

COM-16

Efecto de la adición de xilanasas y fitasas en pollos broiler alimentados con dietas en base a trigo

G. GONZÁLEZ-ORTIZ¹, W. MIRZA², V. PIRGOZLIEV² y M. BEDFORD^{1*}

¹AB Vista Feed Ingredients, Marlborough, Wiltshire, SN8 4AN, United Kingdom (UK), ²The National Institute of Poultry Husbandry, Harper Adams University, Shropshire, TF10 8NB, UK
*email: Mike.bedford@abvista.com

La adición de carbohidrasas en dietas en base a cereales permite mejorar los resultados productivos de los pollos broiler. Además, alimentar a los animales con niveles de fitasa por encima de la matriz nutricional favorece la destrucción del fitato, mejorando así el crecimiento de los mismos. El objetivo de este estudio fue evaluar la combinación de una xilanasas y una fitasa sobre los resultados productivos, la utilización de los nutrientes y la calidad de la cama de pollos de engorde alimentados con una dieta en base a trigo.

Se distribuyeron 960 pollos Ross 308 machos de 1 día de edad en 6 tratamientos experimentales (8 réplicas/tratamiento). El ensayo se diseñó siguiendo un modelo factorial con dos niveles de xilanasas (0 o 16.000 BXU/kg) y tres niveles de fitasa (0, 500 o 1.500 FTU/kg). Los animales fueron alimentados *ad libitum* con dietas en base a trigo y soja en dos fases: arranque/crecimiento (1-21d) y crecimiento/retirada (22-42d). Se registraron la ganancia de peso (GM) y el consumo (CM) y se calculó el índice de conversión (IC) por periodo y ave. Entre 18-21 días de edad se recogieron muestras de excreta mediante el método de recogida total para determinar la utilización de materia seca (MS), energía metabolizable aparente (EMA), nitrógeno (N) y minerales (P, Na, K, Mg, Ca, S, Mn, Zn y Cu). Al final del ensayo, se midió la humedad de la cama y se evaluó su calidad. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza a dos vías (JMP Pro 11).

La suplementación de ambas enzimas durante los dos períodos mejoró la GM ($P < 0,0001$) y el CM ($P < 0,0001$). El IC respondió de forma positiva a la adición de la xilanasas ($P < 0,0001$) y de la fitasa ($P < 0,0001$). La utilización de los nutrientes (MS, EMA, N, Na, K, S, Mn, Zn, Cu) fue superior cuando ambas enzimas fueron incorporadas en la dieta ($P < 0,05$). La humedad mejoró con la adición de fitasa ($P = 0,003$), independientemente del nivel de inclusión de xilanasas, en cambio se observaron cambios en la calidad de la cama.

La adición de xilanasas y fitasas en dietas en base a trigo mejora los resultados productivos en pollos broiler; la fitasa demostró mejorar la calidad de la cama, reduciendo la posibilidad de desarrollar lesiones plantares.

Addition of non-starch polysaccharide (NSP)-degrading enzymes has been reported to be effective in improving performance in broilers fed cereal-based diets. Moreover, feeding higher levels of phytase maximizes the removal of phytate, an anti-nutritional factor found in grains, thus improving bird performance. The aim of this study was to evaluate the combination of xylanase and phytase on animal performance, nutrient utilization and litter quality of broiler chickens fed a wheat-based diet.

Nine-hundred sixty Ross 308 broilers (1-day-old) were distributed in six experimental treatments with eight replicates each. The trial was designed as a factorial arrangement with two levels of xylanase (0 or 16,000 BXU/kg) and three levels of phytase (0, 500 or 1,500 FTU/kg). The diets were wheat-based and fed *ad libitum* in two phases, from 1 to 21-days-old (starter) and from 22 to 42 days-old (grower). Body weight gain (BWG) and feed intake (FI) were measured and feed conversion ratio corrected by mortality (FCR) calculated. The total faeces collection method was used between 18 and 21-days-old to determine the utilization of dry matter (DM), apparent metabolizable energy (AME), nitrogen (N) and minerals (P, Na, K, Mg, Ca, S, Mn, Zn and Cu). Litter score and litter moisture were evaluated according to the stocking density at the end of the trial. Statistical comparisons were performed by using a two-way ANOVA (JMP Pro 11).

Supplementation with both exogenous enzymes significantly influenced BWG and FI ($P < 0.001$) at the end of the study. The addition of xylanase and phytase led to reductions on the FCR ($P < 0.0001$ and $P < 0.0001$, respectively). The positive effects on animal performance may be related to better nutrient utilization (DM, AME, N, Na, K, S, Mn, Zn, Cu), which was evident in the present trial when the combination of xylanase and phytase were applied ($P < 0.05$). Litter moisture were improved by supplementing phytase ($P = 0.003$), regardless of xylanase inclusion, although no differences were noted in litter score.

Supplementation with xylanase and phytase in wheat-based diets improved chickens performance. These results may be related to the improvements in nutrient utilization. The addition of phytase enzymes led to improved litter quality and may reduce the prevalence of foot lesions.

Palabras claves: pollos broiler; fitasa; xilanasa; índice de conversión; superdosing

Keywords: broiler chicken; phytase; xylanase; feed conversion ratio; superdosing

Introducción

La aplicación de enzimas exógenas en nutrición animal es una práctica que se ha extendido de una forma exponencial en las últimas décadas. Este rápido avance ha permitido profundizar en el conocimiento sobre los mecanismos de acción de las enzimas, evidenciando sus efectos colaterales y beneficiosos en los animales, más allá del simple hecho de degradar el fitato o combatir la viscosidad de los cereales mediante la suplementación con fitasas o carbohidrasas, respectivamente (Masey O'Neill et al., 2014a).

Es bien conocido que las carbohidrasas mejoran el rendimiento de los animales por la liberación de los nutrientes encapsulados por las paredes celulares y por la reducción de la viscosidad, debida principalmente a la presencia de arabinosilanos y β -glucanos (Bedford y Classen, 1992). Sin embargo, recientemente se ha postulado la existencia de una ruta prebiótica por la cual los productos liberados a partir de la acción de las carbohidrasas pueden ejercer por si mismos un efecto beneficioso para el animal (O'Neill et al., 2014b). El incremento de productos de fermentación en tramos distales del intestino parece actuar sobre la regulación hormonal, en concreto mediante la liberación del péptido YY (PYY), controlando el ritmo del vaciado gástrico (Goodlad et al., 1987). Presumiblemente, este efecto sobre el ritmo del vaciado gástrico incrementa la digestión de los nutrientes, no sólo por el mayor tiempo de exposición de la digesta a las enzimas endógenas sino también por el mayor tiempo de acción mecánica de la molleja (O'Neill et al., 2014a). En este sentido, la liberación de PYY en

respuesta a la adición de xilanas se ha demostrado en un estudio reciente en pollos broiler (Singh et al., 2012).

Por otro lado, el fitato (IP_6 – hexafosfato de inositol) presente en los vegetales es una fuente de fósforo pero también se considera un factor antinutritivo muy a tener en cuenta. Los cereales como el trigo y el maíz pueden tener una cantidad aproximada de 0,7% de fitato, y en algunos sub-productos como el salvado de arroz, puede alcanzar hasta el 5% de su peso (Selle et al., 2007). El fitato interfiere con la digestión de la proteína, ya que provoca una reducción de la actividad de la pepsina. En consecuencia, incrementa la secreción de ácido clorhídrico, irritando el estómago y estimulando una secreción adicional de mucina. Todo ello conlleva un incremento en las pérdidas endógenas y de energía neta (Selle et al., 2009). Además, y dada su alta capacidad para ligar nutrientes, hay que considerar que también reduce la disponibilidad de los minerales en el tracto gastrointestinal. Hasta hace unos años y desde un punto de vista nutricional, se perseguía liberar un 0,15% de fósforo (0,12% P digestible en aves) aplicando una dosis estándar de fitasa, alcanzando un máximo de destrucción del fitato del 50-70% (Masey O'Neill et al., 2014a). Sin embargo, hoy en día, con la nueva generación de fitasas, es posible alcanzar hasta un 90% de destrucción del fitato. Esta nueva generación de fitasas ha permitido aplicar de forma práctica el concepto de “superdosing”, esto es, la utilización de dosis más altas de fitasa (normalmente tres o cuatro veces la dosis estándar), manteniendo la matriz nutricional de la dosis estándar. Así, las últimas investigaciones sugieren que los beneficios que se observan cuando se utiliza el ‘superdosing’ se deben a algo más que a la liberación del fósforo y la eliminación del fitato. Si el fitato es desfosforilado por completo, el producto final es inositol, el cual se considera un promotor del crecimiento en pollos broiler. El uso de ‘superdosing’ en pollos broiler ha demostrado mejorar entre tres y cuatro puntos el índice de conversión, probablemente debido a la destrucción del fitato y la provisión del inositol (Walk et al., 2014). Finalmente, otro de los aspectos prometedores de la suplementación con dosis altas de fitasa es la reducción de la humedad de la cama y la incidencia de lesiones plantares (Bedford et al., 2007; Bedford et al., 2012). En un estudio reciente, utilizando ‘superdosing’ observaron mejoras en la calidad de la cama y menos problemas de dermatitis plantares (Bedford y Walk, 2015).

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de inclusión de una xilanas y una fitasa sobre los resultados productivos, la utilización de los nutrientes y la calidad de la cama de pollos broiler alimentados con una dieta en base a trigo.

Material y métodos

Animales e instalaciones

Un total de 960 pollos broiler (estirpe Ross 308) machos de 1 día de edad (P.D. Hooks, Cote, Oxfordshire, OX18 2EG, UK) se transportaron a las instalaciones de la Universidad Harper Adams donde se realizó el experimento siguiendo los estándares de bienestar establecidos por la institución. Durante todo el periodo experimental los animales se alojaron en condiciones de luz y temperatura controladas. Se aplicó un programa de luz estándar, disminuyendo progresivamente las horas de luz durante la primera semana desde las 23h hasta las 18h. De forma similar, se ajustó la temperatura gradualmente hasta alcanzar los 20°C. Tanto la temperatura como la humedad se controlaron mediante presión negativa en la sala. Los animales fueron alojados en 48 jaulas en suelo (2,1 m²) a razón de 20 animales por jaula y distribuidos al azar en 6 tratamientos experimentales. Todas las jaulas disponían de comederos de plástico y bebederos en forma de tetina así como viruta de madera para facilitar el aplomo de las aves y para la absorción de sus deyecciones. Las dietas y el agua se administraron para consumo *ad libitum* durante todo el experimento.

Dietas y diseño experimental

Se formularon dos dietas base (*Tabla 1*), una dieta de arranque/crecimiento y una dieta crecimiento/retirada en base a trigo y soja adecuados en proteína y energía pero con un bajo contenido en fósforo disponible. Las dietas se suplementaron siguiendo un modelo factorial con dos niveles de xilanas incluyendo 0 o 16.000 BXU/kg (Econase® XT, AB Vista FeedIngredientsLtd, Marlborough, UK) y tres niveles de fitasa incluyendo 0, 500 o 1.500 FTU/kg (Quantum® Blue, AB Vista FeedIngredientsLtd, Marlborough, UK). Las dietas se ofrecieron en forma de gránulo (máx. Tª 60-65°C) y fueron administradas en dos fases: arranque/crecimiento (1-21d) y crecimiento/retirada (22-42d). Las muestras de pienso se analizaron para conocer la composición proximal, siguiendo los procedimientos propuestos por la AOAC (2005). Se determinó la energía bruta mediante calorímetro adiabático, el contenido en nitrógeno (Sweeney, 1989) y adicionalmente, se cuantificaron los niveles de calcio y fósforo por espectrometría (Tanner et al., 2002). Finalmente, se determinaron los niveles de inclusión de la fitasa mediante el kit ELISA Quantiplate siguiendo el método con referencia AP181 propuesto por Enviroligix y los niveles de xilanas siguiendo el protocolo establecido por AB Vista FeedIngredients registrado con referencia EC 3.2.1.8.

Controles

Se registraron la ganancia de peso (GM) y el consumo (CM) y se calculó el índice de conversión (IC), corregido por la tasa de mortalidad. Los resultados son expresados por periodo (1-21d, 22-42d y 1-42d) y ave. Entre los días 18-21, antes de finalizar el período de arranque se recogieron muestras de excreta mediante el método de recogida total para determinar la utilización de la materia seca (MS), energía metabolizable aparente (EMA), nitrógeno (N), EMA corregida por nitrógeno (EMAn) y minerales (P, Na, K, Mg, Ca, S, Mn, Zn y Cu). Las excretas se secaron a 60°C mediante ventilación forzada hasta alcanzar un peso constante. Para la determinación de la energía y de los minerales se siguieron los mismos métodos descritos para los piensos. Los valores de utilización de los nutrientes se calcularon a partir de la diferencia entre la cantidad ingerida y la cantidad excretada, expresada como porcentaje de la cantidad ingerida. Al final del ensayo, 42 días de edad, se midió la humedad de la cama y se evaluó su calidad en una escala de 5 puntos (Mirza et al., 2011), donde 1 indica una cama friable y sin compactación y 5 indica una cama compacta por la humedad y pastosa.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza a dos vías mediante el paquete estadístico JMP Pro 11 (SAS; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). En todos los casos, se consideraron significativos P-valores menores de 0,05 y valores por debajo de 0,10 son discutidos como tendencia.

Tabla 1. Ingredientes, composición en nutrientes calculada y análisis de composición químico de los piensos base.

Composición de ingredientes [%]	Dietas experimentales		Composición en nutrientes calculada [%]		Dietas experimentales	
	Arranque*	Retirada	Arranque	Retirada	Arranque	Retirada
Trigo	53,36	62,70	Calcio	0,80	0,65	
Harina soja 48	35,55	24,18	Fósforo	0,63	0,52	
Harina de colza	3,00	5,00	Fósforo disponible	0,33	0,25	
Aceite de soja	5,20	5,90	Dig. Metionina + Cisteína	0,96	0,78	
Fosfatocálcico	0,88	0,44	Dig. Lisina	1,30	1,05	
Carbonatocálcico	0,86	0,77	Dig. Histidina	0,61	0,51	
Mezclavitamínica mineral	0,50	0,50	Dig. Triptófano	0,30	0,25	
Sal	0,43	0,34	Dig. Treonina	0,89	0,73	
DL-Metionina	0,19	0,10	Dig. Arginina	1,59	1,27	
Cocciostato (Coban-Monensina)	0,02	0,02	Dig. Isoleucina	1,00	0,81	
HCl Lisina	0,01	0,05	Dig. Leucina	1,79	1,47	
Análisis de composición química [%]			Dig. Fenilalanina	1,14	0,94	
Materia seca	89,45	88,79	Dig. Tirosina	0,81	0,66	
Proteína bruta	23,35	20,14	Dig. Valina	1,10	0,92	
Grasa bruta	6,22	7,18	Dig. Glicina	1,00	0,85	
Fibra neutro detergente	8,83	12,20	Dig. Serina	1,14	0,95	
Cenizas	4,79	4,15	Sodio	0,20	0,17	
Calcio	0,79	0,71	Cloro	0,34	0,32	
Fósforo	0,62	0,53	Potasio	1,00	0,82	
Energía bruta, kcal/kg	4.170	4.189	AME, kcal/kg	3.060	3.150	

Mezcla vitamínica mineral por kg de alimento: Vitamina A: 16.000 UI; Vitamina D₃: 3.000 UI; Vitamina E: 150 mg; Vitamina K₃: 5 mg; Vitamina B₁: 3 mg; Vitamina B₂: 10 mg; Vitamina B₆: 3 mg; Vitamina B₁₂: 15 µg; Ácido fólico: 1,5 mg; Biotina: 7,5 µg; Ácido pantoténico: 14,7 mg; Ácido nicotínico: 60 mg; Colina: 500 mg; Mn: 100 mg; Zn: 82,22 mg; I: 1 mg; Fe: 20 mg; Cu: 10 mg; Se: 0,2 mg; Co: 1 mg; Mo: 0,5 mg.

*Dietas con marcador interno óxido de titanio (TiO₂) para los cálculos de utilización de nutrientes

Resultados y discusión

La composición química de las dietas basales estuvo dentro del rango esperado (*Tabla 1*). De la misma manera, se pudo contrastar la actividad enzimática real de las dietas experimentales con los valores teóricos (*Tabla 2*).

Tabla 2. Actividad enzimática teórica y real de los piensos experimentales.

Dieta	Valores teóricos		Arranque		Retirada	
	Xilanasa (BXU/kg)	Fitasa (FTU/kg)	Xilanasa (BXU/kg)	Fitasa (FTU/kg)	Xilanasa (BXU/kg)	Fitasa (FTU/kg)
1	0	0	<2.000	0	<2.000	0
2	0	500	<2.000	836	<2.000	839
3	0	1.500	<2.000	2.380	<2.000	2.370
4	16.000	0	10.200	0	14.000	0
5	16.000	500	17.800	715	17.800	728
6	16.000	1.500	18.700	1.670	18.700	1.930

En relación a los parámetros productivos (*Tabla 3*), se observaron que la interacción para el CM y la GM fue estadísticamente significativa considerando el periodo global ($P < 0.001$). El consumo de alimento fue menor al suplementar con xilanasa y la transformación en kilos por ave fue mayor al adicionar cualquiera de las dos dosis de fitasa. Sin embargo, si bien la interacción entre las dos enzimas sobre el IC no resultó igualmente significativa, se puede observar en la comparación entre los seis grupos de tratamiento, que la incorporación de xilanasa en dietas con niveles de 500 o 1.500 FTU/kg presentó mejores resultados. Así mismo, la suplementación con fitasa 3 veces por encima de la matriz nutricional, mejoró numéricamente en un punto el IC cuando se combinó con xilanasa. Por otro lado, los resultados de la fase de arranque fueron semejantes a los resultados del periodo global y es que la influencia de la suplementación con enzimas exógenas en la dieta de las aves tuvo una mayor relevancia en primeras edades. La suplementación con enzimas exógenas en primeras edades parece mejorar la digestión de los nutrientes, compensando la inmadurez del tracto digestivo de las aves, cuya secreción endógena de enzimas, y la producción de otros compuestos requeridos en el proceso de digestión como las mucinas y las sales biliares dista de ser óptima hasta pasadas dos o tres semanas de vida (Beaulac, 2015).

Tabla 3. Influencia de la suplementación con xilanasa y fitasa sobre los parámetros productivos.

Xilanasa (BXU/kg)	Fitasa (FTU/kg)	1-21d			22-42d			1-42d		
		CM (g/ave)	GM (g/ave)	IC (g/g)	CM (g/ave)	GM (g/ave)	IC (g/g)	CM (g/ave)	GM (g/ave)	IC (g/g)
0	0	^c 923	^d 573	^a 1,62	^d 2.245	^c 1.525	^c 1,55	^d 3.281	^c 2.098	1,57
0	500	^{ab} 1.092	^b 875	^{bc} 1,25	^{ab} 2.840	^a 1.867	^{ab} 1,60	^{ab} 4.074	^a 2.741	1,49
0	1.500	^a 1.134	^a 929	^c 1,22	^a 2.952	^a 1.914	^a 1,62	^a 4.233	^a 2.843	1,49
16.000	0	^b 1.053	^c 808	^b 1,31	^c 2.651	^b 1.760	^{abc} 1,58	^c 3.836	^b 2.568	1,49
16.000	500	^{ab} 1.108	^{ab} 912	^c 1,21	^b 2.806	^a 1.882	^{bc} 1,57	^b 4.054	^a 2.794	1,46
16.000	1.500	^a 1.128	^a 931	^c 1,21	^{bc} 2.774	^{ab} 1.842	^{bc} 1,58	^b 4.040	^a 2.774	1,45
	LSD	57	47	0,08	134	99	0,04	177	124	0,03
0		^b 1.050	^b 792	^a 1,36	^b 2.679	^b 1.769	1,59	^b 3.863	^b 2.561	^a 1,51
16.000		^a 1.096	^a 884	^b 1,24	^a 2.744	^a 1.828	1,58	^a 3.977	^a 2.712	^b 1,47
	LSD	33	27	0,05	80	59	0,02	102	72	0,02
	0	^b 988	^c 691	^a 1,46	^b 2.448	^b 1.643	^b 1,57	^b 3.559	^b 2.333	^a 1,53
	500	^a 1.100	^b 893	^b 1,23	^a 2.823	^a 1.874	^{ab} 1,59	^a 4.064	^a 2.768	^b 1,47
	1.500	^a 1.131	^a 930	^b 1,22	^a 2.863	^a 1.878	^a 1,60	^a 4.136	^a 2.808	^b 1,47
	LSD	41	33	0,06	95	70	0,03	125	88	0,02
<i>P-modelo</i>		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,020	<0,001	<0,001	<0,001
<i>P-xilanasa</i>		0,007	0,0001	<0,001	0,099	0,043	0,329	0,029	<0,001	<0,001
<i>P-fitasas</i>		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,055	<0,001	<0,001	<0,001
<i>P-interacción</i>		0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,026	<0,001	<0,001	0,158

CM: consumo medio por período y ave; GM: ganancia media por período y ave; IC: índice de conversión por período y ave corregido por la tasa de mortalidad. LSD: test de mínimas diferencias significativas.

Respecto a los resultados de utilización de los nutrientes (Tabla 4), todos, exceptuando el Ca y P, estuvieron sujetos a una interacción estadísticamente significativa ($P < 0,05$). Generalmente, la mejor utilización de todos los nutrientes se alcanzó con la combinación de xilanasa y fitasa, siendo el beneficio del superdosing únicamente numérico respecto a la matriz nutricional, independientemente del nivel de xilanasas. La utilización del P fue superior al incrementar la dosis de fitasa y con la inclusión de xilanasas. En cuanto a la utilización del Ca, tendió a disminuir al incrementar la dosis de fitasa sugiriendo que el P más que el propio Ca fue un factor limitante en la actividad de la fitasa. Cabe resaltar que los resultados de utilización del Na fueron extraños y opuestos al resto de nutrientes. El Na mostró una menor utilización al incrementar la dosis de fitasa en dietas sin xilanasas, pero en este estudio se alcanzó un valor de metabolicidad óptimo en dietas con 500 FTU/kg y en presencia de xilanasas. Finalmente, los valores de utilización de Zn y el Cu fueron negativos en las dietas control, llegando a valores extremos en el caso del Zn (-232%) lo que revela la ausencia de un equilibrio en la disponibilidad de estos minerales sin el aporte de enzimas exógenas. El patrón general en el comportamiento de estos minerales fue el mismo, aunque el efecto de la fitasa fue mucho mayor en las dietas sin xilanasas y el efecto de la xilanasas fue menos efectivo con la presencia de fitasa.

En cuanto a la calidad de la cama, no se observaron efectos significativos por la adición de ninguna de las enzimas en la escala de puntos (Figura 1). Sin embargo, se observó una interacción estadísticamente significativa ($P = 0,05$) en los resultados de humedad de la cama corregidos por la densidad del corral. La no suplementación con enzimas exógenas en las dietas de pollos broiler aumentó la humedad de la cama, mientras que las camas de los pollos suplementados con fitasa o

xilanasa o la combinación de ambas, mostraron un menor contenido de humedad, probablemente debido a la mayor utilización de de los nutrientes.

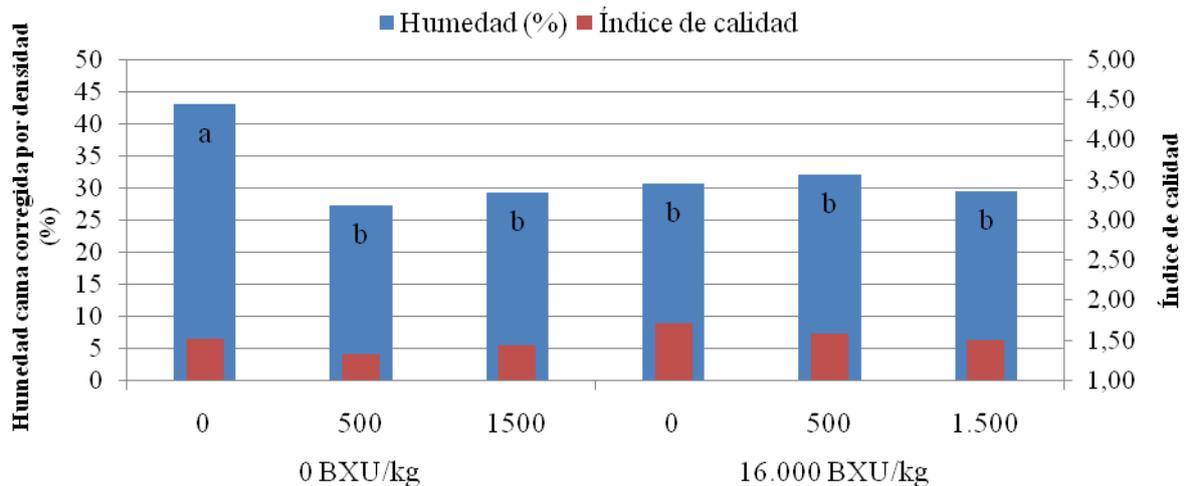


Figura 1. Humedad de la cama corregida por la densidad del corral (%) e índice de calidad de la cama.

En general, el uso de cada una de las enzimas mejoró en términos generales la utilización de la energía y de los minerales, y el índice de conversión tendió a mejorar cuando se utilizaron ambas enzimas en la misma ración. Las aves suplementadas con niveles de fitasa por encima de la matriz nutricional (1.500 FTU/kg, superdosing) presentaron valores de aprovechamiento de los nutrientes ligeramente superiores en comparación con aquellas que recibieron una dosis estándar (500 FTU/kg). Finalmente, se observó un menor contenido de humedad de las camas en aquellos tratamientos suplementados con enzimas exógenas, lo que presupone una reducción del riesgo de padecer lesiones plantares.

Tabla 4. Influencia de la suplementación con xilanasa y fitasa sobre la utilización de los nutrientes en la fase de arranque (18-21 días)¹

Xilanasa (BXU/kg)	Fitasa (FTU/kg)	EMA (kcal/kg MS)	EMAn (kcal/kg MS)	N (%)	MS (%)	P (%)	Na (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	S (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)
0	0	^b 3.127	^b 3.010	^c 54,31	^d 67,56	65,98	^a 72,43	^a 23,08	^a 26,14	^a 63,04	^d 56,62	^a 2,75	^b -231,83	^d -25,55
0	500	^a 3.575	^a 3.435	^b 65,11	^c 74,03	68,25	^{bc} 62,64	^c 34,31	^c 38,89	^b 60,00	^c 64,70	^c 14,96	^a -93,62	^c 1,73
0	1.500	^a 3.635	^a 3.490	^{ab} 67,79	^b 75,60	70,36	^{bc} 65,60	^b 38,21	^b 43,27	^{ab} 60,52	^b 67,76	^b 18,19	^a -93,68	^{bc} 8,44
16.000	0	^a 3.676	^a 3.529	^{ab} 68,53	^b 76,32	69,99	^{bc} 62,73	^b 39,01	^b 44,26	^b 59,24	^{ab} 69,29	^b 18,74	^a -41,35	^{ab} 11,81
16.000	500	^a 3.752	^a 3.601	^a 70,43	^a 78,07	71,45	^{ab} 67,64	^a 42,03	^a 47,13	^b 59,89	^a 70,35	^{ab} 20,75	^a -40,26	^a 17,12
16.000	1.500	^a 3.759	^a 3.608	^a 70,08	^a 78,24	71,74	^c 60,40	^a 43,03	^a 48,10	^b 58,71	^a 70,16	^a 22,51	^a -64,41	^a 16,08
LSD		187	177	4,82	1,19	1,97	5,61	2,78	2,60	2,87	2,31	3,12	66,87	7,52
0		^b 3.446	^b 3.312	^b 62,40	^b 72,39	^b 68,20	^a 66,89	^b 31,87	^b 36,10	^a 61,19	^b 63,03	^b 11,96	^b -139,71	^b -5,13
16.000		^a 3.729	^a 3.579	^a 69,68	^a 77,54	^a 71,06	^b 63,59	^a 41,36	^a 46,49	^b 59,28	^a 69,93	^a 20,67	^a -48,67	^a 15,00
LSD		108	102	2,78	0,69	1,14	3,24	1,60	1,50	1,66	1,34	1,80	38,61	4,34
0		^b 3.401	^b 3.269	^b 61,42	^c 71,94	^b 67,99	^a 67,58	^c 31,05	^c 35,20	61,14	^b 62,96	^c 10,74	^b -136,59	^b -6,87
500		^a 3.663	^a 3.518	^a 67,77	^b 76,05	^a 69,85	^{ab} 65,14	^b 38,17	^b 43,01	59,95	^a 67,52	^b 17,86	^a -66,94	^a 9,42
1.500		^a 3.697	^a 3.549	^a 68,93	^a 76,92	^a 71,05	^b 63,00	^a 40,62	^a 45,68	59,62	^a 68,96	^a 20,35	^a -79,04	^a 12,26
LSD		132	125	3,41	0,84	1,39	3,97	1,96	1,84	2,03	1,64	2,21	47,28	5,32
<i>P-modelo</i>		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,090	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>P-xilanasa</i>		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,049	<0,001	<0,001	0,027	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>P-fitasa</i>		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,084	<0,001	<0,001	0,309	<0,001	<0,001	0,013	<0,001
<i>P-interacción</i>		0,004	0,004	0,003	<0,001	0,170	0,002	<0,001	<0,001	0,210	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

¹Se recogieron muestras de excreta mediante el método de recogida total para determinar la utilización de la materia seca (MS), energía metabolizable aparente (EMA), nitrógeno (N), EMA corregida por nitrógeno (EMAn) y minerales (P, Na, K, Mg, Ca, S, Mn, Zn y Cu). Los valores de utilización de los nutrientes se calcularon a partir de la diferencia entre la cantidad ingerida y la cantidad excretada, expresada como porcentaje de la cantidad ingerida.

Los resultados se han obtenido a partir de 8 réplicas por tratamiento.

LSD: test de mínimas diferencias significativas.

Referencias

- BEAULAC, K.** (2015) The effects of graded levels of phytase in broiler diets on growth, intestinal development and nutrient digestibility. *Thesis at Saskatchewan University, Canada.*
- BEDFORD, M.R. and CLASSEN, H.L.** (1992) Reduction of intestinal viscosity through manipulation of dietary rye and pentosanase concentration is effected through changes in the carbohydrate composition of the intestinal aqueous phase and results in improved growth rate and food conversion efficiency of broiler chicks. *Journal of Nutrition* **122**(3):560-569.
- BEDFORD, M.R., PARR, T., PERSIA, M.E., BATAL, A. and WYATT, C.L.** (2007) Influence of dietary calcium and phytase source on litter moisture and mineral content. *Poultry Science* **86**(Supp.1): 673.
- BEDFORD, M.R., WALK, C.L. and KUHN, I.** (2012) Is phytase responsible for increasing the water:feed intake ratio? *Poultry Science* **91**(Supp.1): 18.
- BEDFORD, M.R. and WALK, C.L.** (2015) Superdosing phytase in wheat-based diets improves litter and foot pad score whilst simultaneously improving performance. *Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium* **26**: 193.
- GOODLAD, R.A., LENTON, W., GHATEI, M.A., ADRIAN, T.E., BLOOM, S.R. and WRIGHT, N.A.** (1987) Proliferative effects 'of fibre' on the intestinal epithelium: relationship to gastrin, enteroglucagon and PYY. *Gut* **28**: 221-226.
- MASEY O'NEILL, H.V., BEDFORD, M.R. and WALKER, N.** (2014a) Recent developments in feed enzyme technology, in: *Recent Advances in Animal Nutrition* (P. C. Garnsworthy and J. Wiseman eds), pp 97-106, Context.
- MASEY O'NEILL, H.V., SMITH, J.A. and BEDFORD, M.R.** (2014b) Multicarbohydrase enzymes for non-ruminants. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **27**(2): 290-301.
- MIRZA, M.W., PIRGOZLIEV, V. and SPARKS, N.** (2011) Diets based on different energy to protein concentrations: effects on nutrient digestibility, growth performance, litter quality and leg health in turkey production. *Proceedings of the 5th Turkey Science and Production Conference*, pp 63-65.
- SELLE, P.H. and RAVINDRAN, V.** (2007) Microbial phytase in poultry nutrition. *Animal Feed Science and Technology* **135**: 1-41.
- SELLE, P.H., COWIESON, A.J. and RAVINDRAN, V.** (2009) Consequences of calcium interactions with phytate and phytase for poultry and pigs. *Livestock Science* **124**: 126-141.
- SINGH, A., MASEY O'NEILL, H.V., GHOSH, T.K., BEDFORD, M.R. and HALDAR, S.** (2012) Effects of xylanase supplementation on performance, total volatile fatty acids and selected bacterial population in caeca, metabolic indices and peptide YY concentrations in serum of broiler chickens fed energy restricted maize-soybean based diets. *Animal Feed Science and Technology* **177**: 194-203.
- SWEENEY, R.A.** (1989) Generic combustion method for determination of crude protein in feeds: Collaborative study. *Journal of Association of Official Analytical Chemists* **72**: 770-774.
- TANNER, S.D., BARANOV, V.I. and BANDURA, D.R.** (2002) Reaction cells and collision cells for ICP-MS: a tutorial review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* **57**: 1361-1452.
- WALK, C.L., SANTOS, T.T. and BEDFORD, M.R.** (2014) Influence of superdoses of a novel microbial phytase on growth performance, tibia ash, and gizzard phytate and inositol in young broilers. *Poultry Science* **93**(5): 1172-1177.