
DIGESTIBILIDAD DE MATERIAS PRIMAS ENERGÉTICAS EXTRUSADAS EN LA ALIMENTACIÓN DE CODORNICES (*Coturnix coturnix japonicus*)¹

William Narváez-Solarte²
Jenny Paola Toro Naranjo³
Carlos Eduardo Giraldo Murillo²

RESUMEN

El calentamiento del almidón de los cereales durante el proceso de extrusión a temperaturas entre 60 y 80°C, en presencia de agua hace que el gránulo se hinche y alcance la gelatinización, la cual tiene ventajas en cuanto al aumento de la digestibilidad de los nutrientes. Con el objetivo de determinar el coeficiente de digestibilidad de los nutrientes del almidón de maíz, el almidón de yuca, el sorgo y el arroz quebrado cuando son extrusados e incluidos en la dieta de codornices *Coturnix coturnix japonicus*, se utilizaron 175 codornices machos de 6 semanas de edad y peso promedio de 123±6,3 gramos, distribuidas en un diseño irrestrictamente al azar, con 5 tratamientos, 5 repeticiones por tratamiento y 7 animales por unidad experimental, y según el tratamiento se alimentaron con una dieta de referencia y cuatro dietas experimentales preparadas con 80% de la dieta referencia y 20% del ingrediente a evaluar. Después de un período de adaptación de 10 días, se dio inicio al período experimental con una duración de 10 días, tiempo durante el cual las codornices tuvieron agua y alimento *ad libitum*. Se realizó el análisis proximal de las dietas, de los alimentos y de las excretas; así mismo se determinaron sus valores de energía bruta por medio de una bomba calorimétrica adiabática; posteriormente se calcularon los coeficientes de digestibilidad total

aparente y el valor de la energía metabolizable de los ingredientes. Los resultados fueron analizados por el ANOVA y la prueba de SNK ($p<0,05$) para establecer la diferencia estadística entre medias de tratamientos. En general todos los ingredientes presentaron altos coeficientes de digestibilidad de los nutrientes, pero, fueron el almidón de maíz y el almidón de yuca los que presentaron los mejores, al ser comparados con el sorgo y el arroz quebrado.

Palabras clave: almidón, arroz, maíz, sorgo, yuca, gelatinización.

DIGESTIBILITY OF ENERGETIC RAW MATERIAL EXTRUDED IN QUAILS' FEEDING (*Coturnix coturnix japonicas*)

ABSTRACT

Heating starch from cereals during the extrusion process at temperatures between 60 and 80°C in presence of water makes the granule swell up and reach gelatinization, which has advantages regarding the digestibility of nutrients increase. With the aim to determine the coefficient of digestibility from corn starch, cassava starch, sorghum and broken rice nutrients when they are extruded and included in the diet of quails *Coturnix coturnix japonicus*, 175 male 6 weeks

¹ Financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados de la Universidad de Caldas.

² Profesor, Departamento de Salud Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. Correo electrónico: wnarvaez@ucaldas.edu.co, cgiraldo@ucaldas.edu.co

³ Estudiante del Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. Correo electrónico: yenny jepa_toro@hotmail.com

of age and an average weight of 123 ± 6.3 g quails were used. The birds were distributed in a completely randomized design with 5 treatments, 5 repetitions per treatment and 7 animals per experimental unit and, depending on the treatment they were fed with a reference diet and four experimental diets prepared with 80% of the reference diet and 20% of the ingredient to be tested. After an adaptation period of 10 days, the experimental stage began in a period lasting 10 days during which quails were given water and food *ad libitum*. The proximal analysis of the diets, food and excreta was carried out; likewise their raw energy values were determined

through an adiabatic calorimeter bomb. Later, the total apparent digestibility coefficient and value of energy of the ingredients that could be metabolized were calculated. The results were analyzed by ANOVA and Student Newman Keuls test ($p < 0.05$) to establish the statistical difference between treatment means. In general all the ingredients had high nutrient digestibility coefficients, but corn starch and cassava starch presented the best when compared with sorghum and broken rice.

Key words: starch, rice, corn, sorghum, cassava, gelatinization.

INTRODUCCIÓN

Entre los elementos que componen el costo de producción en la cría de animales, el ítem correspondiente a la alimentación representa el de mayor proporción, usualmente se le atribuye a ese componente entre el 70% y el 80% de los costos totales (1).

En Colombia, las dietas para codornices son formuladas con base en los requerimientos nutricionales recomendados por el National Research Council (NRC), el cual recomienda para las fases inicial y de crecimiento 24% de proteína bruta (PB) y 2900 kcal de energía metabolizable por kilogramo (kcal EM/kg) de dieta para la codorniz japónica (2). Las dietas de codornices también se formulan con base en extrapolaciones de valores nutricionales existentes en tablas de necesidades nutricionales para gallinas de postura, las cuales por lo general resultan no adecuadas para que los animales expresen el máximo potencial genético (3, 4).

Debido al elevado valor proteico y consecuentemente al adecuado perfil de aminoácidos, la torta de soya es considerada un excelente alimento para las aves por presentar niveles de PB que oscilan entre el 40 y 50% (5). De la misma forma, el maíz se constituye

en el insumo de mayor uso y de mayor valor económico en la fabricación de dietas, que dependiendo de la época del año, puede ser responsable de aproximadamente el 40% del costo de producción (6). Por lo anterior, el uso de alimentos alternativos busca la disminución de los costos en la producción de codornices. Aunque en la alimentación de codornices poco se ha explorado y mucho menos se conocen sus características particulares como el coeficiente de digestibilidad de sus nutrientes, se sabe que estas aves presentan diferencias fisiológicas y de comportamiento particulares en comparación con las gallinas de postura y el pollo de engorde (7).

La digestibilidad es la cantidad de alimento consumido por el animal que no es recuperado en las heces, y por eso se considera que el nutriente ingerido fue absorbido por la mucosa intestinal (8, 9). Generalmente, la digestibilidad se expresa en relación a la materia seca, ya sea como coeficiente o en porcentaje (10) y puede ser calculada como un coeficiente que representa la absorción de los nutrientes consumidos sin contar con la cantidad de nutrientes de carácter endógeno, presentes en las heces, denominado coeficiente de digestibilidad aparente, o en su defecto, coeficiente de digestibilidad verdadera al descontar los nutrientes de origen endógeno excretados (8).

Diversos factores interfieren sobre la digestibilidad de las materias primas en la alimentación animal, entre ellos están la composición de los alimentos, el nivel de fibra (9), la especie, el estado sanitario del animal (11), el procesamiento, la granulometría de los ingredientes, los factores antinutricionales y la reacción de Maillard (12).

Según Ariki (13), el productor debe concentrarse en mejorar las prácticas de manejo, higiene y principalmente de alimentación ofreciendo a los animales alimentos de óptima calidad y alta digestibilidad, que permitan maximizar el potencial genético de producción, el bienestar animal y al mismo tiempo incrementar la rentabilidad de la empresa pecuaria, previo conocimiento de que los costos en alimento representan en promedio 75% de los costos totales de producción en la explotación coturnícola (4, 14).

Una gran variedad de técnicas están siendo usadas por la industria para el procesamiento de alimentos balanceados para animales, lo cual conlleva a una alteración en la estructura y las características del alimento, incluida la digestibilidad de los cereales y de las dietas que los contienen. Existen las técnicas de procesado en frío, diseñadas para mejorar la digestibilidad por rotura física del grano o de su estructura interna, o las técnicas de procesado en caliente que suponen la utilización de calor, bien sea directamente o indirectamente a través del uso de vapor, con presencia o ausencia de humedad, con el objetivo principal de modificar la estructura física y química del almidón para hacerlo más digestible (15). Los almidones en muchos tubérculos, cereales y leguminosas al ser usados en la dieta animal están muy protegidos del ambiente polar de los fluidos del lumen gastrointestinal, así, en ingredientes como el trigo puede no tener acceso la enzima α -amilasa a menos que se realice una alteración física en el grano. El procesamiento físico y la cocción con temperaturas superiores a los 100°C por varios minutos, son los principales métodos que

facilitan la disponibilidad del almidón para la penetración del agua y en consecuencia permitir la acción de la α -amilasa (16).

El calentamiento del almidón a temperaturas entre 60 y 70°C en presencia de agua, para los cereales, hace que el gránulo se hinche y alcance un punto que es irreversible denominado gelatinización. La gelatinización es un proceso gradual, influido tanto por las condiciones de calentamiento así como por la temperatura en sí misma; aunque en todos los casos se obtienen digestibilidades mejores para los cereales procesados que para los no procesados, la respuesta es variable y depende del tipo de cereal (15).

Los métodos de procesamiento como el peletizado y la expansión tienen efectos leves sobre la disponibilidad de los almidones, mientras que en procesos más severos como el extrusado, donde se adiciona más agua y la temperatura es superior, se produce una gelatinización más completa, aumentando significativamente la disponibilidad de los almidones. Aunque la mayoría de los almidones se gelatinizan con temperatura superior a los 80°C y en presencia de la cantidad adecuada de agua, no es posible asumir que exista siempre una relación lineal entre el grado de gelatinización del almidón y la disponibilidad del mismo para la digestión, debido a que las características estructurales de los almidones, sus interacciones con otros componentes del endospermo y las condiciones de procesamiento pueden afectar la digestibilidad de los mismos (17).

Aunque el procesamiento del alimento por la extrusión tiene ventajas en cuanto al aumento de la disponibilidad de los nutrientes y del almidón para el ataque enzimático, Valencia y Pérez-Serrano (17) manifiestan que se debe tener cuidado durante el extrusado debido a que al aumentarse el proceso térmico se aumenta directamente el almidón resistente y disminuye la digestibilidad del alimento. Estos autores,

observaron que en el arroz bajo condiciones moderadas de calor se gelatiniza el 52% y se genera un 1,45% de almidón resistente, y que al aumentarse la severidad del proceso se gelatiniza el 76% del almidón pero se aumenta el almidón resistente a 1,95%, lo cual puede comprometer la digestibilidad de ciertos nutrientes. La presencia de algunas sustancias no amiláceas como las proteínas sobre la superficie de los gránulos, también puede limitar el ritmo de hidrólisis enzimática; los fosfolípidos presentes en algunos almidones tienen la tendencia de formar complejos con la amilosa y las cadenas largas ramificadas de la amilopectina, lo que resulta en una limitada hinchazón del gránulo (16).

Los contenidos de amilosa en los gránulos de almidón varían desde un 14 a 31%, dependiendo de la fuente botánica, y esta diferencia se puede atribuir a la actividad de las enzimas involucradas en el proceso de biosíntesis de componentes lineales o ramificados; las cadenas de glucosa en la amilosa están más unidas entre sí por puentes de hidrógeno, haciéndolas menos disponibles para el ataque amilolítico que en la amilopectina que tiene muchas cadenas ramificadas de glucosa; por lo tanto una mayor proporción de amilosa disminuye la digestibilidad del almidón por una correlación positiva entre el contenido de amilosa y la formación de almidón resistente (16). Para estos investigadores, los factores de importancia que deben ser considerados por tener influencia en la eficiencia catalítica de las enzimas durante la hidrólisis *in vitro* del almidón son: las características del almidón, el acceso físico de las enzimas al almidón, la disponibilidad de agua necesaria para la hidrólisis de los enlaces glicosídicos y las menores tasas de difusión del sustrato debido a la viscosidad relativamente alta.

Fontes, Carciofi y Takakura (18) estudiaron la digestibilidad de raciones extrusadas, conteniendo arroz de segunda calidad, harina de yuca, maíz, sorgo, lenteja y arveja. Los resultados mostraron que las raciones con arroz y harina

de yuca presentaron mayores coeficientes de digestibilidad aparente del almidón, de la materia seca, materia orgánica, y energía bruta, seguidas por la dieta con maíz y sorgo. El procesamiento de los carbohidratos influye sobre la digestibilidad de los nutrientes y valor nutritivo de los alimentos durante la molienda, gelatinización, floculación y laminación. Por tal razón, entre los cereales más utilizados en alimentos procesados para codornices se encuentran el maíz y sus derivados, el arroz y sus derivados y, en menor proporción, el sorgo.

Al evaluar sustitutos para el arroz, en dietas extrusadas para caninos, Twomey et al. (19) utilizaron el sorgo y el maíz. No observaron diferencias significativas en la digestión del almidón proveniente de las tres fuentes. Sin embargo, los autores encontraron que el arroz presenta mayor digestibilidad de la grasa y proteína, además de proporcionar la producción de heces con mayor nivel de materia seca.

Pérez-Vendrell y Torrallardona (20) midieron la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y la materia orgánica del arroz, la cebada y la avena, descascaradas, molidas y extrusadas en una proporción equivalente al 60% de la dieta, simulando la digestión de los cerdos en la parte anterior del tracto gastrointestinal, con un método multienzimas. Posteriormente, analizaron la digestión en pepsina y observaron que la extrusión mejoró la digestibilidad del arroz, pero empeoró la de la cebada y la avena; mientras que con pepsina y pancreatina, la extrusión mejoró en todos los cereales la digestibilidad de la materia seca y la materia orgánica, en donde el mayor incremento lo observaron en el arroz que pasó de 77,7% a 89,6% en la digestibilidad de la materia seca, mientras que el valor más bajo lo presentó la cebada, resultados que se atribuyen al menor contenido de almidón y mayor contenido de fibra de esta última. Al simular la digestión en presencia de pepsina, pancreatina y carbohidrasas, observaron mejor digestibilidad de la materia seca y la materia orgánica en el arroz, aunque

concluyen que la extrusión tuvo un efecto ligeramente negativo en la digestibilidad debido al impacto del tratamiento en la disponibilidad del almidón.

En la alimentación de gatos la digestibilidad aparente del almidón del maíz sin extrusar es de 51,64%, la del sorgo de 57,42% y la de la harina de yuca 40,64%, mientras que en dietas extrusadas estos coeficientes suben a 97,5, 93,9 y 98%, respectivamente (21). En el mismo experimento los autores afirman que la digestibilidad de la proteína bruta fue de 83,2, 80,6 y 82%, respectivamente, la de la materia seca de 78,5, 76,3 y 80,3%, respectivamente, y que encontraron diferencia del coeficiente de digestibilidad de la materia orgánica de la yuca, con 82,5, 80, 84,3%, respectivamente, con respecto al de las otras dos materias primas. En este estudio los investigadores muestran cómo aunque las dietas de los carnívoros son bajas en carbohidratos, como es el caso de los gatos, ellos pueden digerir eficientemente dietas ricas en almidón, cuando estas son adecuadamente molidas, cocidas y procesadas, siendo así que un ingrediente rico en carbohidratos como la harina de yuca extrusada, es altamente digestible para los gatos.

Al evaluar la digestibilidad total aparente de materias primas energéticas extrusadas en la alimentación de caninos, substituyendo con el ingrediente el 30% de la dieta, Fortes et al. (22) encontraron valores para la materia seca del maíz rico en grasa, sorgo, mijo, arroz quebrado, germen de maíz, salvado de trigo y salvado de arroz de 0,893, 0,905, 0,859, 0,905, 0,654, 0,593 y 0,550, respectivamente; para la proteína bruta de 0,884, 0,884, 0,803, 0,753, 0,656, 0,682 y 0,729, respectivamente; para la grasa de 0,855, 0,786, 0,821, 0,668, 0,482, 0,538 y 0,852, respectivamente; para la fibra de 0,503, 0,741, 0,668, 0,744, 0,232, 0,209 y 0,129, respectivamente; y para el almidón de 0,986, 0,987, 0,991, 0,992, 0,955, 0,896 y 0,904, respectivamente. Los autores concluyeron que el maíz rico en grasa, el arroz quebrado y el sorgo tienen mejor digestibilidad

y mayor energía metabolizable para caninos, que el germen de maíz, el salvado de trigo y salvado de arroz, argumentando que esto se debe a los altos niveles de fibra de estos últimos tres.

En un experimento realizado por Cardoso et al. (23) se obtuvo mejor desempeño en codornices alimentadas con una dieta a base de maíz comparada con una dieta a base de arroz, ambos molidos y con un 60% en la dieta.

Según Wiseman (14), es posible que el procesamiento por calor mejore el valor nutritivo en sistemas donde la capacidad digestiva “normal” esté deteriorada, como en el caso de los lechones que tienen un sistema enzimático inmaduro. En esta especie, Sauer, Mosenthin y Pierce (24) al evaluar dietas a base de trigo y cebada, granuladas con vapor y extrudizadas, observaron que la extrusión tiene efecto benéfico sobre la digestibilidad de los nutrientes.

Con estos antecedentes, el objetivo de este trabajo fue determinar el coeficiente de digestibilidad de materias primas energéticas como el almidón de maíz, el almidón de yuca, el sorgo y el arroz quebrado, cuando son extrusados e incluidos en la dieta de codornices *Coturnix coturnix japonicus*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Todos los procedimientos experimentales fueron aprobados por el Comité de Ética de la Universidad de Caldas (Manizales, Colombia). Se utilizaron 175 codornices machos de seis semanas de edad y peso individual promedio de $123 \pm 6,3$ gramos. Las aves fueron alojadas en baterías verticales con bebederos tipo niple y bandejas individuales revestidas con papel plástico, debidamente identificado, para la recolección total de las excretas cada 12 horas. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar (DCA), con cinco tratamientos, cinco repeticiones por tratamiento y siete animales por unidad experimental.

La dieta de referencia fue balanceada con 33,02% de maíz, 30,0% de harina de arroz, 34,19% de torta de soya, 1,23% de carbonato de calcio, 1% de tricalfos, 0,32% de sal común, 0,15% de premezcla de minerales y vitaminas, 0,08% de DL-metionina y 0,01% de butilhidroxitolueno, teniendo en cuenta los requerimientos

nutricionales para codornices recomendado por el NRC (2) y Rostagno (25). Cuatro dietas experimentales fueron preparadas mezclando 80% de dieta referencia y 20% de la materia prima energética a evaluar, ya sea almidón de yuca, almidón de maíz, sorgo o harina de arroz (Tabla 1).

Tabla 1. Composición química de los ingredientes evaluados

Ítem	Almidón de maíz	Almidón de yuca	Sorgo	Arroz
Materia seca (%)	90,1	90,72	87,65	88,48
Proteína bruta (%)	0,5	0,26	9,47	9,04
Extracto etéreo (%)	0,35	0,21	3,14	1,12
Materia mineral (%)	0,10	0,28	1,40	1,00
Fibra bruta (%)	0,60	1,06	2,40	0,88
Calcio (%)	0,02	0,06	0,02	0,05
Fósforo total (%)	0,11	0,13	0,19	0,15
Extracto no nitrogenado (%)	88,45	88,89	71,24	76,44
Energía bruta kcal/kg	3589	3624	4015	3800

Todos los ingredientes fueron molidos en un molino de martillos con una criba de 0,5 mm de diámetro y mezclados en la proporción correspondiente de ingredientes según cada tratamiento. Posteriormente la mezcla fue

extrusada, secada y almacenada para su posterior utilización. Así mismo, se tomó una muestra de cada dieta para evaluar la composición bromatológica (Tabla 2).

Tabla 2. Composición química de las dietas experimentales*

Ítem	Dieta Referencia	Almidón de maíz	Almidón de yuca	Sorgo	Arroz
Materia seca (%)	91,49	93,53	92,20	94,19	93,03
Proteína bruta (%)	22,31	20,38	20,25	21,25	21,19
Extracto etéreo (%)	3,32	3,49	3,83	3,73	3,20
Materia mineral (%)	2,67	2,53	2,59	2,32	3,24
Fibra bruta (%)	2,13	2,69	2,34	2,89	2,99
Calcio (%)	0,90	0,88	0,92	0,94	0,87
Fósforo total (%)	0,60	0,51	0,56	0,59	0,60
Extracto no nitrogenado (%)	61,06	64,44	63,19	64,00	62,41
Energía bruta kcal/kg	4200	4280	4220	4250	4190

* Analizados en duplicado, resultados en base fresca.

Las dietas experimentales eran una mezcla de 80% de la dieta referencia y 20% del ingrediente.

Las codornices se sometieron a un proceso de adaptación de 10 días, tiempo durante el cual fueron alimentadas con las dietas experimentales. Después del período de adaptación, se dio inicio al período experimental con una duración de 10 días, tiempo durante el cual las codornices fueron alimentadas *ad libitum* y con acceso a la fuente de agua de bebida permanentemente. Diariamente se pesaron las sobras del alimento no consumido para calcular el consumo diario de alimento. Al mismo tiempo se recolectó la totalidad de las excretas, después de retirar los residuos de plumas, alimento y descamaciones de la piel de las codornices, se pesaron y congelaron a -18°C, hasta el final de período experimental, en donde las excretas fueron homogenizadas, secadas en estufa de ventilación forzada durante 72 horas a 55°C, molidas y utilizadas para realizar los respectivos análisis bromatológicos. Los análisis de laboratorio de las dietas, de los alimentos y de las excretas para materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, materia mineral, fibra bruta, calcio y fósforo total fueron realizados según la metodología descrita por la AOAC (26).

Los valores de la energía bruta fueron determinados por medio de una bomba calorimétrica adiabática. Los valores de energía metabolizable aparente y el coeficiente de digestibilidad total aparente (DAT) de los

nutrientes en cada ingrediente fueron calculados utilizando la ecuación de Matterson, Potter y Stutz (27).

Los resultados de las variables estudiadas fueron analizados por medio del análisis de varianza; en aquellos nutrientes en los cuales se observó diferencia estadística ($p<0,05$) entre medias de tratamientos por la prueba de F, se procedió al análisis con la prueba de intervalos múltiples Student Newman Keuls ($p<0,05$) para establecer la diferencia estadística entre medias de tratamientos. Para el procesamiento y análisis estadístico de los resultados se utilizó el programa computacional Statistical Analysis System -SAS- (28).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los coeficientes de digestibilidad de los nutrientes de las materias primas evaluadas (Tabla 3), permiten destacar que en general los ingredientes energéticos al ser extrusados presentan una digestibilidad aparente de la materia seca superior al 93% en el caso del almidón de maíz, almidón de yuca y el sorgo; aunque la materia seca del arroz fue el ingrediente que presentó la peor digestibilidad en este componente ($p<0,05$) respecto al de los demás ingredientes evaluados.

Tabla 3. Coeficientes de digestibilidad total aparente de los nutrientes y energía metabolizable del almidón de maíz, almidón de yuca, sorgo y arroz extrusados en la alimentación de codornices

	Coeficiente de digestibilidad aparente del nutriente en el ingrediente (%)								EM kcal/kg
	MS	PB	EE	FB	MM	P	Ca	ENN	
Almidón de maíz	93,79 b	86,37 b	93,78 a	22,93 a	74,84 a	71,40 b	70,21 b	92,62 a	3554 a
Almidón de yuca	96,94 a	90,86 a	94,25 a	19,16 b	71,49 b	76,23 a	70,52 b	91,12 a	3547 a
Sorgo	96,29 a	86,60 b	84,66 b	21,19 a	69,66 c	66,76 d	73,78 a	89,17 b	3360 b
Arroz quebrado	83,17 c	74,08 c	81,89 b	19,33 b	60,77 d	69,06 c	69,55 b	90,77 b	3470 b

Medias de tratamientos seguidas por letras diferentes dentro de la misma columna, son estadísticamente diferentes ($p<0,05$) por la prueba de SNK.
 MS: Materia Seca; PB: Proteína Bruta; EE: Extracto Etéreo; FB: Fibra Bruta; MM: Materia Mineral; P: Fósforo total; Ca: Calcio; ENN: Extracto No Nitrogenado; EM: Energía Metabolizable.

El almidón de yuca fue el ingrediente que presentó el mejor coeficiente de digestibilidad de la proteína bruta ($p < 0,05$). Entretanto, la proteína bruta del arroz fue la que presentó la peor digestibilidad ($p < 0,07$) con 74,08%.

La grasa del almidón de maíz y la del almidón de yuca presentaron coeficiente de digestibilidad estadísticamente similares ($p > 0,05$); sin embargo, los dos ingredientes presentaron superior digestibilidad de la fracción de extracto etéreo al ser comparados con las del sorgo y del arroz ($p < 0,05$).

La fibra bruta fue el nutriente que, independientemente del ingrediente evaluado, presentó los más bajos coeficientes de digestibilidad, sin superar el 22,93% observado en el almidón de maíz.

Los coeficientes de digestibilidad de las cenizas de 74,84, 71,49, 69,66 y 60,77% para el almidón de maíz, almidón de yuca, sorgo y arroz, respectivamente, al igual que los coeficientes del calcio y el fósforo, en general, no acompañaron los elevados coeficientes de la materia seca, proteína bruta y extracto etéreo. Es importante destacar que las fuentes vegetales presentan el fósforo en forma de quelatos sin la existencia de la fitasa que pueda actuar sobre este enlace, situación que de por sí hace que en estos ingredientes la digestibilidad de este mineral sea baja.

Los extractos no nitrogenados del almidón de maíz y el del almidón de yuca fueron los que presentaron coeficientes de digestibilidad superiores ($p < 0,05$) a los obtenidos por el sorgo y el arroz; comportamiento similar de los nutrientes al ser evaluada la metabolización de la energía bruta de los ingredientes experimentales.

DISCUSIÓN

Los resultados de la digestibilidad de la materia seca están acordes con el aumento de

la digestibilidad de 77,9% a 82,5%, *in vitro*, al ser evaluado el efecto de la extrusión sobre la digestibilidad ileal de la materia seca del maíz en cerdos durante la fase de levante (29).

Los resultados de los coeficientes de digestibilidad de la proteína bruta corroboran lo afirmado por Osman et al. (30), quienes mencionan que la digestibilidad de la proteína bruta de las materias primas mejora al ser extrusadas desde la molienda de los gránulos, y más aún cuando es utilizado el vapor. Estos investigadores dan como ejemplo el caso del salvado de trigo, y esa mejora se la atribuyen a la destrucción de las paredes celulares de aleurona.

Con respecto a la digestibilidad del extracto etéreo Mujahid et al. (31) observaron que la digestibilidad del salvado de arroz rico en grasa y extrusado, al ser evaluada en la alimentación de pollo de engorde esta mejoró; sin embargo, destacan que cuando esta materia prima tiene demasiado tiempo de almacenamiento y presenta cierto grado de rancidez, a medida que se aumenta su porcentaje de inclusión independientemente de que sea extrusada o no, la digestibilidad de la grasa se disminuye en aproximadamente un 15%. Por el contrario, los investigadores observaron que la digestibilidad de la fracción fibrosa no fue afectada ni por el tiempo de almacenamiento ni por la técnica de procesamiento.

Los resultados de los coeficientes de digestibilidad de la fibra bruta presentaron tendencia similar a la observada por Mujahid et al. (31), quienes al evaluar la digestibilidad del salvado de arroz rico en grasa y extrusado en la alimentación de pollo de engorde, observaron que la digestibilidad de la fracción fibrosa no fue afectada ni por el tiempo de almacenamiento ni por la técnica de procesamiento. Por el contrario Summers, Bentley y Slinger (32) afirman que la digestibilidad de la fibra de los cereales al procesar el alimento con vapor o extrusarlo, cada uno responde de forma diferente; no obstante, sostienen que son aún pocos los estudios donde

se ha evaluado en detalle la alteración de la digestibilidad de la fibra bruta de las materias primas extrusadas en la elaboración de las dietas para animales.

Singh, Dartois y Kaur (15) sostienen que el aumento de la digestibilidad del almidón se debe a que los gránulos de almidón pierden su integridad estructural ocasionada por el incremento en la acción de cizallamiento y de amasamiento en el barril extrusor, lo que por último aumenta la susceptibilidad a un ataque enzimático. Igualmente, afirman que cuando las moléculas de almidón son calentadas en la presencia de suficiente agua, la estructura cristalina se interrumpe y las moléculas de agua se unen por enlaces de hidrógeno con los grupos hidroxilos expuestos de la amilosa y la amilopectina, lo cual causa un incremento en la hinchazón y solubilidad del gránulo; por lo tanto, concluyen que el contenido de agua es un factor importante que determina el grado de digestibilidad del almidón a través de la hidrólisis enzimática. Los resultados coinciden con lo observado por De-Oliveira et al. (21) en la alimentación de codornices en donde la digestibilidad aparente del almidón de maíz de 51,64%, la del sorgo de 57,42% y la de la harina de yuca de 40,64%, y cuando fueron evaluados en dietas extrusadas, esos coeficientes subieron a 97,5, 93,9 y 98%, respectivamente.

En general, los resultados mostraron elevados coeficientes de digestibilidad de los nutrientes al ser comparados con los coeficientes de los mismos cereales sin procesar descritos por NRC (2) y Rostagno (25), y coinciden con los estudios *in vitro*, realizados por Osman et al. (30) al evaluar los efectos del vapor y la presión sobre la digestibilidad del almidón de la cebada y el sorgo, quienes observaron mejor digestibilidad en alimentos procesados y concluyeron que al calentar el almidón este se hace más accesible al ataque de las enzimas amilolíticas; aunque

confirmaron que cada cereal responde de forma diferente a las condiciones de procesamiento.

CONCLUSIÓN

Al evaluar la digestibilidad total aparente de materias primas energéticas extrusadas en la alimentación de codornices, substituyendo con el ingrediente el 20% de la dieta referencia, se encontraron coeficientes de digestibilidad para la materia seca del almidón de maíz, almidón de yuca, sorgo y arroz quebrado de 0,937, 0,969, 0,9629 y 0,8317, respectivamente; para la proteína bruta de 0,863, 0,908, 0,866 y 0,740, respectivamente; para la grasa de 0,937, 0,942, 0,846 y 0,819, respectivamente; para la fibra bruta de 0,229, 0,191, 0,211 y 0,193, respectivamente; para el extracto no nitrogenado de 0,926, 0,911, 0,891 y 0,907, respectivamente; en donde la mayor metabolización de la energía fue presentada para los almidones tanto de maíz como de yuca con 3554 y 3547 kcal de energía metabolizable por kilogramo de ingrediente, respectivamente. En la práctica, determinar un patrón de medida de la eficacia del proceso de extrusión o extrudización sobre la digestibilidad de los nutrientes de los cereales con el fin de incorporarlos en la dieta de las codornices es difícil, debido a que cada materia prima responde de forma diferente a los métodos de procesamiento, razón por la cual no es posible dar unas recomendaciones generales aplicables a todas las situaciones sino que se debe evaluar cada ingrediente.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados de la Universidad de Caldas por la financiación del proyecto, y a John Alejandro Giraldo Carmona, MVZ y Joven Investigador de Colciencias, por la colaboración en la ejecución del trabajo de campo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cunha FSA. Avaliação da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e subprodutos na alimentação de codornas (*Coturnix japonica*). Pernambuco, Brasil: Universidade Federal Rural de Pernambuco. Universidade Federal da Paraíba. Universidade Federal do Ceará, 2009. 98 p. Tese (Doutorado integrado em zootecnia: Área de concentração: Produção de não ruminantes).
2. National Research Council –NRC–. Nutrient Requirements of Poultry. 8ª ed. Washington D.C., EE.UU.: National Research Council, National Academic Press; 1994. p. 44-45.
3. Corrêa GSS, Silva MA, Corrêa AB, Almeida V, Fontes DO, Torres RA, et al. Exigências de metionina + cistina total para codornas de corte em crescimento. Arq Bras Med Vet Zootec 2006; 58(3):414-420.
4. Pinto R, Ferreira AS, Albino LFT, Gomes PC, Júnior JGV. Níveis de proteína e energia para Codornas Japonesas em Postura. R Bras Zootec 2002; 31(4):1761-1770.
5. Torres EDP. Alimentos e nutrição das aves domésticas. São Paulo, Brasil: Nobel; 1979. p. 324.
6. Gomes FA. Determinação de valores energéticos em alimentos utilizados para codornas japonesas. Alfenas, Brasil: Universidade Federal de Campina Grande; 2006. 48 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal).
7. Murakami AE, Furlan AC. Pesquisas na nutrição e alimentação de codornas em postura no Brasil. In: Simpósio Internacional de Coturnicultura, 1, 2002, Lavras, MG. Anais... Lavras: Universidade Federal de Lavras; 2002. p.113-120.
8. Andriguetto JM, Perly L, Minardi I, Gemaël A, Flemming JS, Souza GA, et al. Nutrição animal – As bases e os fundamentos da nutrição animal. Vol.1. 5ª ed. São Paulo, Brasil: Nobel; 1986. p. 395.
9. Pezzato, LE. Apostilha sobre digestibilidade. Botucatu, Brasil: Universidade Estadual Paulista; 2006. 30 p.
10. Case LP, Carey DP, Hirakawa DA. Nutrição canina e felina: manual para profissionais. Madrid, Espanha: Harcourt Brace; 1998. p. 424.
11. Cavallari APM. Digestibilidade de alimentos energéticos e protéicos para cães adultos. Viçosa, Brasil: Universidade Federal de Viçosa; 2003. 24 p. Dissertação (Mestrado).
12. Mendes WS. Efeito do processamento térmico sobre a digestibilidade e valores energéticos do milho, sorgo e soja para suínos em crescimento. Belo Horizonte, Brasil: Universidade Federal de Minas Gerais; 2002. 42 p.
13. Ariki J. Criação de codornas. Tecnologia e Treinamento Agropecuário. Vol. 1, No. 2, p. 23-24, 1996.
14. Wiseman J. El procesado de cereales en dietas de monogástricos. En: IX Curso de Especialización FEDNA. Barcelona, 8 y 9 de noviembre de 1993. 11 p.
15. Singh J, Dartois A, Kaur L. Starch digestibility in food matrix: a review. Trends in Food Technol Sci 2010; 21:168-180.
16. Svihus B, Uhlen A, Harstad O. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. Anim Feed Sci Technol 2005; 122:303-320.
17. Vicente B, Valencia D, Pérez-Serrano M. The effects of feeding rice in substitution of corn and the degree of starch gelatinization of rice on the digestibility of dietary components and productive performance of young pigs. J Anim Sci 2008; 86:119-126.
18. Fontes CMLS, Carciofi AC, Takakura FS. Avaliação dos coeficientes de digestibilidade de alimentos extrusados determinados com diferentes metodologias de extração de gordura. In: Congresso Int. de Zootecnia VI, Congresso Nac. de Zootecnia XIV, 2004, Brasília/DF. Zootec 2004.
19. Twomey LN, Pethick DW, Rowe JB, Choct M, Pluske JR, Brown W, et al. The use of sorghum and corn as alternative to rice in dog foods. J Nutr 2002; 132(6):1704-1705.

20. Pérez-Vendrell A, Torrallardona D. In vitro digestibility kinetics of diets containing different cereal sources. *Livest. Sci* 2010; 134:47-49.
21. De-Oliveira LD, Carciofi AC, Oliveira MCC, Vasconcellos RS, Bazolli RS, Pereira GT, et al. Effects of six carbohydrate sources on diet digestibility and postprandial glucose and insulin responses in cats. *J Anim Sci* 2008; 86(9):2237-2246.
22. Fortes C, Carciofi A, Sakomura N, Kawauchi I, Vasconcellos R. Digestibility and metabolizable energy of some carbohydrate sources for dogs. *Anim Feed Sci Technol* 2010; 156(3):121-125.
23. Cardoso D, Salem AZM, Provenza FD, Rojo R, Camacho LM, Satterlee DG. Cereal type in diet and housing system influences on growth performance and carcass yield in two Japanese quail genotypes. *Anim Feed Sci Technol* 2011; 163:52-58.
24. Sauer WC, Mosenthin R, Pierce AB. The utilization of pelleted, extruded, and extruded and repelleted diets by early weaned pigs. *Anim Feed Sci Technol* 1990; 31(3-4):269-275.
25. Rostagno HS. Composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos (Tabelas Brasileiras). 2ª ed. Viçosa, Brasil: Universidade Federal de Viçosa; 2005. 59 p.
26. Association of official analytical chemistry –AOAC–. Mineral absorption. Atomic Official Methods of Analysis of A.O.A.C. International. 16th edition. Vol. 19.165.09; 1995.
27. Matterson LD, Potter LM, Stutz MW. The metabolizable energy of feed ingredients for chickens. Research Report 7. Storrs Agricultural Station, Storrs, CT. Agricultural Experimental Station Research Report; 1965. p. 3-11.
28. Statistical Analysis System-SAS. Institute Inc. SAS/STATTM. SAS Software version. 8.1. Cary; 2002.
29. Muley NS, van Heugten E, Moeser AJ, Rausch KD, van Kempen TATG. Nutritional value for swine of extruded corn and corn fractions obtained after dry milling. *J Anim Sci* 2007; 85:1695-1701.
30. Osman HF, Theurer B, Hale WH, Mehen SM. Influence of grain processing on in vitro enzymatic starch digestion of barley and sorghum grain. *J Nutr* 1970; 100:1133-1139.
31. Mujahid A, Asif M, ul Haq I, Abdullah M, Gilani AH. Nutrient Digestibility of Broiler Feeds Containing Different Levels of Various Processed Rice Bran Stored for Different Periods. *Poult Sci* 2003; 82:1438-1443.
32. Summers JD, Bentley HU, Slinger J. Influence of method of pelleting on utilization of energy from corn, wheat, shorts and bran. *Cereal Chem* 1968; 45:612-615.