López NH, Afanador GT, Ariza CJ. 2008. Evaluación del efecto de la suplementación de levaduras sobre la morfometría de vellosidades intestinales y productos de la microflora en pollos. *Rev Med Vet Zoot.* 55:63-76.
- López NH, Afanador GT, Ariza CJ. 2009. Evaluación de tres levaduras provenientes de ecosistemas colombianos en la alimentación de pollos de engorde. *Rev Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria.* 10(1):102-114.
- Marini PJ. 1978. Use of simulations programs to predict optimizations points in the broilers cycle. En: *Memories of World Poultry Congress.* Rio de Janeiro, Brasil. V5:170-172.
- Miazzo RD, Kraft S, Moschetti E. 1995. Dos niveles de levadura de cerveza (*S. cerevisiae*) como promotor natural de crecimiento en parrilleros. *Rev Arg Prod Anim.* 15(2): 662-663.
- Miazzo, RD, Peralta MF, Picco M. 2005. Performance productiva y calidad de la canal en broilers que recibieron levadura de cerveza (*S. cerevisiae*). *Rev Electron Vet [Internet]* [citado 2013 Julio 10]; 6(12):279(46):1-9. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n121205/120505.pdf>
- Miazzo RD, Peralta MF, Reta S. 2001. Yeast (*S. cerevisiae*) as natural additive for broiler chicken diets. En: *Proceedings XV European Symposium on the Quality of Poultry Meat.* Estambul, Turquía. WPSA- Turkey Branch, p. 175-177.
- [NRC] National Research Council. 1994. *Nutrient requirements of poultry.* Ninth revised edition, Washington: National Academy Press. p. 149.
- Patterson JA, Burkholder MK. 2003. Application of prebiotics and probiotics in poultry production. *Poult Sci.* 82:627-31.
- Pelicano ERL, de Souza PA, de Souza HBA, Leonel FR, Zeola NMBL, Boiago MM. 2004. Productive traits of broiler chickens fed diets containing different growth promoters. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 6:177-182.
- Rostagno HS. 2005. *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais.* Viçosa (MG, Brasil): Universidade Federal de Viçosa. p. 186.
- Santin E, Maiorka A, Macari M, Grecco M, Sanchez JC, Okada TM, Myasaka AM. 2001. Performance and intestinal mucosa development of broiler chickens fed diets containing *Saccharomyces cerevisiae* cell wall. *J Appl Poultry Res.* 10:236-244.
- [SAS] Statistical Analysis System Institute Inc. 2007. *SAS/STAT. Version 9. Users guide statically analysis system.* Cary (NC, EUA): SAS Institute, Inc.
- Sharma A, Yadav BS, Ritika. 2008. Resistant starch: Physiological roles and food applications. *Food Rev Int.* 24:193-234.
- Simon O, Jadamus A. 2002. Probiotics and prebiotics. En: *Proceedings 11th European Poultry Conference; 2002 julio, Bremen (Alemania).* p. 45-46.
- Singboottra P. 2005. *Reduction of Inflammatory responses by mannan rich fraction.* [Ph.D. thesis], [Raleigh, North Carolina] North Carolina State University. Consultado 22 agosto 2007. Disponible en: www.lil.ncsu.edu/thesis/available/etd-12282005-132106/unrestricted/etd.pdf.
- Spring P, Wenk C, Dawson KA, Newman KE. 2000. The effects of dietary mannano-oligosaccharides on cecal parameters and concentration of enteric bacteria in the ceca of Salmonella-challenged broiler chicks. *Poult Sci.* 79:205-211.
- Steel RGD, Torrie JH. 1992. *Bioestadística. Principios y Procedimientos.* México DF: Editorial Graf América. 622 p.

- Talpaz H, Hurwitz S, de la Torre J, Sharpe P. 1988. Economic optimization of growth trajectory for broilers. *Am. J. Agric. Econ.* 70: 382-390.
- Tungland BC, Meyer D. 2002. Nondigestible oligo- and polysaccharides (Dietary Fiber): their physiology and role in human health and food. *Compr Rev Food Sci F.* 1(3):90-109.
- Tufvesson F, Skrabanja V, Björck I, Elmstahl HL, Eliasson AC. 2001. Digestibility of starch systems containing amylose-glycerol mono-palmitin complexes. *LWT-Food Sci Technol.* 34(3):131-139.
- Upedra H, Yathiraj S. 2003. Effects of supplementing probiotics and mannan oligosaccharide on body weight feed conversion ratio and livability in broiler chicks. *Indian Vet J.* 80(10):1075-1077.
- Van der Aar. 2003. Getting to know starch better. Feed mix [internet], [citado 2012 June 15]; 11(2):16-18. Disponible en: http://www.allaboutfeed.net/PageFiles/10493/001_boerderij-download-AAF10620D01.pdf
- Van der Klis JD, Jansman AJM. 2002. Optimising nutrient digestion, absorption and gut barrier function in monogastrics: reality or illusion?. En: Blok MC, Vahl HA, de Lange L, Van de Braak AE, Hemke G, Hessing M, editores. *Nutrition and health of the gastrointestinal tract.* Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers. p. 15-36.
- Wenk C. 2003. Growth promoter alternatives after the ban on antibiotics. *Pig News and Information.* 24:11N-16N.

Article citation:

Rodríguez-Aguilar D, Ariza-Nieto CJ, Afanador-Téllez G. 2014. Potencial del almidón resistente retrogradado de papa frente a otros aditivos funcionales usados en pollos de engorde [Potential of potato retrograded resistant starch forehead with other functional additive used in broiler chickens]. *Rev Fac Med Vet Zoot.* 61(1): 44-63.