

## Evaluación de la cocción y el tostado aplicados a los granos de guandul (*Cajanus* sp) y vitabosa (*Mucuna* sp) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Juan Gonzalo Londoño-Uribe<sup>1</sup> , Ángel M. Giraldo-Mejía<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> *Zootecnista. M.Sc. Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia*

<sup>2</sup> *Zootecnista. D.Sc. Ciência Animal. Universidade Federal de Minas Gerais. Brasil.*

*Profesor asociado. Departamento de Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.*

[agiraldom@unal.edu.co](mailto:agiraldom@unal.edu.co)

Recibido: 10 julio de 2018, Aprobado: 28 diciembre de 2018, actualizado: 29 diciembre de 2018

DOI: 10.17151/vetzo.2019.13.1.1

**RESUMEN. Introducción:** El *Cajanus* sp y la *Mucuna* sp son leguminosas usadas en la alimentación humana y animal, como cultivo de cobertura, abono y como plantas medicinales. **Objetivo:** Evaluar el efecto de la cocción y el tostado aplicados a granos crudos de *Cajanus* sp y *Mucuna* sp. **Métodos:** Se agregaron granos de *Cajanus* sp y *Mucuna* sp con dos niveles de inclusión (10% y 20%) a dietas de referencia (DR) de maíz y torta de soya. Se midió la energía metabolizable aparente con corrección por balance de nitrógeno (EMAn) en pollos de la línea Ross 308 con 21 días de edad, mediante la técnica de sustitución del núcleo energético de la DR y recolección total de excretas. **Resultados:** El grano crudo de *Cajanus* sp presentó un valor de 2286,2 kcal de EMAn/kg de materia seca (MS) que fue inferior al grano tostado (2945,5 kcal) y al cocido (3115,9 kcal). En cuanto al efecto del nivel de inclusión, la EMAn del grano disminuyó en 601,1 kcal/kg de MS al pasar del 10% (3072,8 kcal/kg de MS) al 20% (2471,7 kcal/kg de MS). En el grano de *Mucuna* sp solo el nivel de inclusión en la DR afectó la EMAn. Cuando se incluyó el 10% presentó un valor de 2432,3 kcal/kg de MS y disminuyó a 1938,1 kcal con el 20%. Los valores de EMAn del grano crudo, tostado y cocido fueron de 1923,1, 2178,0 y 2387,2 kcal/kg de MS, respectivamente. **Conclusiones:** En este tipo de recursos alimenticios el valor de la EMAn fue diferente dependiendo del proceso térmico aplicado, pero en ambos granos dicho valor disminuyó al aumentar su nivel de inclusión en la DR.

**Palabras clave:** grano de *Cajanus* sp, grano de *Mucuna* sp, procesos térmicos, EMAn, pollos de engorde

## Evaluation of cooking and roasting applied to grains of pigeon pea (*Cajanus* sp) and vitabosa (*Mucuna* sp) on metabolizable energy in broilers

**SUMMARY. Introduction:** *Cajanus* sp and *Mucuna* sp are legumes used in human and animal feed, as a cover crop, fertilizer and as medicinal plants. **Aim:** To evaluate the effect of cooking and roasting applied to raw grains of *Cajanus* sp and *Mucuna* sp. **Methods:** *Cajanus* sp and *Mucuna* sp grains with two levels of inclusion (10% and 20%) were added to reference diets (RD) of corn and soy cake. Apparent metabolizable energy was measured with nitrogen balance correction (EMAn) in Ross 308 line chickens with 21 days of age, by the technique of replacing the energy core of the RD and total collection of excreta. **Results:** The raw grain of *Cajanus* sp presented a value of 2286.2 kcal of EMAn/kg of dry matter (DM) that was lower than roasted grain (2945.5 kcal) and cooked grain (3115.9 kcal). Regarding the effect of the level of inclusion, the EMAn of the grain decreased by 601.1 kcal/kg of DM from 10% (3072.8 kcal / kg of DM) to 20% (2471.7 kcal/kg of DM). In the *Mucuna* sp bean only the level of inclusion in the RD affected the EMAn. When 10% of this grain was included, it presented a value of 2432.3 kcal/kg DM and decreased to 1938.1 kcal with 20%. The EMAn values of raw, roasted and cooked grain were 1923.1, 2178.0 and 2387.2 kcal / kg DM, respectively. **Conclusions:** In this type of food resources the value of the EMAn was different depending on the thermal process applied to the beans, but in both grains this value decreased as its level of inclusion increased in the RD.

**Key words:** *Cajanus* sp grain, *Mucuna* sp grain, thermal processes, AMEn, broilers

### Introducción

El *Cajanus* sp y la *Mucuna* sp son originarias de la India y luego de varios siglos se naturalizaron en diferentes regiones. En el trópico el follaje y los granos de estas leguminosas están vinculados a las comunidades agrícolas por su uso en la alimentación humana y animal, como cultivo de cobertura, abono y como plantas medicinales.

Según diversos autores citados por Londoño (2018), el grano de *Cajanus* sp es un valioso aportador de proteína cruda (entre 19 y 23%) y de carbohidratos (con un contenido mínimo de 60%, considerando el almidón y los azúcares), no presentan contenidos significativos de grasa (de 0,98 a 1,9%) y la fibra cruda varía entre 7,5 y 10,6%. La situación con la *Mucuna* sp no es diferente. El contenido de proteína cruda varía entre 20,45 y 38,2%, también hace aportes valiosos de carbohidratos (entre 45,2 y 70,6%, representados por el almidón y los azúcares), su contenido de grasa es mayor (entre 3,86 y 8,72%) que en el *Cajanus* sp, sin que sea significativo el nivel de fibra cruda (entre 3,7 y 11%). Al igual que la mayor parte de las leguminosas no oleaginosas,

en ambos granos no se considera significativo el contenido de grasa; sin embargo, la importancia de esta fracción radica en el aporte que hacen de ácidos oleico y linolénico, los cuales representan las dos terceras partes de los ácidos grasos presentes en el grano. Ambos granos no son importantes por sus aportes en elementos minerales y en vitaminas hidrosolubles.

A pesar de que la concentración de algunos macroelementos es aceptable, su disponibilidad es limitada por la presencia de los ácidos fítico y oxálico con los que forman complejos insolubles que tornan limitada su digestión y absorción. En cuanto a los aminoácidos, los granos de *Cajanus* cajan y los de las especies de *Mucuna*, *deeringiana* y *pruriens* son deficientes en triptófano y aminoácidos azufrados totales convirtiéndose la metionina y la cisteína en aminoácidos limitantes, pero su contenido de lisina es un atributo nutricional importante (Ruíz, 2015).

Un factor que limita el uso en la alimentación de los monogástricos del grano crudo de ambas leguminosas está asociado con la presencia de diversos compuestos químicos, los metabolitos secundarios de las plantas (MSP), generados por el metabolismo intermediario vegetal, los cuales son de utilidad para la planta (D'Mello, 2000), pero algunos de ellos se consideran factores antinutricionales (FAN) para la alimentación animal porque producen disminución en el consumo de la dieta, interfieren los procesos digestivos, la digestibilidad, la disponibilidad y el aprovechamiento de los nutrientes, comprometen la salud y la respuesta animal (Savón & Idania, 2007).

Existen varios métodos para inactivar o remover los FAN en los granos de leguminosas tropicales. La aplicación de uno u otro está en función de las características físicas y químicas del FAN, su localización en la planta y la sensibilidad a la aplicación de métodos físicos, químicos o procesos tecnológicos como la temperatura (Van der Poel & Melcion, 1995). De acuerdo con Nava, Ruiz y Belmar (1999) y Van der Poel (1989), los procesos utilizados para la reducción o eliminación de los FAN incluyen: el remojo en agua, calor húmedo o seco, tratamientos químicos (ácidos, solventes, y otros), tratamientos enzimáticos, tratamientos físicos, ruptura mecánica (molienda, descascarillado, pulverización, granulación, picado), extrusión, presión, radiaciones, procesos de germinación y fermentación. Si se considera el aspecto de la temperatura los FAN se clasifican en termoestables y termolábiles; al primer grupo pertenecen los factores antigénicos, los oligosacáridos, las saponinas y los fitatos. Entre los metabolitos termo lábiles se encuentran los inhibidores de las proteasas (tripsina y quimotripsina) y las lectinas entre otros (Elizalde et al., 2009).

La evaluación nutricional de los granos de estas leguminosas se ha realizado bajo al menos cinco enfoques diferentes: (1) las caracterizaciones bromatológicas, las cuales se sustentan en la determinación de diferentes fracciones químicas, nutrientes, los MSP y los FAN; (2) la evaluación de la inclusión en las dietas de los animales utilizando pruebas de alimentación; (3) evaluación de la digestibilidad y la estimación de su energía digestible o metabolizable; (4) caracterización de las proteínas, cuantificando

sus diferentes fracciones, la solubilidad en diferentes solventes y sus propiedades funcionales; y (5) evaluación de la aplicación de diferentes procesos tecnológicos aplicados a estos granos para eliminar o inactivar los MSP o los FAN y su interacción con los parámetros de alguno de los cuatro enfoques anteriores.

En los pollos, la apuesta en la evaluación nutricional de los alimentos utilizados en los esquemas industriales de producción se ha centrado en la digestibilidad ileal de los aminoácidos, la digestibilidad o la disponibilidad relativa del fósforo y el calcio y la determinación de la energía metabolizable aparente (EMA) o verdadera (EMV), con o sin ajuste por el balance de nitrógeno (EMn) y la energía neta.

Con base en las anteriores consideraciones se encontró pertinente evaluar el contenido de energía metabolizable (EM) de los granos de *Cajanus* sp y de *Mucuna* sp crudos y sometidos a dos procesos térmicos (cocción y tostado), empleando como modelo animal pollos de 21 días de edad de una línea genética comercial. La hipótesis del trabajo se basó en el principio según la cual los procesos térmicos aplicados al grano crudo deberían modificar el contenido de la EM.

---

## **Materiales y Métodos**

El proyecto recibió el otorgamiento de aval del Comité de Ética de la Sede Medellín de la Universidad Nacional de Colombia (Reunión 04 del 18 de noviembre del 2014). Durante su ejecución en los pollos no se identificaron efectos adversos derivados de las condiciones experimentales establecidas.

En el experimento se utilizaron 208 pollos machos de la línea genética Ross x Ross. El experimento se realizó en la granja experimental de una empresa de alimentos balanceados para animales, certificada como granja avícola biosegura por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), localizada en el municipio de Rionegro (Antioquia) a 2150 msnm, con temperatura ambiente media de 17°C.

Se utilizaron granos no clasificados de las leguminosas *Cajanus* sp y *Mucuna* sp, procedentes de cultivos de la Granja La Pradera de la Fundación Aurelio Llano Posada, localizada en la vereda Laurel del municipio de Quimbaya, Departamento del Quindío, a 1250 msnm, temperatura media de 21°C y entre 1800 y 2000 mm de precipitación anual.

Con cada grano de las leguminosas se formaron tres grupos: grano crudo (GC), sometidos a tostado (TO) o expuestos a la cocción (CO). En el Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, se realizaron todos los procedimientos de

preparación y procesamiento de los granos. Los granos de los grupos TO y CO se remojaron durante 4 horas a razón de un litro de agua de grifo por cada kg de grano (1:1); luego del remojo se descartó el agua sobrenadante. Los del grupo TO se distribuyeron en bandejas para su secado en estufa de ventilación forzada (Dies Autronic TH 408/tzn4s) a 60°C durante 24 horas, se retiraron de la estufa y se sometieron a 105°C por una hora en horno Memmert UM 600/mc 5428, luego se enfriaron a temperatura ambiente, se molieron y almacenaron. Los granos del grupo CO se colocaron en una marmita de capacidad media de doble camisa a vapor, con agitador automático de velocidad constante a 14 rpm. La marmita se llenó con agua de grifo a 98°C obtenida mediante vapor producido por una caldera a gas. Durante la cocción la temperatura del agua en la marmita se mantuvo entre 94 y 95°C durante 45 minutos, posteriormente se descartó el agua. Los granos se distribuyeron en bandejas plásticas y se dejaron a temperatura ambiente, luego se llevaron a secado en estufa Dies Autronic TH 408/tzn4s de ventilación forzada a 60°C durante 24 horas. De cada grupo de grano se molieron 15 kg en un molino de palas Retsch SK1, se almacenaron en bolsas plásticas con cierre hermético hasta su utilización en el experimento y en los análisis químicos.

En el experimento se utilizó una dieta de referencia (DR) conformada por maíz amarillo (67,88%), torta de soya (25,9%), aceite de soya (1,5%), fuentes de fósforo, calcio, cloruro de sodio y una premezcla de vitaminas y minerales (3,63%), L-lisina HCl, Metionina DL y L-treonina (0,59%) y Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> comercial (0,5%) como marcador externo. Del núcleo energético de esta dieta, integrado por el maíz amarillo, torta de soya y aceite de soya, se substituyó el 10 y el 20% (peso a peso de la materia seca) por los granos GC, TO y CO de las dos leguminosas. Esta configuración condujo a la formación de 13 tratamientos así: T1 (DR), T2, T3, T4, T8, T9 y T10 (dietas con el grano de *Mucuna* sp crudo, tostado y cocido al 10 y al 20% de substitución), T5, T6, T7, T11, T12 y T13 (dietas con el grano de *Cajanus* sp crudo, tostado y cocido al 10 y al 20% de substitución). En la [tabla 1](#) se registra la información relacionada con la composición química y el valor calorífico bruto de las dietas experimentales. En el experimento se pudo establecer que entre las dietas del ensayo con *Cajanus* sp en términos porcentuales las mayores diferencias fueron 48,24; 30; 26,76; 17,61 y 12,5 para las cenizas, fibra cruda, Ca, contenido de grasa y P respectivamente. Para el ensayo con *Mucuna* sp las diferencias entre las dietas fueron 23,91; 21,13; 12,5; 11,76 y 8,49 para los valores de fibra cruda, Ca, P, proteína cruda y contenido de grasa respectivamente. Estas diferencias se pueden atribuir al proceso de preparación de las dietas el cual se realizó en una mezcladora de la planta de mezclas de la Estación Agraria San Pablo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, la cual es apropiada para la cantidad de cada dieta que se requería preparar, está acondicionada para la preparación de premezclas de minerales y no para dietas.

**Tabla 1.** Composición química (expresada en porcentaje) y contenido de energía de las dietas experimentales (valores expresados en base seca).

Análisis	Tratamiento						
	Inclusión 10 %				Inclusión 20 %		
	DR	T2	T3	T4	T8	T9	T10
Humedad y otras materias volátiles	12,20	12,30	11,50	11,60	12,10	12,10	12,20
Materia seca	87,80	87,70	88,50	88,40	87,90	87,90	87,80
Nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda (PC)	22,10	20,60	20,20	21,60	20,30	19,90	19,50
Contenido de grasa	4,52	4,45	4,41	4,59	4,28	4,02	4,12
Fibra cruda	3,50	4,30	4,50	4,10	4,60	4,40	4,30
Cenizas	7,96	7,72	7,28	7,60	7,07	6,69	7,24
Ca	1,38	1,38	1,30	1,42	1,17	1,12	1,09
P	0,80	0,77	0,76	0,75	0,74	0,71	0,70
Valor calorífico bruto (cal/g)	4365	4327	4361	4395	4386	4389	4356

  

Análisis	Tratamiento						
	Inclusión 10 %			Inclusión 20 %			
	T5	T6	T7	T11	T12	T13	
Humedad y otras materias volátiles	12,00	10,90	11,60	11,60	11,30	11,90	
Materia seca	88,00	89,10	88,40	88,40	88,70	88,10	
Nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda (PC)	20,40	20,80	22,10	21,40	20,90	22,60	
Contenido de grasa	4,23	4,77	4,22	4,27	3,93	4,00	
Fibra cruda	4,10	5,00	4,60	4,70	4,30	4,30	
Cenizas	7,60	7,25	4,12	7,23	6,53	7,79	
Ca	1,42	1,18	1,04	1,19	1,13	1,35	
P	0,79	0,72	0,73	0,76	0,70	0,79	
Valor calorífico bruto (cal/g)	4364	4431	4422	4411	4347	4372	

Para la determinación de la EMAn se siguió la metodología descrita por Sibbald et al. (1960) y los procedimientos adoptados por el grupo de investigación en Evaluación Nutricional de Alimentos y Estrategias de Alimentación Animal de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. En el experimento las aves pasaron por tres fases: en la primera o fase preexperimental, ocurrida entre el día 1 y 11 de vida, los pollos se alojaron en piso y recibieron una dieta del programa de alimentación

establecido por la granja. La segunda o de adaptación, entre los 12 y los 19 días de edad. Se realizó en baterías metálicas de cinco niveles con cuatro divisiones por nivel, que disponían de comederos y bebederos de canal. A partir del día 12 se inició la oferta y el registro diario de las dietas experimentales. La tercera fase, a partir del día 20 de edad, fue la de la recolección total de excretas cada 24 horas durante cuatro días. En esta se registró la información de la dieta ofrecida y rechazada. No se midió el desperdicio de las dietas. El día final del período experimental se pesaron los pollos y regresaron al sistema de manejo tradicional en piso, definido por la granja, para terminar su ciclo productivo el día 42.

Tanto la preparación de las muestras como los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación (14-LAB-036 en el 2015) de acuerdo con la Norma ISO/IEC 17025:2005.

La EMAN para cada dieta se estimó de acuerdo con la siguiente expresión sugerida por Sakomura y Rostagno (2007):

$$EMAN_{Dieta} = \frac{(EB\ ingerida - EB\ excretada) \pm 8.22 \times Balance\ de\ Nitrógeno}{MS\ Ingerida}$$

La EMAN de cada grano y para cada nivel se estimó mediante la siguiente expresión modificada que utilizan los mismos investigadores:

$$EMAN_{Alimento} = \frac{EMAN_{DR} + EMAN_{Dieta\ alimento\ evaluado} - EMAN_{DR}}{g\ alimento\ evaluado/g\ dieta}$$

En la expresión de Sakomura y Rostagno (2007) en el denominador se modificó el componente g alimento evaluado/g dieta por g alimento evaluado/g del núcleo energético de la DR expresado con base en la materia seca.

El experimento se condujo en un esquema de arreglo factorial 3X2 (tres procesos térmicos y dos niveles de inclusión), lo cual originó 12 dietas más la DR. Las dietas se distribuyeron en un diseño estadístico completo al azar con 13 tratamientos, cuatro repeticiones por tratamiento y cuatro aves por repetición. Las variables de respuesta generadas se analizaron utilizando el procedimiento GLM y los valores promedio se compararon, cuando procedía, mediante la prueba Duncan. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el programa SAS (SAS Inst Inc., Cary, NC).

## Resultados y Discusión

### Grano de *Cajanus* sp

#### *Composición química del grano*

En la [tabla 2](#) se presentan los resultados de algunos componentes químicos de los granos de *Cajanus* sp utilizados. Al comparar estos resultados con registros de la literatura se observan algunos valores similares. Se puede indicar que en sus tres condiciones los granos utilizados presentaron un contenido de proteína cruda alrededor de 22%, apenas superado por el registro Cedano (2006) del 23,4%, pero superior a otros registros incluyendo el de Ruíz (2015) quien en granos tostados, crudos y cocidos de *Cajanus* sp registró valores de 17,5, 18,75 y 20%. Los valores de fibra cruda de las semillas de *Cajanus* sp del estudio fueron superiores a los de Li et al. (1982) y Cedano (2006), que correspondieron a 7,5% y 8,2% respectivamente. Para los mismos granos, Ruíz (2015) había determinado contenidos que oscilaron entre 7,8 y 8,7%. Con respecto a la grasa la única diferencia identificada son los elevados valores de 6,37 y 8,72% registrados en la tabla de la literatura, muy superiores a los determinados en el estudio. No obstante que en el estudio no se determinó almidón y otros carbohidratos, Calderón (1978) y Cedano (2006) registraron valores de 60% para el almidón, los cuales sugerirían que este tipo de granos son aportadores importantes de carbohidratos y, posiblemente, en virtud de lo cual se podrían considerar no solo como fuente de proteína sino de energía.

**Tabla 2.** Composición química para el grano crudo, cocido y tostado de *Cajanus* sp usado en el experimento (valores expresados en base seca).

Análisis	<i>Cajanus</i> sp			Valores registrados en la literatura	Referencia bibliográfica de apoyo
	Crudo	Cocido	Tostado		
Nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda (PC) (%)	22,00	22,30	21,70	19,2; 20,3; 21,3; 22,0; 23,4	León et al. (1993); Li et al. (1982); Calderón (1978); Cedano (2006)
Contenido de grasa (%)	1,06	1,49	1,09	0,98; 6,37; 8,72	Cedano (2006); Li et al. (1982); Calderón (1978); León et al. (1993)
Fibra cruda (%)	9,90	13,00	10,00	7,5; 8,2; 10,6	Li et al. (1982); Cedano (2006)
Ca (%)	0,11	0,11	0,12		
P (%)	0,35	0,32	0,31		
Valor calorífico bruto (cal/g)	4327	4458	4345		

### Análisis de las variables relacionadas con el consumo

#### Consumo de dieta

En la **tabla 3** se registran los resultados del análisis estadístico para el consumo acumulado en la etapa de adaptación y de recolección del período experimental. En ambas etapas del ensayo se estableció una oferta controlada de las dietas; esto significa que no se adoptó el criterio de *oferta a libre voluntad*, pero tampoco fue *oferta restringida* de las dietas. En esta dirección para los siete días de la primera etapa la oferta correspondió a 2800 g por repetición, mientras que en los cuatro días de la fase de recolección fueron 1600 g por repetición. En el trabajo realizado por Rueda (2016), *Energía metabolizable del grano de soya integral determinada en pollos de engorde*, en la fase de recolección, también de cuatro días, se estableció una oferta de 1660 g por repetición. En el trabajo de la referencia el consumo promedio de las dietas fue 1339,72 g, inferior en 125 g, aproximadamente al promedio general de consumo de las dietas evaluadas en este estudio.

**Tabla 3.** Valores promedio para el consumo acumulado de la dieta con *Cajanus* sp en la etapa de adaptación y de recolección del período experimental.

TRATAMIENTO	Consumo de dieta acumulado (g)	
	Etapa de adaptación Consumo 1	Etapa de recolección Consumo 2
T5. Grano crudo 10%	1049,25	1506,75
T6. Grano tostado 10%	1160,25	1415,00
T7. Grano cocido 10%	1072,50	1461,50
T11. Grano crudo 20%	1027,50	1466,50
T12. Grano tostado 20%	1237,50	1412,00
T13. Grano cocido 20%	1289,50	1527,00
Pr>F	<0,0001	0,3406
R <sup>2</sup>	0,775	0,2528
Coefficiente de variación (%)	5,35	5,7777
Raíz MSE	60,98	84,6321
Proceso térmico		
Crudo	1038,38 <sup>b</sup>	1486,63
Tostado	1198,88 <sup>a</sup>	1413,50
Cocido	1181,00 <sup>a</sup>	1494,25
Nivel de inclusión		
10%	1094,00 <sup>b</sup>	1461,08
20%	1184,83 <sup>a</sup>	1468,50

<sup>a,b</sup> Dentro de cada factor los valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05).

Según los resultados de la [tabla 3](#) se puede establecer que en la etapa de adaptación el consumo (1) fue afectado por el proceso térmico y el nivel de sustitución, pero no hubo efecto de la interacción entre estos factores. Se destaca que en la fase de recolección, el consumo (2) no presentó diferencia debido al proceso térmico, el nivel de inclusión y a la interacción entre ambos factores. Estos resultados indican que en esta etapa el consumo de la dieta no fue diferente entre los distintos tratamientos, por lo que se podría advertir que sí se presentan diferencias en la EM de las dietas y en el mismo grano de *Cajanus* sp o en las otras variables analizadas, éstas no se podrían atribuir a la incidencia del consumo de la dieta.

### ***Consumo acumulado de materia seca, nitrógeno y energía de las dietas en la etapa de recolección del período experimental***

Como se indicó en el experimento no se midieron los desperdicios generados por cada repetición, por lo que en la estimación del consumo solo se tuvo en cuenta la oferta y los rechazos. En la [tabla 4](#) se registra la información relacionada con el efecto del proceso térmico y el nivel de inclusión del *Cajanus* sp sobre el consumo de materia seca (CMS), de nitrógeno (CN) y de energía bruta (CEB). Según los resultados del análisis de varianza para el CMS y CEB los modelos no fueron significativos ( $P > 0,3406$  y  $P > 0,7366$ , respectivamente), así mismo el análisis de cada factor (proceso térmico y nivel de inclusión) y de su interacción mostró que no afectaron el CMS y CEB. Otra fue la situación del CN: el modelo evaluado fue significativo ( $P < 0,018$ ), pero el único efecto significativo fue el ejercido por el proceso térmico ( $P < 0,0038$ ): los pollos que recibieron la dieta con el grano de *Cajanus* sp cocido consumieron más nitrógeno, no presentándose diferencia en esta variable entre los que consumieron el grano crudo o tostado.

**Tabla 4.** Valores promedio para el consumo acumulado de materia seca (CMS), nitrógeno (CN) y energía bruta (CEB) de la dieta con *Cajanus* sp en la etapa de recolección del período experimental.

TRATAMIENTO	Consumo acumulado		
	Materia seca (g)	Nitrógeno (g)	Energía bruta (cal)
T5. Grano crudo 10%	319,429	42,902	5662,1248
T6. Grano tostado 10%	619,134	41,769	5542,0960
T7. Grano cocido 10%	476,026	45,294	5510,3763
T11. Grano crudo 20%	455,855	43,780	5869,6032
T12. Grano tostado 20%	661,684	41,299	5569,9886
T13. Grano cocido 20%	247,726	48,503	5381,5424
Pr>F	0,3406	0,0180	0,7366
R <sup>2</sup>	0,2528	0,5056	0,1324
Coefficiente de variación (%)	63,30	6,31	7,95
Raíz MSE	293,30	2,775	444.659
Proceso térmico			
Crudo	387,60	43,342 <sup>a</sup>	5766,90
Tostado	340,40	41,534 <sup>a</sup>	5566,00
Cocido	361,90	46,899 <sup>a</sup>	5446,00
Nivel de inclusión			
10%	471,50	43,322	5571,50
20%	455,10	44,528	5607,00

<sup>a, b</sup> Valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05).

### ***Rechazo de materia seca, nitrógeno y energía bruta***

En la [tabla 5](#) se resume la información relacionada con los resultados del análisis del rechazo de la materia seca, nitrógeno y energía bruta. Para estas tres variables el análisis de varianza mostró que el modelo utilizado no fue significativo; de igual manera el análisis de cada factor y de su interacción indicó que no hubo diferencia en el rechazo de MS, N y EB de las dietas ofrecidas. No obstante que en este tipo de experimentos existe oferta controlada, mas no restringida, de las dietas, siempre se presenta rechazo. En principio se esperaba que la dieta tuviera incidencia sobre el rechazo y su composición, particularmente por tratarse de dietas en las que hubo un grano crudo, en dos niveles de sustitución y en forma de harina; sin embargo, en el experimento no se presentó esta situación.

**Tabla 5.** Valores promedio para el rechazo acumulado de materia seca, nitrógeno y energía bruta de la dieta con *Cajanus* sp en la etapa de recolección del período experimental.

Tratamiento	Rechazo acumulado		
	Materia seca (g)	Nitrógeno (g)	Energía bruta (cal)
T5. Grano crudo 10%	93,2500	3,0548	319,429
T6. Grano tostado 10%	185,000	5,6745	619,134
T7. Grano cocido 10%	138,500	4,7188	476,026
T11. Grano crudo 20%	133,500	4,6482	455,855
T12. Grano tostado 20%	188,000	6,1588	661,684
T13. Grano cocido 20%	73,000	2,4674	247,726
Pr>F	0,3406	0,4038	0,3406
R <sup>2</sup>	0,2528	0,2309	0,2528
Coefficiente de variación (%)	62,59	62,31	63,30
Raíz MSE	84,632	2,775	293,300
Proceso térmico			
Crudo	113,38	3,852	387,6
Tostado	186,50	5,917	640,4
Cocido	105,75	3,592	361,9
Nivel de inclusión			
10%	138,92	4,483	471,5
20%	131,50	4,425	455,1
Efecto del proceso	0,1375	0,2135	0,1394
Efecto del nivel	0,8324	0,9598	0,8923
Efecto de la interacción (Proceso*nivel)	0,4632	0,3816	0,4505

***Análisis de las variables relacionadas con las excretas producidas***

En la [tabla 6](#) se presentan los resultados procedentes de los análisis de las variables utilizadas en el experimento para las excretas producidas.

**Tabla 6.** Valores promedio acumulados para las variables asociadas con la producción de excretas, materia seca, nitrógeno y energía bruta excretada para el grano de *Cajanus* sp.

Tratamiento	Variables asociadas con las excretas producidas			
	Producción total (g)	Materia seca excretada (g)	Nitrógeno excretado (g)	Energía bruta excretada (cal)
T5. Grano crudo 10%	1962,618	494,1567	21,3737	1377,7906
T6. Grano tostado 10%	1910,314	513,6274	19,1197	1377,8131
T7. Grano cocido 10%	1945,720	512,7277	21,9204	1327,6160
T11. Grano crudo 20%	1957,867	517,3269	23,2823	1828,4704
T12. Grano tostado 20%	1863,977	458,4766	18,3282	1537,6510
T13. Grano cocido 20%	1992,998	516,1224	19,0866	1483,7292
Pr>F	0,4228	0,0101	<0,0001	0,0053
R <sup>2</sup>	0,2247	0,5407	0,8137	0,5766
Coefficiente de variación (%)	4,58	4,44	4,80	11,23
Raíz MSE	88,977	22,321	0,9865	168,008
Proceso térmico				
Crudo	1960,24	505,74	22,3281 <sup>a</sup>	1603,1305
Tostado	1887,15	486,05	18,7240 <sup>c</sup>	1475,7321
Cocido	1969,36	514,43	20,5036 <sup>b</sup>	1405,6726
Nivel de inclusión				
10%	1939,55	506,837	20,8046	1361,07 <sup>b</sup>
20%	1938,28	497,309	20,2325	1628,61 <sup>a</sup>
Efecto del proceso	0,1575	0,0562	<0,001	0,0847
Efecto del nivel	0,9725	0,3096	0,1725	0,0010
Efecto de la interacción (Proceso*nivel)	0,5832	0,0068	0,0006	0,1922

<sup>a, b, c</sup> Valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05).

De acuerdo con estos resultados se puede establecer que la producción total de excretas fue la única variable que no fue afectada por la dieta. En la materia seca excretada solo hubo efecto de la interacción entre el proceso térmico y el nivel de sustitución afectó. El proceso térmico y la interacción entre este factor y el nivel de sustitución afectaron el nitrógeno excretado: como se esperaba los pollos que consumieron la dieta con el grano crudo de *Cajanus* sp excretaron más nitrógeno que aquellos que ingirieron las que tenían el grano procesado, seguido por el grupo que recibió la dieta con el grano cocido y con el grano tostado. Finalmente, el valor calorífico de las excretas solo fue afectado por el nivel de sustitución del grano en la DR: a mayor nivel, fue más elevada la excreción de la energía en las excretas.

### ***Análisis del balance de nitrógeno (BN) y de energía bruta (BEB)***

Varios investigadores citados por López y Leeson (2007) concordaron en establecer que el uso de la corrección de la EM por la retención de nitrógeno se hace con el fin de

transformar todos los datos a la misma base de equilibrio de nitrógeno y permitir su comparación. En la [tabla 7](#) se registran los resultados procedentes del análisis del balance de nitrógeno y de la energía bruta.

**Tabla 7.** Valores promedio para el balance de nitrógeno y de energía bruta en dietas con *Cajanus* sp.

TRATAMIENTO	Balance de nitrógeno (g)	Balance de energía bruta (cal)
T5. Grano crudo 10%	21,5284	4284,3341
T6. Grano tostado 10%	22,6497	4164,2828
T7. Grano cocido 10%	23,3739	4182,7603
T11. Grano crudo 20%	20,4984	4041,1327
T12. Grano tostado 20%	22,9708	3996,3375
T13. Grano cocido 20%	29,4170	3897,8132
Pr>F	0,0017	0,5666
R <sup>2</sup>	0,6317	0,1810
Coefficiente de variación (%)	10,74	7,73
Raíz MSE	2,5158	316,802
Proceso térmico		
Crudo	21,013 <sup>b</sup>	4162,73
Tostado	22,810 <sup>b</sup>	4080,31
Cocido	26,395 <sup>a</sup>	4040,28
Nivel de inclusión		
10%	22,295	4210,45
20%	22,517	3978,42
Efecto del proceso	0,0015	0,7368
Efecto del nivel	0,1005	0,0896
Efecto de la interacción (Proceso*nivel)	0,0268	0,9326

<sup>a, b</sup> Valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05).

Como era de esperarse en todos los casos fueron positivos los BN y BEB. El modelo de análisis propuesto fue significativo para el BN (P<0,0017), pero no para el de la EB (P>0,5666), razón por la cual en este último no se podía esperar efecto del proceso térmico, el nivel de inclusión y de su interacción. Para el BN solo se presentó efecto del proceso térmico y de la interacción entre este factor y el nivel de sustitución. La comparación de los resultados indica que los pollos que recibieron las dietas con el grano cocido de *Cajanus* sp tuvieron un BN mayor que aquellos que accedieron a las dietas con grano crudo o tostado, no existiendo diferencia entre los pollos con estas dos últimas dietas. Este último resultado podría significar que el GC no afectó de forma negativa esta variable, pero el tostado del grano no la mejoró o, lo que es lo mismo, posiblemente las condiciones del tostado no favorecieron dicho balance. El análisis de las interacciones mostró que el BN más alto se consiguió con la dieta que contenía GC al 20% de sustitución. Entre las otras dietas no hubo diferencia, ni atribuible al tipo de proceso térmico ni al nivel de inclusión.

**Estimación del valor de la energía metabolizable aparente con balance de nitrógeno (EMAn) de las dietas**

En la **tabla 8** se registra la información de la EMAn de las dietas del experimento realizado con el grano de *Cajanus* sp.

**Tabla 8.** Valores de EMAn de las dietas utilizadas en el experimento con grano de *Cajanus* sp.

TRATAMIENTO	Valores de EMAn (kcal/kg de MS)
DIETA DE REFERENCIA	3285,89±0,043
T5. Grano crudo 10%	3082,42
T6. Grano tostado 10%	3144,48
T7. Grano cocido 10%	3202,15
T11. Grano crudo 20%	2871,36
T12. Grano tostado 20%	3075,33
T13. Grano cocido 20%	3023,08
Pr>F	0,0316
R <sup>2</sup>	0,4684
Coefficiente de variación (%)	3,8252
Raíz MSE	0,1176
Proceso térmico	
Crudo	3003,27
Tostado	3109,90
Cocido	3112,62
Nivel de inclusión	
10%	3138,36 <sup>a</sup>
20%	3000,70 <sup>b</sup>
Efecto del proceso	0,0587
Efecto del nivel	0,0055
Efecto de la interacción (Proceso*Nivel)	0,4710

<sup>a, b</sup>Valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05).

Como se observa en la información contenida en la tabla, el modelo lineal general propuesto para el análisis de la EMAn de las dietas fue significativo (P<0,0019), presentó un aceptable valor de R<sup>2</sup> y, al igual que la mayor parte de las variables estudiadas en el experimento, presentó un bajo coeficiente de variación. El análisis de los efectos indica que solo el proceso térmico y la interacción de éste con el nivel de inclusión afectaron el valor de la EMAn.

Con relación al proceso térmico la comparación de las medias mostró que la dieta con el GC de *Cajanus* sp tuvo menor contenido de EMAn que aquellas en las que se incluyó el grano cocido o tostado, sin que se haya presentado diferencia entre estas últimas. Puede afirmarse entonces que el proceso térmico aumentó en 72 y 123 kcal/kg de MS en el GT

y en el GC respectivamente con respecto a las dietas que incluyeron el GC, pero entre los dos procesos térmicos la diferencia apenas fue de 51 kcal.

El comportamiento de las interacciones fue diverso. En este informe solo se presentarán aquellas que fueron significativas. El contenido de EMAn de la dieta con la inclusión de 20% de GT fue superior al de las dietas con el GC en los dos niveles de inclusión y con el cocido al 10%. La inclusión de 10% del GT condujo a mayor contenido de EMAn de la dieta que la inclusión del 20% del GC. La cocción y la inclusión de 20% del grano mejoraron el contenido de energía en comparación con una dieta con GC al 20%, pero no tuvo efecto superior cuando se comparó con 10% del GC.

En resumen, el tostado del grano y el 20% de inclusión en una dieta a base de maíz y torta de soya mejoró la EMAn cuando se comparó con una dieta con GC (con ambos niveles de inclusión) o incluso cocido al 10% de inclusión. La inclusión de 10% de GT incrementó el contenido de energía si se compara solo con el GC al 20%. Para incrementar el contenido de energía de la dieta se justifica la inclusión del 20% del GC pero podría ser mejor con 10% de GC.

### **Estimación del valor de la EMAn del grano de *Cajanus sp***

La [tabla 9](#) recoge la información relacionada con los valores de la EMAn del grano de *Cajanus sp* evaluado en este ensayo.

**Tabla 9.** Valores de EMAn del grano de *Cajanus sp* (kcal/kg de MS).

TRATAMIENTO	Valores de EMAn (kcal/kg de MS)
Pr>F	0,0110
R <sup>2</sup>	0,6457
Coefficiente de variación (%)	17,485
Raíz MSE	0,4820
<hr/>	
Efecto del proceso	0,0057
Efecto del nivel	0,0045
Efecto de la interacción (Proceso*Nivel)	0,4790
<hr/>	
Proceso térmico	
Crudo	2286,20 <sup>a</sup>
Tostado	2945,50 <sup>a</sup>
Cocido	3115,90 <sup>a</sup>
<hr/>	
Nivel de inclusión	
10%	3072,80 <sup>a</sup>
20%	2471,70 <sup>b</sup>
<hr/>	
Relación entre los valores de EMAn/Valor calorífico bruto (%)	
Proceso térmico	
Crudo	52,84
Tostado	67,79
Cocido	69,99

<sup>a, b</sup> Valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05).

Con base en la información registrada en la tabla se puede identificar que el modelo de análisis propuesto fue significativo. De acuerdo con el valor del CV se puede señalar que este fue medio, aspecto que se podría decir es propio o caracteriza a este tipo de recursos alimenticios, cuando se compara con el maíz y los productos de soya, alimentos utilizados en los sistemas especializados de producción con aves. Los resultados registrados en la misma tabla permiten deducir que los efectos principales evaluados, tanto el proceso térmico como el nivel de inclusión, influyeron en el valor de la EMAn del grano del *Cajanus* sp.

Este estudio se realizó dentro de la hipótesis según la cual la aplicación de dos procesos térmicos (cocción y tostado), bajo condiciones controladas, al GC de *Cajanus* sp debería introducir cambios en el contenido de la EM evaluada en pollos de una línea comercial. Los resultados muestran que efectivamente estos dos procesos aumentaron la EMAn en 660 y 830 kcal/kg de MS cuando el grano se tostó o se coció, no pudiéndose identificar diferencia en el efecto entre ambos procesos.

En cuanto al efecto del nivel el trabajo permitió establecer que la EMAn del grano disminuyó en 601,1 kcal/kg de MS cuando su nivel de sustitución en la DR pasó de 10 a 20%, lo cual permite señalar que para este tipo de alimento es importante considerar que el valor de la EM estaría asociado con el nivel de incorporación en la dieta, hallazgo que también se ha podido establecer en otros alimentos.

Un aspecto final que se debe analizar de los resultados registrados en la [tabla 9](#) es la relación entre el valor de EMAn y el valor calorífico bruto para el grano. Como se observa el valor más bajo para esta relación fue para el grano crudo, valor que se incrementa entre 15 y 17 unidades porcentuales cuando el grano se sometió a tostado y a la cocción. No parece ser que exista un efecto discriminatorio en esta relación entre los dos tipos de proceso térmico evaluados. Este efecto favorable del proceso térmico posiblemente se explica por la incidencia de la temperatura en la inactivación de los FAN y el mejoramiento de la digestibilidad de los nutrientes del grano.

El componente energético de mayor proporción en las leguminosas de grano son los carbohidratos que representan más del 70% del peso total de la semilla. Estos azúcares están constituidos por mono y oligosacáridos, almidón y otros polisacáridos. El almidón es el carbohidrato más abundante de estas leguminosas; la amilosa puede constituir un componente significativo del almidón y puede situarse entre el 34% (guisantes y habas) y el 46% (garbanzo y lentejas) (Brenes & Brenes, 1993).

Por otro lado, Nwokolo (1987) reportó en granos crudos de guandul 2646,41 kcal de EMAn/kg pasando a 2873,3 kcal/kg en granos tostados (secados en horno a 95°C durante 48 horas). En este trabajo el tostado del grano incrementó en aproximadamente 227 kcal/kg.

En un trabajo citado por León et al. (1993), en gallos adultos con granos de guandul suministrados en forma pura (100%) o en una mezcla con 50% de maíz, se describió que la energía metabolizable verdadera corregida por el balance de nitrógeno (EMVn) fue  $2684 \pm 220$  y  $2987 \pm 91$  (kcal/kg MS). El análisis estadístico de la comparación de los valores de energía indicó que no hubo diferencia entre los valores determinados.

### Grano de *Mucuna* sp

#### Composición química del grano

En la tabla 10 se presentan los resultados de algunas variables de la composición química de los granos de *Mucuna* sp.

**Tabla 10.** Composición química para el grano crudo, cocido y tostado de *Mucuna* sp usados en el experimento (valores expresados en base seca).

Análisis	<i>Mucuna</i> sp			Valores registrados en la literatura	Referencia bibliográfica de apoyo
	Crudo	Cocido	Tostado		
Nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda (PC) (%)	27,20	26,20	26,40	20,45; 22,01; 38,20	Castaño (2006); Sesma et al. (2009); Adebowale et al. (2005)
Contenido de grasa (%)	2,76	3,60	2,87	3,86; 6,37; 8,72	Sesma et al. (2009); Castaño (2006); Adebowale et al. (2005)
Fibra cruda (%)	8,40	12,50	9,20	3,70; 5,79; 11,00	Castaño (2006); Adebowale et al. (2005); Sesma et al. (2009)
Ca (%)	0,11	0,11	0,11	0,18	Duke (1981)
P (%)	0,44	0,43	0,42	0,99	Duke (1981)
Valor calorífico bruto (cal/g)	4537	4565	4578		

Para el grano de *Mucuna* sp los resultados de la información de las fracciones químicas analizadas en el estudio son cercanas a las disponibles en la literatura; llama la atención el caso de la proteína cruda la cual dista de la encontrada por Adebowale et al. (2005) quienes reportaron un valor de 38,2%; así mismo, los registros tomados de Adebowale et al. (2005), Castaño (2006) y Sesma et al. (2009) muestran que el grano de *Mucuna* sp presenta una composición química variable para el caso de la fibra cruda, la cual no parece explicarse a partir de los procesos aplicados. Con respecto al contenido de grasa

los resultados obtenidos en el grano de *Mucuna* sp se ciñen a lo reportado por Sesma et al. (2009).

### Análisis de las variables relacionadas con el consumo

#### Consumo de dieta

En la [tabla 11](#) se registra la información de los valores promedio para el consumo de la dieta en la etapa de adaptación (consumo 1) y recolección (consumo 2) del período experimental. Según los resultados se pudo establecer que tanto para la etapa de adaptación como de recolección en el análisis del modelo propuesto el consumo no fue significativo ( $p > 0,1713$  y  $p > 0,6360$ ), sin presentarse entonces diferencias en el consumo, ni por el tipo de proceso térmico ni por el nivel de inclusión del grano en la dieta. Es importante llamar la atención en el valor, relativamente bajo, del coeficiente de variación para la variable en referencia.

**Tabla 11.** Valores promedio para el consumo acumulado de la dieta con *Mucuna* sp en la etapa de adaptación y de recolección del período experimental.

TRATAMIENTO	Consumo de dieta acumulado (g)	
	Etapa de adaptación	Etapa de recolección
	Consumo 1	Consumo 2
T2. Grano crudo 10%	1276,50	1504,75
T3. Grano tostado 10%	1206,00	1448,00
T4. Grano cocido 10%	1312,00	1528,25
T8. Grano crudo 20%	1265,25	1488,00
T9. Grano tostado 20%	1159,25	1439,75
T10. Grano cocido 20%	1200,00	1523,25
Pr>F	0,1713	0,6360
R <sup>2</sup>	0,3288	0,1612
Coefficiente de variación (%)	6,79	5,3475
Raíz MSE	84,8772	72,4834
Proceso térmico		
Crudo	1296,25	1525,75
Tostado	1270,88	1443,88
Cocido	1182,63	1496,38
Nivel de inclusión		
10%	1264,83	1493,67
20%	1235,00	1483,67

#### Consumo acumulado de materia seca, nitrógeno y energía de las dietas en la etapa de recolección del período experimental

Se registra la información relacionada con el efecto del proceso térmico y el nivel de inclusión de la *Mucuna* sp sobre el consumo de materia seca (CMS), de nitrógeno (CN)

y de energía bruta (CEB). En la [tabla 12](#) se registra la información de los valores de estas variables en la etapa de recolección del período experimental. El análisis de varianza mostró que el modelo no fue significativo para las variables estudiadas; no obstante, se puede colegir que para el grano tostado se muestra mayor CMS al igual que para las dietas con 20% de inclusión del grano de *Mucuna* sp. Finalmente es importante llamar la atención en el comportamiento diferenciado del coeficiente de variación de las tres variables: mientras que se puede afirmar que fue bajo para el CN y la CEB, lo mismo no aconteció con el CMS.

**Tabla 12.** Valores promedio para el CMS, CN y CEB de la dieta con *Mucuna* sp en la etapa de recolección del período experimental.

Tratamiento	Consumo acumulado		
	Materia seca (g)	Nitrógeno (g)	Energía bruta (cal)
T2. Grano crudo 10%	242,091	43,896	5783,7854
T3 Grano tostado 10%	529,255	41,190	5852,7209
T4. Grano cocido 10%	144,599	45,491	5827,8585
T8. Grano crudo 20%	263,019	43,123	5764,2385
T9. Grano tostado 20%	551,044	39,579	5689,0319
T10. Grano cocido 20%	378,548	40,306	5681,6410
Pr>F	0,3325	0,0748	0,8974
R <sup>2</sup>	0,2559	0,4034	0,080
Coeficiente de variación (%)	83,98	6,92	4,343
Raíz MSE	295,11	2,924	250,458
Proceso térmico			
Crudo	252,55	43,50	5774,00
Tostado	540,14	40,38	5770,90
Cocido	261,57	42,89	5754,70
Nivel de inclusión			
10%	305,3150	43,526	5821,50
20%	596,3055	41,003	5711,60

**Rechazo de materia seca, nitrógeno y energía bruta**

En la [tabla 13](#) se resume la información relacionada con los resultados del análisis del rechazo de la materia seca, nitrógeno y energía bruta para el grano de *Mucuna* sp. Para estas tres variables el análisis de varianza mostró que el modelo utilizado no fue significativo; de igual manera, el análisis de cada factor y de su interacción indicó que no hubo diferencia en el rechazo de MS, N y EB de las dietas ofrecidas. Pese a que en este tipo de experimentos existe oferta controlada, mas no restringida, de las dietas, siempre se presenta rechazo. En principio se esperaba que la dieta tuviera incidencia sobre el rechazo y su composición, particularmente por tratarse de dietas en las que hubo un grano crudo, en dos niveles de sustitución y en forma de harina; sin embargo,

en el experimento no se presentó esta situación. Un aspecto destacable en el comportamiento de estas variables está relacionado con el elevado valor del coeficiente de variación el cual como se puede identificar en la información estuvo por encima del 81%.

**Tabla 13.** Valores promedio para el rechazo acumulado de materia seca, nitrógeno y energía bruta de la dieta con *Mucuna* sp en la etapa de recolección del período experimental.

Tratamiento	Rechazo acumulado		
	Materia seca (g)	Nitrógeno (g)	Energía bruta (cal)
T2. Grano crudo 10%	71,750	2,3533	242,091
T3. Grano tostado 10%	152,000	4,5746	529,254
T4. Grano cocido 10%	95,250	3,3904	307,247
T8. Grano crudo 20%	76,750	2,5573	263,0193
T9. Grano tostado 20%	160,250	5,1998	551,0446
T10. Grano cocido 20%	112,000	3,5239	378,548
Pr>F	0,6360	0,7147	0,5908
R <sup>2</sup>	0,1612	0,1388	0,174
Coeficiente de variación (%)	81,19	81,21	81,15
Raíz MSE	90,396	2,924	307,163
Proceso térmico			
Crudo	74,25	2,4553	252,5551
Tostado	156,13	4,8872	540,1493
Cocido	103,63	3,4570	342,8975
Nivel de inclusión			
10%	106,33	3,4394	359,531
20%	116,33	3,7603	397,537
Efecto del proceso	0,2135	0,2726	0,1884
Efecto del nivel	0,7895	0,7911	0,7653
Efecto de la interacción (Proceso*nivel)	0,9910	0,9836	0,9825

***Análisis de las variables relacionadas con las excretas producidas***

En la [tabla 14](#) se presentan los resultados procedentes de los análisis de las variables utilizadas en el experimento para las excretas.

**Tabla 14.** Valores promedio acumulados para las variables asociadas con las excretas de dietas con *Mucuna* sp.

Tratamiento	Variables asociadas con las excretas			
	Producción total	Materia seca excretada (g)	Nitrógeno excretado (g)	Energía bruta excretada (cal)
T2. Grano crudo 10%	1951,145	474,7722	19,2324	1606,6579
T3. Grano tostado 10%	1892,868	460,0870	18,2885	1429,5257
T4. Grano cocido 10%	1972,998	492,5375	20,8117	1572,0953
T8. Grano crudo 20%	1958,750	440,6432	18,5559	1886,3486
T9. Grano tostado 20%	1875,478	473,5886	18,3504	2005,6998
T10. Grano cocido 20%	1911,818	481,2938	16,9702	1772,7626
Pr>F	0,6184	0,6783	0,2837	0,0015
R <sup>2</sup>	0,1662	0,1492	0,2748	0,6357
Coefficiente de variación (%)	4,82	9,65	11,62	10,01
Raíz MSE	92,971	45,4430	307,163	171,4425
Proceso térmico				
Crudo	1954,948	457,708	18,8942	1746,5000
Tostado	1884,173	466,838	18,3195	1717,6100
Cocido	1942,408	486,916	18,8901	1672,4300
Nivel de inclusión				
10%	1938,990	475,799	19,444	1536,09 <sup>B</sup>
20%	1915,349	465,175	17,989	1888,27 <sup>A</sup>
Efecto del proceso	0,2919	0,4379	0,8322	0,6896
Efecto del nivel	0,5411	0,5740	0,1130	0,0001
Efecto de la interacción (Proceso*nivel)	0,7585	0,5866	0,1903	0,0967

<sup>A,B</sup>Valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05).

En el período de recolección el modelo de análisis estadístico solo fue significativo para la energía bruta excretada  $p < 0,0015$ , siendo mayor en la dieta con el 20% de inclusión del grano en la dieta de referencia (DR) (1888,27 calorías) que con 10% de inclusión (1536,09 calorías). Con 10% de inclusión la dieta con GT presentó menos energía bruta excretada que la utilizó el GC o cocido, sin que hubiese diferencia entre el crudo y el cocido. Al pasar al 20% de inclusión el GT se comportó de manera diferente si se observa que presentó los valores más altos de energía bruta excretada que con el GC o cocido sin que hubiese diferencia entre estos dos.

#### ***Análisis del balance de nitrógeno (BN) y de la energía bruta (BEB)***

La [tabla 15](#) recoge la información relacionada con el efecto del tipo de tratamiento térmico, el nivel de inclusión del grano de *Mucuna* sp en la DR y la interacción de estos dos factores sobre el balance de nitrógeno (BN) y el balance de energía bruta (BEB).

**Tabla 15.** Valores promedio para el BN y BEB en el experimento de *Mucuna* sp.

Tratamiento	Balance de nitrógeno (g)	Balance de energía bruta (cal)
T2. Grano crudo 10%	24,6638	4177,1275
T3. Grano tostado 10%	22,9020	4423,1952
T4. Grano cocido 10%	24,6795	4255,7632
T8. Grano crudo 20%	24,5667	3877,8899
T9. Grano tostado 20%	21,2296	3683,3321
T10. Grano cocido 20%	23,3356	3908,8782
Pr>F	0,7179	0,0016
R <sup>2</sup>	0,1379	0,6343
Coefficiente de variación (%)	15,34	5,46
Raíz MSE	3,613	221,1245
Proceso térmico		
Crudo	24,6153	4027,50
Tostado	22,0658	4053,30
Cocido	24,0075	4082,30
Nivel de inclusión		
10%	24,0818	4285,36 <sup>a</sup>
20%	23,0439	3823,37 <sup>b</sup>
Efecto del proceso	0,3586	0,8850
Efecto del nivel	0,4908	0,0001
Efecto de la interacción (Proceso*nivel)	0,9002	0,1199

<sup>a, b</sup>Valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05).

Para el período de recolección el modelo de análisis estadístico solo fue significativo para el BEB (p<0,0016). Para esta variable solo hubo efecto del nivel de inclusión del grano de *Mucuna* sp en la DR: la inclusión de 20% disminuyó el BEB en 461,99 calorías en comparación con lo presentado en los pollos que recibieron la dieta con 10% de inclusión del grano de *Mucuna* sp. Para el BN no se observó significancia del modelo de análisis propuesto (p<0,7179). Al igual que con las variables anteriores se mantuvieron bajos los coeficientes de variación.

***Estimación de la energía metabolizable aparente con balance de nitrógeno (EMAn) de las dietas con grano de Mucuna sp***

La [tabla 16](#) recoge la información relacionada con los valores de la EMAn de las dietas con el grano de *Mucuna* sp. Para iniciar el análisis de los resultados de los valores de EMAn de los tratamientos lo primero que se realizará tiene que ver con el comportamiento que presentó la DR. Para tal efecto se comparó la composición centesimal y los valores de EMAn de la DR con los de las dietas de referencia utilizadas en algunos trabajos realizados en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, orientados a la determinación de la EM de diferentes alimentos. Con esta comparación

se buscaba introducir un mecanismo de control de calidad a la DR utilizada. Los resultados de esta confrontación se registran en la [tabla 17](#).

**Tabla 16.** Valores de EMAn de las dietas con grano de *Mucuna* sp.

TRATAMIENTO	Valores de EMAn (kcal/kg de MS)
DIETA DE REFERENCIA	3285,89±0,043
T2. Grano crudo 10%	2978,88
T3. Grano tostado 10%	3165,14
T4. Grano cocido 10%	3066,57
T8. Grano crudo 20%	2820,36
T9. Grano tostado 20%	2776,31
T10. Grano cocido 20%	2917,40
Pr>F	0,0004
R <sup>2</sup>	0,6883
Coefficiente de variación (%)	3,5399
Raíz MSE	0,1046
Proceso térmico	
Crudo	2899,62
Tostado	2970,72
Cocido	2991,99
Nivel de inclusión	
10%	3070,20 <sup>a</sup>
20%	2838,02 <sup>b</sup>
Efecto del proceso	0,2086
Efecto del nivel	0,0001
Efecto de la interacción (Proceso*Nivel)	0,0571

<sup>a</sup> <sup>b</sup> Valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05).

**Tabla 17.** Composición centesimal y valores de EMAn de la DR empleada en este estudio y en algunos trabajos realizados en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, orientados a la determinación de la EM de diferentes alimentos.

Ingrediente	Composición centesimal de la dieta básica				
Maíz amarillo	71,24	56,06	58,00	56,06	55,60
Torta de soja	27,18	35,65	35,00	35,90	36,00
Aceite de soya o de palma	1,57	4,00	3,00	4,00	4,00
Cloruro de sodio	0,41	0,35	0,35	0,40	0,35
Carbonato de calcio	1,07	1,73	1,60	1,73	1,73
Fosfato monobásico o tricálcico	2,07	1,47	1,60	1,47	1,47
Óxido de cromo	0,50				
L-Lisina HCL	0,31				
Metionina DL	0,26	0,24	0,25	0,24	0,20
L-Treonina	0,04				
Premezcla de vitaminas y minerales	0,26	0,20	0,20	0,20	0,60
Material inerte (relleno)		0,30			0,048
EMAn	3146,3	3271,20	3271	3463,9	3250
Referencia	Londoño (2016)	Castaño (2006)	González (2002)	Londoño y Villalba (2006)	Marín y Ruíz (2005)

  

Ingrediente	Composición centesimal de la dieta básica				
Maíz amarillo	58,00	55,60	57,80	67,88	58,00
Torta de soja	35,00	36,00	35,00	25,90	35,00
Aceite de soya o de palma	3,00	4,00	3,00	1,50	3,00
Metionina DL	0,25	0,20	0,25	0,25	0,25
Cloruro de sodio	0,30	0,35	0,35	0,39	0,30
Carbonato de calcio	1,60	1,73	1,75	1,02	1,60
Fosfato monobásico o tricálcico	1,60	1,47	1,75	1,97	1,60
Óxido de cromo				0,50	
Premezcla de vitaminas y minerales	0,20	0,60	0,2	0,25	0,20
L-lisina				0,30	
Metionina DL				0,25	
L-Treonina				0,04	
Material inerte (relleno)		0,048			
EMAn kcal/kg MS	3440	3315,42	3253	3233,45	3067
Referencia	Montoya y Rodríguez (2005)	Medina y Jiménez (2005)	Posada (2002)	Rueda (2016)	Uribe (2000)

Esta confrontación también resulta válida para el análisis del grano de *Cajanus* sp. Con relación a la composición centesimal la comparación de la DR utilizada en el experimento tuvo la mayor inclusión de maíz amarillo. Tanto la DR de este experimento como la empleada por Rueda (2016) tuvieron las menores inclusiones de torta de soya y aceite de palma. Se observa, además, que en estos dos estudios las dietas de referencia fueron las únicas a las que se adicionó L-Lisina HCl y L-Treonina. En cuanto al contenido de EMAn las DR utilizadas en los estudios referidos en la [tabla 17](#) presentaron valores que oscilaron entre 3067±44,4 kcal/kg de MS en el trabajo realizado por Uribe (2000) en tortas de soya de origen nacional, boliviano y de EE-UU y 3463,9 kcal/kg MS en otro estudio que adelantaron Londoño y Villalba (2006) en hojas de *Morus alba* y *Malvaviscus penduliflorum*. La diferencia entre estos valores fue de 396,9 kcal/kg de MS, valor que corresponde a 11,46%, el cual se puede considerar bajo. En el experimento que hizo parte de este trabajo la EMAn de la DR fue 3146,39±0,04032, valor que se encuentra próximo al promedio de los trabajos referenciados en la tabla en referencia (3057,04 kcal/kg de MS). En cuanto a los resultados generados en el estudio se pudo establecer que no hubo efecto del proceso, del nivel de inclusión del grano de *Mucuna* sp en la DR y de la interacción entre estos dos factores.

**Estimación de la energía metabolizable aparente con balance de nitrógeno (EMAn) del grano de *Mucuna* sp**

La [tabla 18](#) recoge la información relacionada con los valores de la EMAn del grano de *Mucuna* sp evaluado en este ensayo.

**Tabla 18.** Valores caloríficos brutos y de EMAn del grano de *Mucuna* sp (kcal/kg de MS).

TRATAMIENTO	Valores de EMAn (kcal/kg de MS)
Pr>F	0,0359
R <sup>2</sup>	0,5401
Coefficiente de variación (%)	19,6817
Raíz MSE	0,4300
<b>Efecto del proceso</b>	
Efecto del nivel	0,0223
Efecto de la interacción (Proceso*Nivel)	0,0870
<b>Proceso térmico</b>	
Crudo	1923,10
Tostado	2178,00
Cocido	2387,20
<b>Nivel de inclusión</b>	
10%	2432,30 <sup>a</sup>
20%	1938,10 <sup>b</sup>
<b>Relación entre los valores de EMAn/Valor calorífico bruto (%)</b>	
<b>Proceso térmico</b>	
Crudo	44,44
Tostado	50,13
Cocido	53,55

<sup>a,b</sup> Dentro de cada factor los valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05).

De acuerdo con los resultados registrados en la [tabla 18](#) se puede colegir que el nivel de inclusión del grano en la DR fue el único factor que tuvo efecto sobre la EMAn del propio grano. En este caso se puede establecer que doblar el nivel de inclusión implicó la disminución de 494,2 kcal/kg de MS. Con respecto a la relación de los valores entre la EMAn y el valor calorífico bruto del grano de *Mucuna* sp muestran la misma tendencia a la establecida para el *Cajanus* sp, los dos procesos térmicos incrementaron esta relación, sin que entre ambos procesos se identifiquen valores diferentes. No obstante, no se trata de comparar los resultados entre los dos granos se puede identificar que en la *Mucuna* sp esta relación fue más baja, así como su incremento por efecto del proceso térmico.

## Conclusiones

El análisis de los resultados muestra que en grano de *Cajanus* sp las condiciones de tostado y de cocción aumentaron en 660 y 830 kcal de EMAn/kg de MS respectivamente, con respecto al GC. Para este grano la EMAn disminuyó en 601,1 kcal/kg MS cuando su nivel de inclusión en la DR pasó de 10 a 20%, lo cual sugiere que al menos para este tipo de alimento la determinación de la EM debe considerar el efecto del nivel de sustitución.

Para el grano de *Mucuna* sp los hallazgos fueron inconsistentes en las relaciones entre el proceso térmico, el nivel de inclusión y la EM. El único factor que tuvo efecto sobre la EMAn fue el nivel de inclusión en la DR: al pasar de 10 al 20% hubo la disminución de 494,2 kcal/kg MS.

En general, el estudio presentó bajos coeficientes de variación en todas las variables analizadas lo que sugiere un elevado control en los procesos de las diversas fases de su realización. Bajo las condiciones operativas del estudio se puede concluir que la cocción y el tostado del grano de *Cajanus* sp o de *Mucuna* sp así como su nivel de inclusión afectaron la EMAn y las otras variables incluidas, pero se evidenció que este efecto fue inconsistente.

## Referencias bibliográficas

- Adebowale, Y.A; Adeyemi, I.A; Oshodi, A. Variability in the physicochemical, nutritional and antinutritional attributes of six *Mucuna* species. **Food Chemistry**. 89: 37-48. 2005.
- Brenes, A; Brenes, J. Tratamiento tecnológico de los granos de leguminosas: influencia sobre su valor nutritivo. En: IX Curso de especialización FEDNA (8 y 9 de nov.). Memorias. Barcelona, España: p. 32. 1993.

Calderón, G.R. **El cultivo del guandul**. Boletín técnico, Publicación del Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Programa Frutales, Estación Experimental “Caribia” Santa Marta, Colombia. 14p. 1978.

Castaño, C.S.E. **Estimación de la energía metabolizable aparente con balance de nitrógeno de hojas de yuca (*Manihot esculenta*) y vitabosa (*Mucunadeeringianum*) en pollos de engorde**. Trabajo de grado. Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2006.

Cedano, J. **Guía técnica cultivo del guandul**. Editorial CEDAF Santo Domingo, República Dominicana. Disponible en: <http://www.cedaf.org.do/CENTRODOC/EBOOK/GGUANDUL.PDF>. 2006.

D’Mello, J. **Anti-nutritional factors and mycotoxins**. In: Farm Animal Metabolism and Nutrition. CABI Publishing. Wallingford, Inglaterra: 383-403. 2000.

Duke, J.A. **Hand book of legumes of world economic importance**. Plenum Press, New York. 1981.

Elizalde, A.D; Porrilla, Y.P; Chaparro D.C. **Factores antinutricionales en semillas**. Artículo original. Facultad de Ciencias Agropecuarias, v. 7 (1). Enero-Junio. 2009. 10 p. Encontrado en [Link](#). Consultado en marzo de 2015.

González, B.H. **Determinación de la energía metabolizable en subproductos del trillado de arroz y de maíz utilizados en la alimentación de aves**. Trabajo de grado (Zootecnia). Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. 2002.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, NTC-17025. Bogotá DC: ICONTEC, 2005.

León, A. et al. Caracterización química y valor nutricional de granos de leguminosas tropicales para la alimentación de aves. **Rev. Zootecnia Tropical**. V, 11, n. 2: 151-170, 1993.

Li, E.M.A. et al. Efecto de diferentes tipos de tratamiento térmico sobre la calidad proteínica del frijol Guandul (*Cajanus cajan*). **Rev. Agronom. Costarr.** v 6 (1/2): 27-33. 1982.

Londoño, L.A.M; Villalba, L.M. **Estimación de la energía metabolizable aparente con balance de nitrógeno de hojas de morera (*Morus alba*) y san Joaquín (*Malvaviscus penduliflorum*) en pollos de engorde**. Trabajo de grado (Zootecnia). Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2006.

- López, G; Leeson, S. Relevance of nitrogen correction for assessment of metabolizable energy with broilers to forty-nine days of age. **Poultry Science**, v. 86:1696-1704, 2007.
- Marín, V.J.A; Ruíz, R.J.C. **Efecto de la adición de enzima fitasa sobre la energía metabolizable de dietas que contienen salvado de trigo y harina de arroz**. Trabajo de grado (Zootecnia). Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 2005.
- Medina, O.J; Jiménez, B.P.A. **Efecto de la adición de una fitasa de origen microbiano sobre la energía metabolizable de dietas con torta de algodón y de girasol en aves**. Trabajo de grado (Zootecnia). Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2005.
- Montoya, L.F.; Rodríguez, P.V.L. **Estimación de la energía metabolizable aparente con balance de nitrógeno de hojas de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y nacedero (*Trichanthera gigantea*) en pollos de engorde**. Trabajo de grado (Zootecnia). Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2005.
- Nava, R; Ruiz, B; Belmar, R. Una reseña corta sobre el valor nutritivo y factores antinutricionales de follaje de canavalia y terciopelo dados a cerdos. **Revista computarizada de Producción Porcina**, v. 6, n. 3, 1-8, 1999.
- Nwokolo, E. Nutritional evaluation of pigeon pea meal. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 37: 283-290, 1987.
- Posada, D.L.R. **Evaluación nutricional de harinas de carne comercial de origen nacional utilizadas en dietas para pollos de engorde**. Trabajo de grado (Zootecnia). Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2002.
- Rueda, A.S.L. **Energía metabolizable del grano de soya integral determinada en pollos de engorde**. Tesis (Maestría en Ciencias Agrarias). Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2016.
- Ruíz, D.M.V. **Efecto de dos procesos térmicos sobre la calidad biológica de la proteína de granos de Guandul (*Cajanus* sp) y Vitabosa (*Mucuna* sp) utilizando como modelo animal pollos de engorde**. Tesis (Maestría en Ciencias Agrarias). Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2015.
- Sakomura, N.K; Rostagno, H.S. **Métodos de Pesquisa em Nutrição de Monogástricos**. Jaboticabal: Funep, 2007. 283p.

- Savón, V.L.; Idania, S. Factores antinutricionales en recursos alimentarios tropicales para especies monogástricas. En: IX Encuentro de Nutrición y Producción en Animales Monogástricos, Montevideo, Uruguay, 2007. p. 93- 97. Encontrado en [Link](#) Consultado en Marzo 2015.
- Sesma, B. et al. Evaluación del frijol terciopelo (*Stizolobium deeringianum*) remojado, en dietas para cerdos en crecimiento. **Rev. Universidad y Ciencia**, v. 25, n. 2: 141-150, 2009.
- Sibbald, I.R. et al. Factors affecting the metabolizable energy content of poultry feeds. **Poultry Science**, v. 39: 544-556, 1960.
- Uribe, A. **Determinación de la energía metabolizable en tortas de soya utilizadas en la alimentación de aves**. Trabajo de Grado (Zootecnia). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Producción Animal. 2000.
- Van der Poel, A.F.B. **Effects of processing on antinutritional factors (ANF) and nutritional value of legume seeds for non-ruminant feeding**. In: Recent Advances of researches on antinutritional factors in legume seeds. Wageningen Pudoc. P. 213. 1989.
- Van der Poel, A.F.B; Melcion, J.P. Antinutritional factors and processor technology. Principles adequacy and optimization. **International Feed and Nutrition Technology**, v. 3: 17, 1995.

---

**Como citar:** Londoño-Uribe, J.G.; Giraldo-Mejía, Á.M. Evaluación de la cocción y el tostado aplicados a los granos de guandul (*Cajanus* sp) y vitabosa (*Mucuna* sp) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde. **Revista Veterinaria y Zootecnia**. n, v. 13, n. 1, p. 01-30, 2019. DOI: 10.17151/vetzo.2019.13.1.1.  
<http://vetzootec.ucaldas.edu.co/index.php/component/content/article?id=262>.

---

Esta obra está bajo una [Licencia de Creative Commons Reconocimiento CC BY](#)

