



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Juan Gonzalo Londoño Uribe

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento Producción Animal
Medellín, Colombia
2018

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Juan Gonzalo Londoño Uribe

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister Ciencias Agrarias

Director:

ZTC. D.Sc. Ángel María Giraldo Mejía

Línea de Investigación:

Evaluación Nutricional de Recursos Alimenticios

Grupo de Investigación:

Evaluación Nutricional de Recursos Alimenticios y Estrategias de Alimentación Animal

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias Departamento de Producción Animal

Medellín, Colombia

2018

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos a:

Luz Siria Ruiz M, María E. Duque G., Boris H. González, Janet Cristina Serna, Alcides Zabala M. y John Fredy Urrego, técnicos operativos del Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín por su colaboración.

Oliver Restrepo y colaboradores de la empresa Solla S.A., operarios de los galpones avícolas de la Granja Portugal, (“Avilandia”), por su colaboración.

Luis Miguel Gómez y Juan Camilo Saldarriaga, directivos del área de investigación y desarrollo de la empresa Solla S.A. por su colaboración y a la empresa por la financiación de esta investigación.

Leidy Laura Restrepo, empleada del Laboratorio de Concentrados, Estación Agraria San Pablo, (Rionegro, Antioquia), de la Universidad Nacional de Colombia, por su colaboración.

Jesús H. Gil, empleado del Laboratorio de Frutas y Hortalizas, de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, por su colaboración.

Marta Victoria Ruiz, Zootecnista, Master en Ciencias Agrarias y Especialista en Nutrición Animal, por su apoyo y colaboración en el desarrollo de esta investigación.

Ángel María Giraldo M., Zootecnista. D.Sc. Profesor y director de esta investigación, por su asesoría y colaboración.

A DIOS por su infinita misericordia M.AUX. – VGU TAM. . A la memoria de mi abuela Margarita Sánchez Z., a mis padres Iván de J. y Luz Elena, por el apoyo incondicional y amor que me han brindado, muy especialmente a mi esposa Paula Andrea Vélez, por su compañía, respeto y amor, a mis hijas María Clara y Mariana, por su presencia constante.

Resumen

Se evaluó el efecto de dos procesos térmicos, la cocción y el tostado, aplicados a granos crudos de *Cajanus sp* y *Mucuna sp* y dos niveles de inclusión (10% y 20%) a una dieta de referencia (DR) de maíz y torta de soya sobre la energía metabolizable aparente con corrección por balance de nitrógeno (EMAn), en pollos machos de la línea Ross x Ross, de 21 días de edad, utilizando la técnica de sustitución del núcleo energético de la dieta de referencia y la recolección total de excretas.

Aunque la evaluación de los granos de *Cajanus sp* y *Mucuna sp* se realizó en un solo experimento los resultados se analizaron de manera independiente puesto que el objetivo del proyecto no era realizar su análisis comparativo.

Grano de *Cajanus sp*.

La comparación de los resultados del análisis de la composición química con la literatura estudiada mostró valores similares sin encontrar variaciones importantes (ver Tabla 5-1). Los resultados de los análisis de calidad de proceso comparados con las Normas Técnicas Colombianas aplicadas a los productos de soya indican que para el índice de ureasa el grano tostado no cumplió con la NTC 3682 (2006) y NTC 3716 (2002). El grano crudo estuvo por fuera con ambas disposiciones para la inactivación de los inhibidores de tripsina, la cocción garantizó el cumplimiento de las dos mientras que el tostado solo atendió la norma que existe en Colombia para la soya integral. Finalmente las tres presentaciones del grano de *Cajanus sp* no cumplieron con ambas normas para la proteína soluble en KOH al 0,2%.

Solo el nivel de inclusión afectó el valor de la EMAn de la dieta. Al duplicarse el nivel de inclusión del grano cae la concentración de la EM de la dieta en más de 130 kcal/kg de MS. Sería importante intentar otros análisis estadísticos para estudiar el posible efecto del tipo de proceso térmico aplicado al grano porque la aplicación del GLM sugiere que éste se presentaría con un nivel de probabilidad del 0,0587, valor que estaría próximo al 0,05 aceptado por las disposiciones de la inferencia estadística.

El grano crudo presentó un valor de 2286,2 kcal de EMAn/kg de MS, estadísticamente inferior al grano tostado (2945,5) y al cocido (3115,9). Entre los dos procesos no hubo diferencia estadística.

En cuanto al efecto del nivel de inclusión el trabajo permitió establecer que la EMAn del grano disminuyó en 601,1 kcal/kg de MS cuando su nivel de inclusión en la DR pasó de 10% (3072,8 kcal/kg de MS) a 20% (2471,7 kcal/kg de MS), lo cual permite señalar que para este tipo de alimento es importante considerar que el valor de la EM estaría

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

asociado con el nivel de incorporación en la dieta, hallazgo que también se ha podido establecer en otros alimentos.

Un aspecto adicional que se estudió fue la relación entre el valor de EMAn y el valor calorífico bruto para el grano. 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.

Grano de *Mucuna sp*.

Los resultados muestran que la información de las fracciones químicas analizadas en el estudio se ciñe de forma cercana a la disponible en la literatura. Si se aplicaran los valores del índice de ureasa y la inactivación de los inhibidores de tripsina de las Normas Técnicas Colombianas para la torta de soya (3682 de 2006) y soya integral (3716 de 2002) al grano de *Mucuna* en sus tres presentaciones se observa que fueron menores a los máximos aceptados por dichas normas (0,15 Δ pH y 3 mg IT/g para el índice de ureasa y los inhibidores de tripsina inactivados). Al contrario la solubilidad de la proteína en KOH indica que los granos de *Mucuna* presentaron valores menores al valor mínimo de 75% establecido en dichas normas. Si a los granos estudiados se les aplicara las NTC 3716 de 2002 y 3682 de 2006 se podría concluir que los valores de solubilidad de la proteína en KOH en el grano de *Mucuna* estuvieron por debajo del valor mínimo y fueron semejantes tanto en el grano crudo como en el procesado.

Existe evidencia que la ureasa es una proteína común en los granos de leguminosas. El asunto es que no es fácil la aplicación y la interpretación del índice de ureasa para el grano de *Mucuna*. Si este índice se aplicara tal cual opera en la soya habría que decir de acuerdo con las cifras obtenidas (0,064; 0,009 y 0,074) que el proceso aplicado no parece acompañarlo. En el análisis de estos resultados habría que indicar que desde 1914 Anneth registró que en este tipo de leguminosas es manifiesta la ausencia de ureasa, lo cual explicaría el bajo nivel de sensibilidad en la aplicación del índice de ureasa en la *Mucuna* cruda o procesada.

En cuanto a los resultados generados en el estudio se pudo establecer que no hubo efecto del proceso, pero si del nivel de inclusión del grano en la DR. La interacción entre estos dos factores es significativa al $p < 0,0571$. Con respecto al efecto del nivel de inclusión se puede estimar la disminución de más de 300 kcal de EMAn/kg de MS de la dieta cuando el nivel de inclusión del grano de *Mucuna* pasó del 10 al 20%.

De acuerdo con los resultados registrados se pudo colegir que el nivel de inclusión del grano en la dieta de referencia fue el único factor que tuvo efecto sobre la EMAn del propio grano. Cuando se utilizó 10% del grano el valor de la EMAn fue 2432,3 kcal/kg de MS. Si el nivel pasa al 20% dicho valor fue 1938,1 kcal. Al doblar el nivel de inclusión se produjo la disminución de 494,2 kcal/kg de MS. Los valores de EMAn del grano crudo, tostado y cocido fueron 1923,1, 2178,0 y 2387,2 kcal/kg de MS.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

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, sin embargo, y aunque 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.

Palabras clave: Grano de *Cajanus sp*, Grano de *Mucuna sp*, Procesos térmicos, EMAn, pollos.

Abstract

The effect of two thermal processes (cooking and roasting) applied to raw grains of *Cajanus sp* and *Mucuna sp* and two inclusion levels (10% and 20%) on a reference diet (RD) of corn and soybean cake on the apparent metabolizable energy with nitrogen balance correction (EMAn), in male chickens of the Ross 308 line, 21 days old, using the energy substitution technique of the reference diet and total excreta collection.

Although the evaluation of *Cajanus sp* and *Mucuna sp* grains were carried out in a single experiment, the results were analyzed independently since the objective the project was not to carry out their comparative analysis.

Grain of *Cajanus sp*.

The comparison of the results of the chemical composition analysis with the studied literature showed similar values without finding important variations. The results of the process quality analyzes compared to the Colombian Technical Standards applied to soy products indicate that for the urease index the roasted grain did not comply with NTC 3682 (2006) and NTC 3716 (2002). The raw grain was outside with both provisions for the inactivation of the trypsin inhibitors, cooking guaranteed compliance of both while toasting only met the standard that exists in Colombia for whole soybeans. Finally the three presentations of the *Cajanus sp* grain did not meet both standards for soluble protein in 0.2% KOH.

Only the inclusion level affected the value of EMAn from the diet. By doubling the grain inclusion level, the EM concentration of the diet falls by more than 130 kcal/kg MS. It would be important to try other statistical analyzes to study the possible effect of the type of thermal process applied to the grain because the application of GLM suggests that it would present with a probability level of 0.058, which would be close to 0.05 accepted by the provisions of the statistical inference.

The raw grain presented a value of 2286.2 kcal of EMAn/kg of MS, statistically inferior to the roasted grain (2945.5) and to the cooked (3115.9). Between the two processes there was no statistical difference.

As for the effect of the inclusion level, the work allowed to establish that the EMAn of the grain decreased in 601.1 kcal/kg MS when its level of inclusion in the DR went from 10% (3072.8 kcal/kg MS) to 20% (2471.7 kcal/kg MS), which indicates that for this type of food

it is important to consider that the value of EM would be associated with the level of incorporation in the diet, a finding that has also been established in other foods.

An additional view that was studied was the relation between the value of EMAn and the gross calorific value for the grain. The lowest value for this ratio was for the raw grain, which value increases between 15 and 17 percentage units when the grain was subjected to roasting and cooking. It does not seem that there is a discriminatory effect in this relation between the two types of thermal process evaluated.

Grain of *Mucuna sp*.

The results show that the information of the chemical fractions analyzed in the study is closely similar to that available in the literature. If the urease index values and the inactivation of the trypsin inhibitors of the Colombian Technical Standards for soybean cake (3682 of 2006) and whole soybean (3716 of 2002) to the grain of *Mucuna* were applied in their three presentations it is observed that they were lower to the maximum accepted by these standards (0,15Δ pH and 3 mg IT/g for the urease index and the inactivated trypsin inhibitors). On the contrary, the solubility of the protein in KOH indicates that the *Mucuna* grains presented values smaller than the minimum value of 75% laid down in those rules. If NTC 3716 of 2002 and 3682 of 2006 were applied to the studied grains, it could be concluded that the solubility values of the protein in KOH in the grain of *Mucuna* were below the minimum value and were similar both in the raw grain and in processing.

There is evidence that urease is a common protein in legume grains. The issue is that the application and interpretation of the urease index for the *Mucuna* grain is not easy. If this index were applied as it operates in soybeans, it would be necessary to say, according to the figures obtained (0.064, 0.009 and 0.074), that the process applied does not seem to go along with it. In the analysis of these results, it should be pointed out that since 1914 Annet recorded that the absence of urease is evident in this type of legume, which would explain the low level of sensitivity in the application of the urease index in the raw or processed *Mucuna*.

As for the results generated in the study, it was possible to establish that there was no effect of the process, but the level of inclusion of the grain in DR. The interaction between these two factors is significant at $p < 0.0571$. Regarding the effect of the inclusion level, it is possible to estimate the decrease of more than 300 kcal of EMAn/kg MS of the diet when the inclusion level of the *Mucuna* grain increased from 10 to 20%.

According to the recorded results, it was possible to infer that the inclusion level of the grain in the reference diet was the only factor that had an effect on the EMAn of the grain itself. When 10% of the grain was used, the EMAn value was 2432.3 kcal/kg MS. If the level goes to 20% this value was 1938.1 kcal. Doubling the inclusion level resulted in a decrease of 494.2 kcal/kg MS.

The EMAn values of the raw, roasted and cooked grain were 1923.1, 2178.0 and 2387.2 kcal/kg MS.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

With respect to the ratio of the values between the EMAn and the gross calorific value of the grain of *Mucuna sp*, they show the same tendency to that established for the *Cajanus sp*: the two thermal processes increased this relation, without different values being identified between the two processes. , without embargo, and although it is not a matter of comparing the results between the two grains, it can be identified that in *Mucuna sp* this relation was lower as well as its increase due to the thermal process.

Key words: Grain of *Cajanus sp*, Grain of *Mucuna sp*, Thermal processes, EMAn, chickens.

Contenido

Pág.

AGRADECIMIENTOS.....	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	X
CONTENIDO.....	XIII
LISTA DE FIGURAS.....	XVI
LISTA DE TABLAS	XVII

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

1. MARCO TEÓRICO	3
------------------	---

1.1 Características del <i>Cajanus sp</i> y la <i>Mucuna sp</i> como recursos alimenticios	3
--	---

1.1.1 Origen del <i>Cajanus sp</i> y la <i>Mucuna sp</i>	3
--	---

1.1.2 Taxonomía del <i>Cajanus sp</i> y la <i>Mucuna sp</i>	3
---	---

1.1.3 Nombres del <i>Cajanus sp</i> y la <i>Mucuna sp</i> en diferentes países	3
--	---

1.1.4 Características generales de las plantas de <i>Cajanus sp</i> y <i>Mucuna sp</i>	4
--	---

1.1.5 Usos del <i>Cajanus sp</i> y la <i>Mucuna sp</i>	4
--	---

1.2 Composición química de los granos de <i>Cajanus sp</i> y <i>Mucuna sp</i> .	5
---	---

1.3 Factores antinutricionales (FAN)	7
--------------------------------------	---

1.3.1 Descripción	7
-------------------	---

1.3.2. Saponinas	8
------------------	---

1.3.3. Inhibidores de tripsina (TIA)	8
--------------------------------------	---

1.3.4. Fenoles	9
----------------	---

1.3.5. Taninos	9
----------------	---

1.3.6. Ácido fítico	10
---------------------	----

1.3.7. L-DOPA o L-3,4 Dihidroxifenilalanina	10
---	----

1.4. Métodos para inactivar los FAN	11
-------------------------------------	----

1.5. Efectos de los procesos térmicos	13
---------------------------------------	----

XIII

1.5.1. Efectos de los tratamientos térmicos sobre los constituyentes de los alimentos.	15
1.6. Energía metabolizable en aves	17
1.6.1. Métodos directos para la valoración de la energía metabolizable de los alimentos	19
1.6.2. Métodos indirectos para la valoración de la energía metabolizable de los alimentos	23
1.6.3. Cálculo de la energía metabolizable	245
2. OBJETIVOS	28
General	28
Específicos	28
3. HIPÓTESIS	29
4. MATERIALES Y MÉTODOS	30
4.1. Materiales	30
4.1.1. Ubicación	30
4.1.2. Condiciones operativas	30
4.1.3. Aves	31
4.1.4. Granos	31
4.1.4.1. Procedencia	31
4.1.4.2. Procesos térmicos aplicados	33
4.1.5. Dietas experimentales	34
4.2. Procedimiento experimental	40
4.3. Análisis Bromatológicos	40
4.4. Análisis Estadístico	42
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
5.1. Grano de <i>Cajanus sp</i>	45
5.1.1. Composición química y algunos indicadores de calidad de proceso en el grano.	45
5.1.2. Composición química analizada y valor calorífico de las dietas utilizadas en el experimento de <i>Cajanus sp</i> .	49

5.1.3.	Análisis de la ganancia de peso acumulada (GPA).	50
5.1.4.	Análisis de las variables relacionadas con el consumo.	52
5.1.4.1.	Consumo de dieta.	52
5.1.4.2.	Consumo de materia seca, nitrógeno y energía de las dietas en etapa de recolección del período experimental.	54
5.1.5.	Rechazo de materia seca, nitrógeno y energía.	55
5.1.6.	Análisis de las variables relacionadas con las excretas producidas.	56
5.1.7.	Análisis del balance de nitrógeno y de la energía bruta.	57
5.1.8.	Estimación del valor de la energía metabolizable aparente con balance de nitrógeno (EMAn) de las dietas del experimento con el grano <i>Cajanus sp.</i>	59
5.1.9.	Estimación del valor de la energía metabolizable aparente con balance de nitrógeno (EMAn) del grano de <i>Cajanus sp.</i>	60
5.2.	Grano de <i>Mucuna sp</i>	62
5.2.1.	Composición química y algunos indicadores de calidad de proceso en el grano	64
5.2.2.	Composición química analizada y valor calorífico de las dietas utilizadas en el experimento.	65
5.2.3.	Análisis de la ganancia de peso acumulada (GPA)	66
5.2.4.	Análisis de las variables relacionadas con el consumo.	67
5.2.4.1.	Consumo de dieta	67
5.2.4.2.	Consumo de materia seca, nitrógeno y energía bruta de las dietas en la etapa de recolección del período experimental	68
5.2.5.	Rechazo de materia seca, nitrógeno y de la energía.	69
5.2.6.	Análisis de las variables relacionadas con las excretas producidas.	71
5.2.7.	Análisis del balance de nitrógeno y de la energía bruta	72
5.2.8.	Estimación de la energía metabolizable aparente con balance de nitrógeno (EMAn) de las dietas con grano de <i>Mucuna sp.</i>	744
5.2.9.	Estimación de la energía metabolizable aparente con balance de nitrógeno (EMAn) del grano de <i>Mucuna sp.</i>	76
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
	BIBLIOGRAFÍA	79

Lista de Figuras

Pág.

FIGURA 1-1. Partición de la energía metabolizable de los alimentos en las aves (según Sibbald, 1982).....	18
FIGURA 1-2. Procedimiento para la determinación de EMV (Mcnab y Blair, 1988 y Sibbald, 1976).....	21
FIGURA 1-3. Procedimiento adoptado por farrell en 1978 para la determinación de la EMA.....	22
FIGURA 1-4. Procedimiento adoptado por bourdillon <i>et al.</i> , en 1990, para la determinación de EMa según el método de alimentación de forma continua.....	23
FIGURA 4-5. Imágenes de diferentes partes de la planta <i>Cajanus</i> y de <i>Mucuna</i>	31 - 32
FIGURA 4-6. Variación promedio de la temperatura del agua para el proceso de cocción de los granos de <i>cajanus sp</i> y <i>mucuna sp</i>	34
FIGURA 4-7. Protocolo utilizado en el experimento.....	41

Lista de Tablas	Pág.
Tabla 1-1: Composición química proximal del grano crudo de <i>Cajanus sp</i> (Valores expresados en porcentaje de la materia seca) ..	5
Tabla 1-2: Composición mineral del grano crudo de <i>Cajanus sp</i> (Valores expresados en la materia seca).....	6
Tabla 1-3: Valores de algunos componentes químicos del grano crudo de <i>Mucuna sp</i> (Valores expresados en porcentaje de la materia seca).....	6
Tabla 1-4: Composición mineral del grano de <i>Mucuna sp</i> (Valores expresados en la materia seca).....	7
Tabla 1-5: Principales modos de transferencia de calor.....	14
Tabla 4-1: Composición centesimal y nutricional estimada de la dieta de referencia utilizada en el experimento.....	35
Tabla 4-2: Niveles de sustitución del alimento en la dieta de referencia en los estudios realizados para determinar el valor de la EM de diversos alimentos en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.....	37
Tabla 4-3: Descripción de los tratamientos utilizados en el estudio.....	38
Tabla 4-4: Composición centesimal de las dietas utilizadas en el estudio de estimación de la EMAn con <i>Mucuna (Mucuna sp)</i> y <i>Guandul (Cajanus sp)</i>	39
Tabla 4-5: Análisis químicos realizados en el experimento.....	42
Tabla 5-1: Composición química y algunos indicadores de proceso para el grano crudo, cocido y tostado de <i>Cajanus sp</i> usado en el experimento (Valores expresados en base seca).....	45
Tabla 5-2: Composición química y algunos indicadores de control de calidad de proceso térmico para granos de <i>Cajanus sp</i> (Valores expresados en porcentaje en base tal cual) (Ruíz, 2015).....	48
Tabla 5-3: Composición química (expresada en porcentaje) y contenido de energía de las dietas experimentales (Valores expresados en base seca).....	49

Tabla 5-3-1. Diferencias entre los valores extremos de los análisis de la composición química del grano de <i>Cajanus sp</i>	50
Tabla 5-4: Análisis para la ganancia acumulada de peso (GAP) en los animales alimentados con los granos de <i>Cajanus sp</i> sometidos a diferentes tratamientos térmicos y con dos niveles de inclusión.....	51
Tabla 5-5: Valores del consumo acumulado de la dieta en la etapa de adaptación y de recolección del período experimental.....	53
Tabla 5-6: Valores promedio para el consumo acumulado de materia seca, nitrógeno y energía bruta de la dieta en la etapa de recolección del período experimental.....	54
Tabla 5-7: Valores promedio para el rechazo acumulado de materia seca, nitrógeno y energía bruta de la dieta en la etapa de recolección del período experimental.....	55
Tabla 5-8: Valores promedio acumulados para las variables asociadas con la producción de excretas, materia seca, nitrógeno y energía bruta excretada.....	56
Tabla 5-9: Valores promedio para el balance de nitrógeno y de energía bruta de las dietas evaluadas.....	58
Tabla 5-10: Valores de energía metabolizable aparente con balance de Nitrógeno (EMAn) de las dietas utilizadas en el experimento con grano de <i>Cajanus sp</i>	59
Tabla 5-11: Valores caloríficos brutos y de EMAn del grano de <i>Cajanus sp</i> (kcal/kg de MS).....	60
Tabla 5-12: Composición química e indicadores de proceso para el grano crudo, cocido y tostado de <i>Mucuna sp</i> usados en el experimento (Valores expresados en base seca).....	62
Tabla 5-13: Composición química y algunos parámetros de control de calidad de proceso térmico para granos de <i>Mucuna sp</i> (Valores expresados en porcentaje en base tal cual) (Ruíz, 2015).....	64
Tabla 5-14: Composición química (expresada en porcentaje) y contenido de energía de las dietas experimentales (Valores expresados en base seca).....	65
Tabla 5-14-1. Diferencias entre los valores extremos de los análisis de la composición química del grano de <i>Mucuna sp</i>	66

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Tabla 5-15: Valores promedio para el consumo acumulado de la dieta en la etapa de adaptación y de recolección del período experimental.....68

Tabla 5-16: Valores promedio para el consumo acumulado de materia seca, nitrógeno y energía bruta de la dieta en la etapa de recolección del período experimental.....69

Tabla 5-17: Valores promedio para el rechazo acumulado de materia seca, nitrógeno y energía bruta de la dieta en la etapa de recolección del período experimental.....70

Tabla 5-18: Valores promedio acumulados para las variables asociadas con las excretas.....71

Tabla 5-18-1. Cuadro resumen de comparaciones de nivel de probabilidad para el efecto de la interacción entre el tratamiento térmico y el nivel de inclusión en la EB para el grano de *Mucuna sp*.....72

Tabla 5-19: Valores promedio para el balance de nitrógeno y de energía bruta en el experimento de *Mucuna sp*.....73

Tabla 5-20: Valores de Energía Metabolizable Aparente con Balance de Nitrógeno (EMAn) de las dietas con grano de *Mucuna sp*.....74

Tabla 5-21: 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.....75

Tabla 5-22: Valores caloríficos brutos y de EMAn del grano de *Mucuna sp* (kcal/kg de MS).....77

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 en este trabajo 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 1,90%) y la fibra cruda varía entre 7,50 y 10,60%. La situación con la *Mucuna sp* no es diferente. El contenido de proteína cruda varía entre 20,45 y 38,20%, también hace aportes valiosos de carbohidratos (entre 45,20 y 70,64%, 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 que la concentración de algunos macro elementos 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.

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 e 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

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

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 y 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 termo estables y termo lábiles; 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. (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.

1. Marco teórico

1.1 Características del *Cajanus sp* y la *Mucuna sp* como recursos alimenticios

1.1.1 Origen del *Cajanus sp* y de la *Mucuna sp*

El lugar de origen de la leguminosa arbustiva *Cajanus sp* ha sido muy discutido. Aunque se acepta que surgió en la India (Stevens *et al*, 2001) existen evidencias arqueológicas que muestran cultivos de este grano en tumbas egipcias (Lara, 1998), además de haber sido ampliamente cultivado y naturalizado en los trópicos y subtrópicos de ambos hemisferios.

Por su parte la leguminosa de cobertura *Mucuna sp* también es originaria de la India. Fue llevada a los Estados Unidos entre 1860 y 1890 donde dadas sus características de crecimiento vigoroso se empleó como cultivo de cobertura y posteriormente fue difundándose en Latinoamérica con este mismo proposito.

1.1.2 Taxonomía del *Cajanus sp* y la *Mucuna sp*

Según el Tropical Forages¹ las plantas de *Cajanus* se clasifican en la clase Magnoliopsida, orden Fabales, familia Fabaceae, género *Cajanus*. La *Mucuna* pertenece a la misma clase y orden pero a la Leguminosae y al género *Mucuna*.

1.1.3 Nombres del *Cajanus sp* y la *Mucuna sp* en diferentes países

Son diversos los nombres utilizados para identificar el grano de *Cajanus sp*, inclusive en diversos países puede recibir diferentes nombres. “Guandul” (Colombia, República Dominicana y Argentina), “Gandul” (Puerto Rico), “Poroto Guandul” (Argentina, Paraguay), “Sacha café” (Argentina), “Fríjol de árbol” (México), “Cumandai” (Paraguay), “Red gram”, “Tur”, “Arhar”, “Dhal” (India), “Catjang”, “Kachang” (Asia), “Pigeon pea”

¹Tropical Forages: Herramienta de selección interactiva, esfuerzo colaborativo entre CSIRO Ecosistemas Sustentables, Departamento de Industrias Primarias y Pesca (Queensland), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Instituto Internacional de Investigación Pecuaria (ILRI). Australia. (2005). disponible en: <http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/>.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

(Reino Unido), “Puertorican bean Hawai” y “Pigeon Pea Hawai” (Estados Unidos), “Guandú” y “frijol de palo” en Perú y Ecuador.

Con la *Mucuna sp* la situación no es diferente. En diversas partes se conoce como “Frijol terciopelo”, “Frijol nescafé”, “Café liso”, “Frijol abono”, “Pica-pica mansa”, “Quenk mula” o “Frijol de mula”, porque en los años 1920 servía de alimento a las mulas que transportaban el banano desde las plantaciones hasta las estaciones ferroviarias en la expansión de la United Fruit Company, compañía productora y exportadora de banano que contaba con grandes plantaciones en la costa Atlántica de América Central (Chaparro, 2009; Pool *et al*, 1998).

1.1.4 Características generales de las plantas de *Cajanus sp* y *Mucuna sp*.

El *Cajanus sp* es un arbusto erecto, leñoso, perenne (aunque es cultivado como planta anual), crece de 2 a 4 metros de altura, con raíces pivotantes profundas, hojas trifoliadas, flores amarillas y vainas comprimidas de color oscuro, que presentan de 4 a 6 granos globosas con un diámetro de 6 mm, de color café, negro, rojo o crema y a veces con manchas oscuras según la variedad. Las variedades de *Cajanus sp* difieren entre sí por la precocidad, resistencia a enfermedades y sequias, por su rendimiento en la producción del grano y otras características agronómicas. Las condiciones favorables de cultivo para su crecimiento fluctúan entre 18° y 29°C y entre 700 y 2000 mm de precipitación, se adaptan desde los 0 a los 2000 metros y toleran suelos de baja fertilidad (Lara, 1998; Peter *et al*, 2003).

La *Mucuna sp* es una planta anual o bianual, de crecimiento vigoroso; según la especie puede ser trepadora o arbustiva (*Mucuna utilis* woll). Existen cerca de 100 especies del genero *Mucuna*. Comúnmente son utilizadas como abono verde y en la alimentación de animales, especialmente en rumiantes (Chaparro, 2009; Peter *et al*, 2003). Crece hasta 6 metros, posee hojas trifoliadas y flores de color blanco y morado que se dan en forma de racimos largos. Los granos son de color negro, café, blanco a rayas o jaspeadas según la variedad de la planta. Puede cultivarse en zonas tropicales y subtropicales. Se adapta entre los 0 y 1600 msnm, de 19 a 27°C y exige alta intensidad lumínica. Para su establecimiento no requiere alto grado de preparación del suelo, no tolera sequias prolongadas, suelos inundados o con pH <5,5, prefiere suelos de mediana fertilidad en donde alcanza la madurez entre los 100 y 250 días (Peter *et al*, 2003).

1.1.5 Usos del *Cajanus sp* y la *Mucuna sp*

En países tropicales deficientes en proteínas el grano verde o seco del *Cajanus sp* se considera importante para la alimentación humana (Nwokolo, 1987). En algunas regiones de Colombia se utiliza para la elaboración de diversos platos de la gastronomía tradicional. En la región del Caribe de Colombia, principalmente para la Semana Santa, se prepara y consume el *dulce de guandú*. En República Dominicana y Puerto Rico se cultiva a mayor escala y se comercializa en cáscara inmediatamente después de la cosecha o se somete a procesamiento industrial para comercializarlo en enlatados (Saladín, 1990). En alimentación animal el grano verde se emplea principalmente en aves y cerdos. En bovinos y equinos se utiliza como planta forrajera empleando sus hojas y vainas verdes como complemento (Calderón, 1978). Finalmente se considera como planta medicinal con propiedades antirreumáticas, diuréticas, hemostáticas y

astringentes; las flores y los brotes jóvenes se emplean en las afecciones bronquiales y pulmonares; la cocción de las hojas se aplica para lavar heridas, irritaciones y picazón en la piel (Binder, 1997).

Por su aporte de nitrógeno al suelo y su contribución en la prevención de la erosión se considera la *Mucuna sp* una leguminosa importante utilizada como abono verde o como cultivo de cobertura (Echeverry y Rodríguez, 1999). Según lo mencionó Buckles (1995), citando a Tracy y Coe (1918), “esta tecnología no es nueva y se viene utilizando para el control de malezas, como protectora y mejoradora de suelos deteriorados, mejorando las productividades de los cultivos de maíz y frijol por toda Mesoamérica”; en otros casos es investigada como planta medicinal para el control del Parkinson (García y Bressani, 2006).

El grano de *Mucuna sp* se comenzó a utilizar como fuente de proteína en la alimentación de bovinos y luego en la de cerdos y aves, utilizando el tostado y el remojo para inactivar el compuesto L-Dopa, el cual puede causar trastornos en el crecimiento de los monogástricos (Restrepo y Márquez, 1994). Iyayi y Taiwo (2003) evaluaron el efecto de diferentes niveles del grano de *Mucuna sp* y dos tratamientos térmicos (autoclave a 120°C por 18 horas y tostado por 45 minutos) con el fin de eliminar los FAN y, a su vez, sobre el rendimiento de gallinas y pollos. Aunque los FAN se redujeron significativamente no encontraron diferencia en los dos tratamientos. En cuanto al nivel de inclusión estos autores encontraron que los mejores resultados fueron con 6% en la dieta.

1.2 Composición química de los granos de *Cajanus sp* y *Mucuna sp*.

El registro de la información disponible indica que en el *Cajanus sp* ha sido menos estudiada la evaluación nutricional que su agronomía. En la siguiente tabla se presentan algunos resultados sobre la composición química proximal del grano crudo de guandul.

Tabla 1-1. Composición química proximal del grano crudo de *Cajanus sp* (Valores expresados en porcentaje de la materia seca)

Materia Seca	Proteína cruda	Fibra Cruda	Carbohidratos	Grasa	Cenizas	Referencia
-	22,00	-	60,00	1,50	3,50	Calderón (1978)
89,00	23,40	10,60	60,80	0,98	4,30	Cedano (2006)
-	19,20	-	-	1,55	3,80	León <i>et al</i> (1993)
90,10	20,30	7,50	-	1,36	4,40	Li <i>et al</i> (1982)
93,10	21,30	8,20	-	1,90	3,30	Li <i>et al</i> (1982)

Nwokolo (1987) reportó los contenidos de minerales en los granos de guandul sometidos a secado en estufa a 95°C durante 48 horas. En la tabla 1-2 se presentan los resultados del trabajo en referencia.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Tabla 1-2. Composición mineral del grano crudo de *Cajanus sp* (Valores expresados en la materia seca).

Mineral*	mg/kg
Potasio	12.500
Fósforo	2.450
Calcio	1.500
Magnesio	1.410
Hierro	39
Zinc	24
Cobre	18
Manganeso	13

* Los valores fueron determinados en un estudio de estimación de la disponibilidad de minerales en pollos de engorde de tres semanas de vida (adaptados de Nwokolo *et al.*, 1976).

En el grano de *Cajanus sp* es muy alto el contenido de K, alto para el P, moderado para Ca y Mg y bajo en Fe, Zn, Cu y Mn. Los valores obtenidos por Nwokolo (1987) son similares a las cifras reportadas por Deosthale y Rao (1981) para el P, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu y Mn. Li *et al* (1982) destacaron el alto contenido de P, K, Fe en tres diferentes variedades de este grano.

Por su parte la *Mucuna sp* es una leguminosa que tiene alto potencial para ser un componente en la elaboración de alimentos balanceados por su alto contenido de proteína y otros nutrientes disponibles (Agbede y Aletor, 2005; Valdivel, 2000). Algunos valores sobre las características químicas de la *Mucuna* se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1-3. Valores de algunos componentes químicos del grano crudo de *Mucuna sp* (Valores expresados en porcentaje de la materia seca)

Materia Seca	Proteína cruda	Fibra Cruda	Carbohidratos	Grasa	Cenizas	Referencia
95,50	38,20	5,79	45,20	8,72	3,41	Adebowale <i>et al</i> (2005)
87,48	20,45	3,7	-	6,37	6,11	Castaño (2006)
92,22	22,01	11,00	70,64	3,86	3,49	Sesma <i>et al</i> (2009)

Con respecto a los elementos minerales Adebowale *et al* (2005) reportaron los contenidos que se presentan en la tabla 1-4.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Tabla 1-4. Composición mineral del grano de *Mucuna sp* (Valores expresados en la materia seca)

Mineral	mg/100 g
Fósforo	607
Calcio	408
Potasio	361
Magnesio	72,6
Hierro	17,6
Zinc	6,08
Cobre	0,98
Manganeso	0,35

De acuerdo con los valores obtenidos por Adebowale *et al* (2005) el grano de *Mucuna sp* a diferencia del *Cajanus sp* es de aportes limitados en elementos minerales. Dentro de estas limitaciones no obstante se destacarían el P, Ca y K.

1.3 Factores antinutricionales (FAN)

1.3.1 Descripción

Las semillas de cereales y de leguminosas son alimentos que contienen carbohidratos, proteínas, lípidos, algunos micronutrientes como vitaminas y minerales, además de energía y diversas fracciones químicas que las convierten en fuentes principales de alimento para humanos y animales.

De manera adicional en las semillas de las leguminosas existen varios compuestos generados por el metabolismo de las plantas (MSP), concentrados principalmente en las semillas, la parte de la planta que garantiza la propagación y supervivencia de las especies, que le confieren resistencia frente a los fitófagos predadores e infecciones por virus, bacterias, hongos, nematodos (D'Mello, 2000). Estos compuestos que *per se* no son considerados o definidos como nutrientes, son de elevado beneficio para la planta. A veces éstos pueden tener efectos benéficos pero en ocasiones se consideran desfavorables en humanos y animales porque pueden disminuir el consumo voluntario de alimento, interferir en los procesos digestivos, afectar el metabolismo de los nutrientes, comprometer la salud y el potencial productivo de los animales que los consumen (Savón e Idania, 2007). Cuando estos compuestos del MSP o algunos de los productos de su metabolismo presentan efectos desfavorables en humanos y animales convencionalmente se han denominado factores antinutricionales (FAN) (Gueguen *et al*, 1993).

La situación planteada hasta este punto permite señalar que no todos los MSP se pueden considerar con características de FAN. Si bien no se ha determinado el número preciso de los diferentes MSP se han descrito al menos 100.000; de ellos solo algunos se han aislado y dilucidado sus estructuras químicas (Harborne, 1993 y Wink, 1999, citados por

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Brooker y Acamovic, 2005). No obstante que es elevado su número los FAN se han agrupado en las siguientes categorías:

- ✓ Compuestos fenólicos (taninos, fitoestrógenos y cumarinas).
- ✓ Toxinas nitrogenadas (alcaloides, glicósidos cianogénicos, glucosinolatos, aminoácidos tóxicos, lectinas e inhibidores de proteasas).
- ✓ Terpenos (lactosas sequiterpénicas, glicósidos cardiotónicos, saponinas).
- ✓ Hidrocarburos poliacetilénicos.
- ✓ Oxalatos.
- ✓ Fitatos.

Scull (2004), citado por Savón e Idania (2007), indicó que en general las harinas de hojas de leguminosas presentan diversos FAN, principalmente polifenoles (taninos), alcaloides y azúcares reductores. Por su parte León *et al* (1993) identificaron que en las harinas de los granos de leguminosas tropicales los principales FAN son los inhibidores de proteasas, las hemaglutininas, lectinas, fenoles, alcaloides, entre otros. Para el grano de *Cajanus sp* la literatura ha identificado a las lectinas, los inhibidores de tripsina, taninos y hemaglutininas como sus principales FAN. Entre tanto para la *Mucuna sp* estos son los fenoles, L-Dopa, inhibidores de tripsina, taninos, saponinas y el ácido fítico.

Es un hecho que las leguminosas contienen una elevada variedad de FAN que inciden o interfieren con la disponibilidad de los nutrientes, causando efecto negativo en el crecimiento de los animales; sin embargo, la concentración de éstos es variable y sus efectos biológicos son diferentes según sea la especie animal (Huisman *et al*, 1990) y la edad de los animales, siendo los jóvenes más sensibles.

A continuación se registrará un resumen de las características de algunos de los FAN más importantes identificados en el *Cajanus sp* y la *Mucuna sp*.

1.3.2. Saponinas

Son compuestos que poseen una estructura compleja formada por un núcleo hidrofóbico y una parte hidrofílica constituida por unidades de monosacáridos. Se trata de glucósidos que en gran parte determinan el sabor amargo de algunas semillas. Las propiedades comunes de las saponinas incluyen su alta capacidad de formación de espumas en soluciones acuosas, generadoras de trastornos hemolíticos, toxicidad en peces, no se absorben en el intestino y, además, afectan la absorción de minerales como el Zn y el Fe (Elizalde *et al*, 2009).

1.3.3. Inhibidores de tripsina (TIA)

Los TIA son proteínas presentes en cantidades considerables en las leguminosas. Se definen como compuestos termo lábiles de naturaleza proteica que alteran la digestión de las proteínas al inhibir la acción de las enzimas digestivas que se enfocan hacia la hidrólisis de las proteínas de la dieta. Según diversos autores citados por Elizalde *et al* (2009) los TIA son los FAN más comunes encontrados en semillas crudas de leguminosas, así mismo indicaron que los efectos más importantes de los TIA son la depresión del crecimiento, la hipertrofia e hiperplasia pancreática y el incremento de la secreción de enzimas pancreáticas; estos efectos se deben a la formación de complejos

con proteínas, carbohidratos y otros polímeros del alimento que originan la hidrólisis incompleta de las cadenas peptídicas por parte de las enzimas digestivas y, por consiguiente, la disminución en la digestibilidad de la proteína, además de producir nódulos acinares en monogástricos (Belmar y Nava, 2000).

1.3.4. Fenoles

Los fenoles son un grupo heterogéneo de más de 10000 compuestos orgánicos sintetizados por las plantas en cuya estructura molecular se presenta al menos un grupo fenol unido directamente a un anillo aromático. En estos compuestos fenólicos algunos son solubles en solventes orgánicos, otros son glucósidos o ácidos carboxílicos, y por lo tanto solubles en agua, y otros son polímeros insolubles.

En las plantas los fenoles cumplen varias funciones: algunos son sintetizados para proteger a las plantas de situaciones de estrés como foto oxidación, heridas, absorción de la radiación ultravioleta, contra algunas enfermedades, patógenos y plagas (Dixon *et al*, 1994); otros proveen soporte mecánico a la planta porque los compuestos fenólicos están relacionados con la dureza de las semillas de las leguminosas (García *et al*, 1998; Liu, 1995; Maurer *et al*, 2004); otros atraen polinizadores o dispersores de frutos; algunos actúan como agentes alelopáticos reduciendo el crecimiento de plantas competidoras. En los animales la acción de los fenoles se basa en la alteración de la digestibilidad de las proteínas y los carbohidratos por la formación de complejos insolubles.

1.3.5. Taninos

Los taninos son compuestos fenólicos (polifenoles) no nitrogenados, solubles en agua e insolubles en alcohol y solventes orgánicos, agrupados en hidrolizables y condensados (Chaparro, 2009; Josephine y Janardhanan, 1992), que se encuentran principalmente en la cascarilla de las semillas.

Los taninos hidrolizables o galotaninos son polímeros heterogéneos formados por ácidos fenólicos, en particular ácido gálico y azúcares simples, son más pequeños que los condensados y se hidrolizan con mayor facilidad. Los taninos condensados o proantocianidinas también son polímeros, no susceptibles a hidrólisis pero pueden ser degradados oxidativamente en ácidos fuertes para producir otros flavonoides como las antocianidinas.

Estos metabolitos tienen efectos nutricionales adversos porque pueden inhibir las enzimas digestivas y formar complejos con las membranas mucosas aumentando las pérdidas endógenas y dañando las mismas membranas (Linier, 1989). Los taninos son capaces de unirse a enzimas, proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos, esteroides, saponinas y formar complejos con el hierro del alimento (De Lange *et al*, 2000; Smithard, 2002). En el caso de los complejos taninos-proteína que son insolubles se presenta disminución de la digestibilidad de las proteínas (Carnovale *et al*, 1991) e inclusive también pueden por sí mismos inactivar algunas enzimas (Longstaff y McNab, 1991).

1.3.6. Ácido fítico

El ácido fítico o ácido mioinositol hexafosfórico (IP6) tiene interés desde el punto de vista nutricional debido a su capacidad de formar complejos con minerales como el Cu, Zn, Fe, K, Mg y Ca. En los monogástricos disminuyen la absorción intestinal y la biodisponibilidad de dichos minerales porque no disponen de enzimas como las fosfatasas endógenas (fitasas) que sean capaces de liberar los minerales de la estructura del fitato (Elizalde *et al*, 2009). Diversos autores citados por Elizalde *et al* (2009) sugirieron que se puede minimizar el efecto de la interferencia de los fitatos con el crecimiento y la utilización de los minerales si se suplementa la dieta con dichos minerales. Por otro lado, los fitatos interactúan con los residuos básicos de proteínas formando complejos como la proteína-fitato y proteína-fitato-mineral afectando varias reacciones enzimáticas en el nivel digestivo; sin embargo, se ha demostrado que con el procesamiento químico o enzimático de los alimentos puede disminuir el nivel de ácido fítico.

1.3.7. L-DOPA o L-3,4 Dihidroxifenilalanina

La L-3,4 dihidroxifenilalanina, también conocida como L-DOPA, es un compuesto aminoacídico no proteico, precursor metabólico de la dopamina la cual ha sido utilizada por ser eficaz para el tratamiento de la enfermedad de Parkinson (²). A pesar de sus efectos terapéuticos existen reacciones adversas en el ser humano: alucinaciones, complicaciones motoras, movimientos involuntarios o disquinesias, náuseas, vómito y anorexia (Buckles, 1995; Infante *et al*, 1990). En monogástricos la L-DOPA causa desórdenes reproductivos, efectos teratogénicos y daños en órganos, pérdida de peso, disminución en el consumo de alimento (Del Carmen *et al*, 1999). En contraste la administración de suplementos con *Mucuna sp* en la alimentación de rumiantes mejoraron el consumo de materia seca (MS) y la ganancia diaria de peso, sostienen los niveles de producción en las curvas de lactancia sin los efectos perjudiciales observados comúnmente en los monogástricos (Muinga, *et al*, 2003). Esta diferencia aparentemente favorable observada en rumiantes posiblemente se debe a que la L-DOPA es degradada por los microorganismos ruminales (Chikagwa-Malunga *et al*, 2008) atenuando los efectos negativos que se han identificado en otras especies animales.

La presencia de L-DOPA en plantas fue reportada inicialmente en *Vicia faba* (Apaydin, 2000) y posteriormente en *Phanera pileostigma*, *Cassia*, *Canavalia*, *Dalbergia* y otras plantas. En *Mucuna sp* también se ha identificado la presencia de este metabolito destacándose por su elevada concentración (Ingle, 2003).

² Esta enfermedad neurodegenerativa progresiva de carácter multifactorial causa trastornos en los movimientos afectando diversas partes del cuerpo; debe su nombre al médico londinense James Parkinson quien en 1817 reconoció por primera vez las características de este trastorno (Allam *et al*, 2003; Gálves *et al*, 1991).

1.4. Métodos para inactivar los factores antinutricionales (FAN)

Existe interés en el uso de leguminosas tropicales en la alimentación animal debido a su potencial como fuente proteica; sin embargo, sólo una pequeña proporción de ellas se utiliza en no rumiantes debido en parte a la presencia de factores que afectan su absorción y genera dificultades para su utilización. Frecuentemente en la misma especie de leguminosa tropical coexisten varios de estos factores lo que provoca que sólo puedan ser empleadas después que se apliquen procesos que los inactiven (Lon-Wo, 2007).

Existen varios métodos para inactivar o remover los FAN en las hojas y granos de leguminosas tropicales. La aplicación de uno u otro método está en función de las características físicas y químicas del FAN, su localización en la planta y la sensibilidad a factores físicos, químicos o procesos tecnológicos como la temperatura (Van der Poel y 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:

- ✓ 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 termo estables y termo lábiles. Al primer grupo pertenecen los factores antigénicos, los oligosacáridos, las saponinas y los fitatos. Por su parte entre los metabolitos termo lábiles más importantes se encuentran los inhibidores de proteasas (tripsina y quimotripsina) y las lectinas entre otros (Elizalde *et al*, 2009).

Se han realizado ensayos exitosos en los que se ha logrado la disminución de los FAN con un proceso simple como lo es el remojo de los granos en agua. En 1975 Göhl, citado por Savón y Scull (2006), encontró que el remojo por 24 horas permitió la inclusión del 25% de grano de frijol terciopelo en la dieta de cerdos y aves gracias a que el metabolito L-DOPA se pudo extraer en el agua. Otros autores citados por Savon y Scull (2006) identificaron que el remojo en agua de grifo y 4% de cal hidratada produjo la disminución en el contenido de taninos en *Mucuna*, estrategia que superó al tratamiento que solo utilizó agua (Trejo, 1998; Vijayakumari *et al*, 1996).

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

La posible pérdida de los TIA con la hidratación se puede deber al cambio de gradiente de la concentración que modifica la tasa de difusión. Como los TIA son proteínas de bajo peso molecular pasan fácilmente de la semilla de la leguminosa al medio de hidratación (Bishnoi y Khetarpaul, 1994). Otros tratamientos como la cocción en agua con o sin presión inactivan o causan la reducción significativa en el contenido de los TIA, inactiva los inhibidores de proteasa, las lectinas, la α amilasa y reducen la concentración de taninos. Por su parte Preet y Punia (2000) señalaron que la cocción simple acompañada de presión pueden destruir además los polifenoles. La reducción de algunos de estos FAN puede ser causada por su naturaleza termolábil (Grewal y Jood, 2006; Salas y Tepal, 1992).

La germinación de las semillas ha sido otra estrategia que se ha utilizado para disminuir de manera significativa el contenido de taninos en los recursos forrajeros. La movilización y el rompimiento de los constituyentes químicos del inhibidor parece ser la explicación de esta disminución. La reducción del contenido de fenoles también se puede alcanzar, como lo registraron Kataria *et al* (1989), mediante la germinación la cual puede estar relacionada por la acción de la polifenol oxidasa y la hidrólisis enzimática (Jood *et al*, 1987).

Algunos autores han señalado que la efectividad de los tratamientos térmicos en la inhibición de los metabolitos secundarios de las plantas depende del pH, el gradiente de temperatura, el tiempo de calentamiento, las condiciones de humedad y el tamaño de la partícula. Debido a que la efectividad de los tratamientos depende de varios factores se recomienda aplicar la combinación de varios métodos para inactivar los FAN y minimizar el daño en la calidad nutricional del alimento. Un ejemplo de la combinación de métodos puede contemplar la germinación de las semillas seguida del proceso de escaldado o cocción con agua durante tres minutos. Diferentes autores citados por Elizalde *et al* (2009) concluyeron que esta combinación fue capaz de inactivar el 90% de los TIA.

Según Lon-Wo *et al* (2002) el tostado resultó ser un método efectivo, económico y versátil para inactivar los FAN en leguminosas como la *canavalia*, además puede utilizarse tanto en las pequeñas unidades de producción como en las grandes plantas industriales; no obstante, su desventaja tiene que ver con las acciones del calor seco sobre la disponibilidad de nutrientes por lo que es necesario obtener un equilibrio entre la severidad del tostado de los granos para minimizar la acción de los FAN y el mantenimiento del valor nutricional de la matriz resultante. Savon y Scull (2006) sugirieron que es necesario trabajar en estos métodos atendiendo dos objetivos: el mantenimiento del potencial nutritivo del alimento y la desintoxicación del grano y avanzando en la identificación de los niveles o umbrales de acción de los FAN en las dietas de los animales de interés.

Para otros metabolitos, como los inhibidores de proteasas y las lectinas, ha sido efectivo el tratamiento térmico; sin embargo, se ha cuestionado su eficiencia para los taninos y los fitatos, FAN que son inhibidos o eliminados mediante métodos como el remojo y la germinación (Ologhobo y Fetuga, 1984).

Los tratamientos hidrotérmicos (cocción previa hidratación) y el tostado han mostrado ser efectivos en la reducción de los metabolitos secundarios de las semillas de leguminosas (Siddhuraju y Becker, 2001), debido principalmente a la degradación térmica y química de estos compuestos (Wanjenke *et al*, 2003), sin embargo es escasa la generación de

información de las variaciones en los contenidos de energía de estos granos luego de la aplicación de alguno de estos tratamientos térmicos.

Otra manera de eliminar o reducir los FAN ha sido mediante tratamientos físicos o la hidratación. Mediante ellos se ha podido reducir al menos una parte de los FAN como sucede por ejemplo con los fenoles los cuales se concentran en la cáscara de las leguminosas. Al descascarar las semillas de las leguminosas se reduce significativamente el contenido de estos antinutrientes (Saharan, 1994), pero como los fenoles están en la periferia de la semilla la hidratación también puede disminuir su concentración (Jood *et al*, 1987). Por otro lado Siddhuraju *et al* (2000) reportaron que un 80% de los fenoles totales de las leguminosas se pueden remover por el descascarillado o por la hidratación seguida de irradiación.

En general se puede decir que como en los granos de leguminosas tropicales es amplia la gama de FAN es difícil o limitada su remoción o eliminación mediante procesos simples. Además, buena parte de estos procesos tiene efectos colaterales disminuyendo el potencial nutritivo de estos alimentos (Savon y Scull 2006). Por ello es importante generar investigaciones que permitan evaluar de manera simultánea los efectos de los procesos sobre la inactivación de los FAN y sobre los cambios en el valor nutritivo de los granos de leguminosas.

1.5. Efectos de los procesos térmicos

En la agroindustria uno de los principales objetivos de los tratamientos térmicos es asegurar la calidad en la conservación de los alimentos al lograr la destrucción de los microorganismos que pueden perjudicar la salud de los consumidores, sin alterar las características que son propias del alimento. Así mismo los tratamientos térmicos bien controlados, tanto en la duración como en el nivel de aplicación de la temperatura, destruyen componentes antinutricionales del alimento lo que permite mejorar la disponibilidad de sus nutrientes³.

En la tabla 1-5 se registran los principales modos y tipos de transferencia de calor. La aplicación de calor puede ser directa o indirecta y en ambientes húmedos o secos.

³ Procesos Agroindustriales [on line]. Universidad José Carlos Mariátegui [citado 2 feb de 2014]. Disponible en internet en: (http://www.ujcm.edu.pe/bv/links/cur_comercial/ProceAgroindustriales-4.pdf)

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Tabla 1-5. Principales modos de transferencia de calor.

Modo de transferencia de calor	Tipos
<p>Conducción</p> <p>Contacto directo con un medio caliente.</p>	<p>Compresas de materiales gelatinosos</p> <p>Almohadillas eléctricas</p> <p>Termógrafos</p>
<p>Convección</p> <p>La transferencia de calor es provocada por el aire o por un líquido que circula alrededor del cuerpo.</p>	<p>Aire caliente seco</p> <p>Aire húmedo</p> <p>Hidroterapia</p>
<p>Conversión</p> <p>Comprende la gama de radiaciones de determinada longitud de onda.</p>	<p>Radiación infrarroja</p> <p>Radiación solar</p> <p>Microondas</p> <p>Onda corta</p> <p>Ultrasonido</p>

Existen varias posibilidades de interacción entre los nutrientes de un alimento de acuerdo como actúa la temperatura. Esta situación hay que analizarla de acuerdo con las respuestas que los alimentos individuales puedan presentar ante uno u otro estímulo térmico. Al mismo tiempo el comportamiento del alimento reflejará resultados diferentes si se trabaja solo o en combinación con otros.

Se sabe que el aprovechamiento de los nutrientes (proteínas, aminoácidos, carbohidratos, vitaminas y minerales) de las leguminosas se ve afectado por la presencia de ciertos FAN. Si se pretende incrementar la calidad y potencialidad de las leguminosas es necesaria la inactivación o la eliminación de estos factores. Los tratamientos térmicos aplicados a las leguminosas con el fin de mejorar su textura y permitir su consumo también eliminan o disminuyen los FAN e incrementan su valor nutricional y la digestibilidad de proteínas y almidones (Dávila, 2003).

La cocción o escaldado es un tratamiento térmico que se aplica principalmente a productos vegetales; a diferencia de otros procesos no destruye los microorganismos, ni alarga la vida útil de los alimentos, pero es útil para inactivar enzimas, preparar el producto para favorecer su posterior utilización, se considera como una etapa previa de otros procesos como por ejemplo la congelación, liofilización, el envasado.

En el escaldado existe una primera fase de calentamiento del producto a temperatura entre 70°C y 100°C. A esta le sigue otra que consiste en mantener el alimento durante un tiempo que suele variar dependiendo de la matriz. El último paso es el enfriamiento el cual se debe realizar de forma rápida pues de lo contrario se contribuye a la proliferación de microorganismos resistentes a la temperatura o termófilos.

Los equipos de escaldado pueden trabajar de dos maneras: con vapor o con agua caliente. El tiempo de calentamiento dependerá del método utilizado, de la temperatura y de las propiedades físicas del producto como por ejemplo el tamaño, la forma, textura o madurez. Utilizar agua caliente en este proceso tiene el inconveniente de producir mayor pérdida de nutrientes por lixiviación reduciéndose el valor nutritivo del alimento además

que es mayor el riesgo de contaminación por bacterias termófilas en los tanques o recipientes donde se realice el proceso (Badui, 2006; Fennema, 2000).

El tostado es un tratamiento térmico que se utiliza no sólo para mejorar las características organolépticas del alimento sino para aumentar su digestibilidad (Pizzani, 2006). Cuando un alimento es sometido a dicho tratamiento cambian sus cualidades físicas y químicas, siendo este cambio deseable para algunos granos ya que con el calor se altera la configuración de las proteínas haciéndolas más digeribles; pero a su vez hay pérdidas considerables de algunos aminoácidos, por lo que se debe tener especial cuidado cuando se elige la intensidad del tratamiento térmico. Normalmente el secado se produce por la aplicación de aire caliente a diferentes temperaturas y el posterior enfriamiento. Según las condiciones este proceso puede afectar la calidad del grano (Barrier *et al*, 1993, citados por Gorrachategui, 2010).

El tostado entonces es un procedimiento por el cual se aplica aire caliente con el objeto principal de eliminar los FAN termolábiles y de reducir la humedad. Este sistema sobrecalienta más las partes exteriores del grano sin afectar las partes más internas (Gorrachategui, 2010).

1.5.1. Efectos de los tratamientos térmicos sobre los constituyentes de los alimentos.

En el contexto de la producción animal los tratamientos térmicos aplicados a los alimentos se han considerado una vía tecnológica para “externalizar parte del proceso digestivo”, consiguiendo aumentar su digestibilidad y, a la vez, reducir su toxicidad potencial. Sin embargo, las respuestas no siempre han sido las esperadas. Se sabe que los efectos de los tratamientos son diferentes sobre los distintos constituyentes de los alimentos como el almidón, la pared celular, proteína y lípidos, los cuales dependen de la organización de su estructura celular y el tipo de alimento (Gorrachategui, 2010). A continuación se presentará un resumen de los efectos del tratamiento térmico sobre las proteínas, almidones, polisacáridos no amiláceos y grasas.

a) Proteínas

Los tratamientos térmicos logran la desestructuración parcial de la estructura terciaria y cuaternaria de la proteína dejándola más accesible a las enzimas proteolíticas, además de destruir algunos inhibidores de proteasas endógenos (Davies *et al*, 1987, citados por Gorrachategui, 2010). El aumento de la digestibilidad sucede simultáneamente con la disminución de la fracción de proteínas solubles, la eliminación o reducción importante de los FAN termolábiles y la reducción de la solubilidad del nitrógeno de las diferentes harinas proteicas (Khattab y Arntfield, 2009). Como en el ileón la digestión de la proteína no es completa, la fracción sin digerir llega al colon donde se fermenta por los microorganismos convirtiéndolos en aminas, amoniaco, fenoles y otros compuestos nitrogenados que pasan a la sangre y se eliminan por la orina. Putier (1993), citado por Gorrachategui (2010), señaló que un indicador de un proceso térmico moderado podría ser la disminución del 20 al 30% de la proteína soluble. Por estas razones Canibe y Eggum (1997) indicaron que en el caso de los granos de las leguminosas es necesario someterlos a un proceso térmico para mejorar la digestibilidad de las proteínas.

b) Almidón

En los monogástricos la mayor parte del almidón ingerido se digiere en el intestino por la acción de las α -amilasas que lo transforma en glucosa. El almidón no sensible a esta acción pasa sin ser digerido al ciego y colon donde es fermentado por los microorganismos formando ácidos grasos de cadena corta (AGV) cuyo valor energético es menor que el de la glucosa; a su vez este proceso además produce metano e hidrogeno lo cual contribuye a disminuir el rendimiento energético (Wiseman, 2006).

Se han logrado identificar los mecanismos por los cuales los procesos térmicos aumentan la digestibilidad del almidón. Los gránulos de almidón son mezclas semicristalinas de amilopectina y amilasa, una pequeña cantidad de lípidos y una matriz proteica que los rodea cuya estructura determina el carácter harinoso o vítreo según sea su solubilidad (Gorrachategui, 2010). Estos gránulos tienen un comportamiento variable frente a la hidrólisis de las amilasas. La aplicación del calor y presión rompen de manera irreversible esa estructura disminuyendo la cristalinidad del almidón, aumentando su solubilidad y la capacidad de absorción de agua lo que facilita su hidratación e hidrolisis a moléculas más sencillas como las dextrinas y azúcares (Tester y Karkalas, 2006, citados por Gorrachategui, 2010). De acuerdo con estos mismos autores cuanto más amilopectina y menos amilosa contenga el almidón es más alta su digestión debido a que la mayor ramificación de las cadenas posibilita mayor ataque enzimático, además que el calor degrada la amilosa por la ruptura de enlaces de hidrógeno secundarios entre sus cadenas lineales y desnaturaliza los inhibidores de amilasas, lo que contribuye a aumentar la digestibilidad del almidón.

c) Polisacáridos no amiláceos

Diversos investigadores citados por Gorrachategui (2010) postularon que en general se reconoce que los tratamientos térmicos modifican la fracción soluble de los polisacáridos no amiláceos (PNAs) a costa de la fracción insoluble y, además, que los cambios que produce el proceso térmico sobre los PNAs tiene escaso efecto sobre el mejoramiento del valor nutricional; Sin embargo, es importante destacar que los efectos de los tratamientos térmicos sobre esta fracción no depende solo de ella sino que también están ligados a la proporción que representan en los vegetales, a su composición, estructura y las condiciones del proceso térmico a las que se vieron sometidas por lo que no siempre es fácil prever los resultados de los tratamientos.

d) Grasas

Con el incremento en el potencial productivo de las diferentes especies monogástricas también se aumentó la utilización de la grasas en la industria de alimentos balanceados. La actual situación es clara: en la actualidad resulta difícil diseñar programas para los pollos o cerdos de alto potencial productivo sin añadir grasas a las dietas. Como fuente de energía las grasas y aceites son superiores a las otras materias primas disponibles en el mercado y en condiciones de precios competitivos su inclusión como grasa o aceite añadido puede oscilar entre el 50 y el 75% de la grasa total de la dieta de monogástricos; no obstante, una de las dificultades para su utilización es la condición del gránulo que limita elevados niveles de inclusión en la dieta, condición que se puede modificar por procesos como la extrusión y expansión los cuales permiten incrementar notablemente su uso sin afectar la calidad física del producto final (Dolz, 1996).

En las plantas de oleaginosas y en los granos con altos contenidos de grasa, los tratamientos térmicos que van acompañados con la aplicación de presión liberan la grasa encapsulada en las células vegetales haciéndola más accesible aumentando el valor energético del alimento, al mismo tiempo se producen otros efectos como la isomerización parcial y pequeña de los ácidos grasos “cis” a “trans” y la desactivación de lipasas y peroxidasas que confieren estabilidad a los productos evitando su enranciamiento; Sin embargo, las condiciones inadecuadas de procesamiento, como el sobrecalentamiento o las malas condiciones de secado, pueden formar compuestos de oxidación como peróxidos, dímeros y polímeros de ácidos grasos y otros compuestos indigeribles o potencialmente tóxicos para los animales. Apelt (1987), citado por Gorrachategui (2010), recomendó que por ello en las oleaginosas el tratamiento térmico debe hacerse de tal forma que haya suficiente liberación del aceite que permita su utilización por los animales pero sin que aumente el riesgo de oxidación.

Para Dolz (1996) a pesar que las grasas presentan características nutricionales excepcionales hay que tener presente que existen factores externos a ellas que modifican sus propiedades nutritivas (interacciones) y pueden ser más importantes que la propia grasa utilizada. Así, las características nutricionales de las grasas no sólo dependen de su composición química, sino de aspectos como la dieta en la que se incluyen.

1.6. Energía metabolizable en aves.

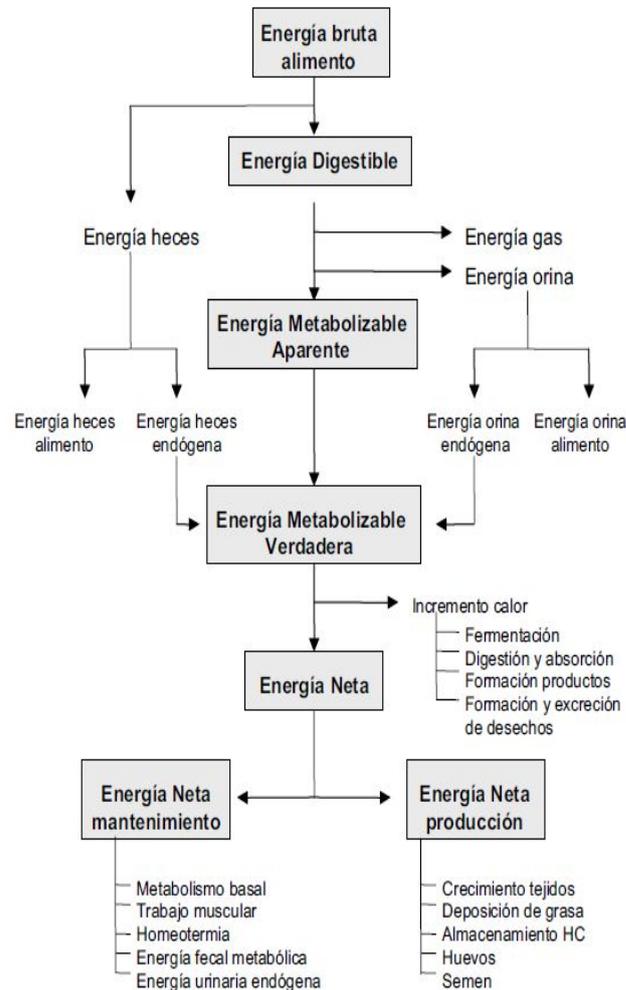
En la alimentación animal es importante conocer el contenido de energía disponible de cualquier alimento puesto que éste es determinante en los rendimientos productivos y corresponde, además, a una parte importante del precio que tendrá el alimento.

Desde el inicio de la avicultura industrial ha sido permanente la preocupación por disponer de métodos rápidos, confiables y económicos para determinar el valor energético de los alimentos y las dietas. En las aves existe variedad de métodos y nomenclaturas para determinar y definir el contenido energético de los alimentos (Francesch, 2001).

En la actualidad la partición de la energía ingerida en el ave sigue la propuesta presentada por Sibbald (1982) y recogida en la Figura 1-1. De acuerdo con esta propuesta el valor energético de un alimento puede expresarse en términos de Energía Digestible (ED), Energía Metabolizable (EM) y Energía Neta (EN). Cada fracción de valoración energética lleva asociada una metodología específica para su determinación.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Figura 1-1. Partición de la Energía Metabolizable de los alimentos en las aves (Según Sibbald, 1982).



En las aves debido a que se presenta la excreción conjunta de heces y orina muy raramente se determina la ED, por lo que la EM ha sido la manera regular como se ha evaluado el contenido de energía de los alimentos. En los últimos años a ésta se ha adicionado de manera un tanto limitada la EN⁴. De hecho en las tablas de requerimientos para aves más recientes no se hace referencia a la EN. Para el NRC (1994) por ejemplo los requerimientos nutricionales se expresan en términos de Energía Metabolizable con corrección por el balance de Nitrógeno (EMn)/kg de dieta en tanto que el contenido de

⁴ En alimentos para monogátricos la aplicación de la EN se ha orientado más a cerdos que a aves. El denominado sistema de EN se ha aplicado en Francia desde 1994 por Noblet y sus colaboradores; no obstante sus limitaciones y cuestionamientos, hasta hoy sigue vigente (Noblet, 2015). El método se ha utilizado en Australia en alimentos para pollos de engorde y gallinas en postura (Choct, 2004), Canadá (De Lange y Birkett, 2005; Moehn *et al*, 2005) y Holanda (CVB, 2003).

energía de los alimentos se presenta como EMAn (Energía Metabolizable Aparente con corrección por el balance de Nitrógeno) o EMVn (Energía Metabolizable Verdadera con corrección por el balance de Nitrógeno) en kcal/kg dieta. La información de las tablas brasileñas sobre composición de alimentos y requerimientos nutricionales para aves y cerdos mantiene su eje en la EMA y EMV (Rostagno *et al*, 2011).

En la determinación de la EM existen metodologías directas, descritas como métodos *in vivo*, en las que se utilizan animales expuestos a dietas preestablecidas bajo diferentes protocolos descritos por varios autores (Bourdillon *et al*, 1990; Farrell, 1978, Sibbald, 1976). Esta metodología no es utilizada por la industria productora de alimentos para animales, por el alto costo en personal, en el proceso analítico y en disponibilidad de instalaciones que implican los estudios, además el factor tiempo es muy restrictivo para este tipo de actividades productivas. Otra de las formas para determinar la EM se describe a través de las metodologías indirectas o *in vitro*; en estas es necesario disponer de ecuaciones de predicción, análisis de modelos o de técnicas rápidas, que puedan predecir con suficiente precisión y confiabilidad el valor energético de los ingredientes utilizados en la formulación. El informe que se presenta solo hará referencia a los resultados de EMA generados.

1.6.1. Métodos directos para la valoración de la energía metabolizable de los alimentos.

Como se mencionó este método de valoración compromete la investigación con animales vivos sometidos a diferentes protocolos de trabajo. Para Francesch (2001) la EM no representa un valor constante característico de la dieta o del ingrediente; es una medida biológica característica del animal al cual va destinada la dieta que depende de todos aquellos factores que intervienen en la digestión y la asimilación de nutrientes. La EM se evalúa directamente mediante ensayos de balance por lo que exige la determinación del consumo de la dieta y de las excretas generadas, así como la determinación de algunas fracciones químicas y de los valores caloríficos brutos tanto de la dieta como de las excretas.

Cuando a un ave se le ofrece un alimento, en las heces y orina se reunirán aquellas fracciones químicas, nutrientes y las calorías que escaparon al proceso digestivo y metabólico, los gases producidos en los procesos digestivos, los aportes endógenos del tracto gastrointestinal y los productos del metabolismo de los nutrientes (Mora y Giraldo, 2005). Diversos investigadores consideran que como en las aves los gases producidos en los procesos digestivos son de una pequeña magnitud y de difícil cuantificación no se consideran para los propósitos de las mediciones en la valoración de la energía metabolizable (EM) (Wolynetz y Sibbald, 1984, citados por Mora y Giraldo, 2005).

Desde el punto de vista metodológico se pueden establecer algunas opciones de métodos para determinar la EM. En general éstos se basan en el establecimiento del balance entre la energía ingerida y la excretada, pero se diferencian principalmente en el esquema de oferta del alimento que se evalúa, en la exigencia o no de realizar ayuno, en la duración del ensayo. Estas agrupaciones se conocen como EMA y EMV; en ambas se puede realizar o no corrección por el balance de nitrógeno (BN).

A. EMV. Basada en la oferta de una cantidad fija del recurso o alimento que se está evaluando mediante su colocación forzada a través de un embudo en gallos adultos, la realización de una fase de ayuno antes de la práctica de la alimentación forzada y luego de esta durante el tiempo definido en el protocolo para la recolección de las excretas (McNab y Blair, 1988; Sibbald, 1976).

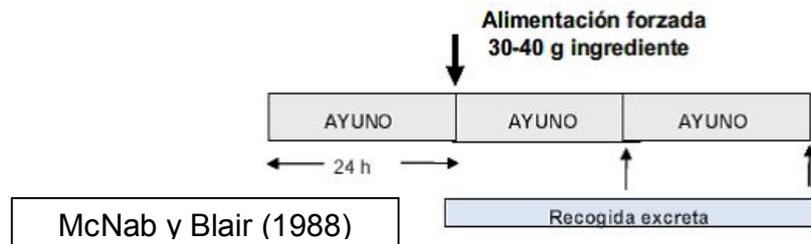
Este método fue propuesto por Sibbald (1976); posteriormente el mismo autor y Wolynetz (1984) le introdujeron algunas modificaciones orientadas a mejorar la precisión de los resultados. Al respecto de este método existen posiciones encontradas. Para algunos investigadores, como el propio Sibbald (1982), existen suficientes argumentos que permiten establecer las ventajas del método. Por su parte otros investigadores indican una serie de limitaciones, evidentes por lo demás, que presenta el método (Askbrant, 1990, citado por Sakomura y Rostagno, 2007) y sin embargo se ha utilizado como base para la elaboración de las tablas de la NRC (1994) y de Rostagno *et al* (2011).

En 1978 Farrel, citado por Sakomura y Rostagno (2007), sugirió que una manera de eliminar el efecto negativo que tiene la alimentación forzada es mediante el entrenamiento de los gallos para que consuman una cantidad de alimento suministrada en una hora. A esta propuesta diferentes investigadores han respondido no haber conseguido entrenar a las aves para conseguir este objetivo. En dos estudios realizados en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, con el fin de evaluar el efecto de la adición de una fitasa en los valores de EMAn y EMVn, Marín y Ruíz (2005) y Medina y Jiménez (2005) utilizaron la sugerencia de Farrel (1978) pero no se comparó con el método clásico de alimentación forzada de Sibbald (1976). Para tal efecto utilizaron 40 gallos adultos, Hy-line W-36 con un peso promedio de $2240 \pm 46,4$ g, alojados de manera individual en jaulas de metabolismo. En la fase de adaptación diariamente en la mañana se les ofreció durante una hora 50 g de un alimento comercial. En la fase de recolección se ofreció durante tres días, en la mañana y durante una hora, 50 g de la dieta que contenía el alimento que se requería evaluar. Al cuarto día los gallos entraron a fase de ayuno, recolectándose las excretas a las 24 y 48 horas. El registro de consumo de materia seca del trabajo de Marín y Ruíz (2005) mostró valores que oscilaron entre 35 y 42 g/animal/día, para dietas que contenían 88% de materia seca. Si con la oferta de 50 g de esta dieta se esperaban consumos de 44 g/animal/día, se puede inferir que los valores medidos de consumo utilizando esta metodología estuvieron bastante cercanos a lo esperado (entre 80 y 95%). Si bien esta alternativa parece ser atractiva en oposición a la alimentación forzada solo parece ser viable cuando se trata de dietas y no de ingredientes o alimentos aislados.

Para este tipo de ensayos se requiere medir las pérdidas endógenas de energía para lo cual se han propuesto varias opciones. Una es disponer de un grupo control de gallos que no se alimenta acompañando al grupo de gallos que se alimentan de manera forzada con los alimentos que se están evaluando. La otra opción es tomar al azar los gallos de uno de los tratamientos que se sometieron a alimentación forzada y una vez concluida la recolección de excretas extender esta fase durante más horas pero con los animales en ayuno. La figura 2 recoge la descripción de los principales componentes de la determinación de la EMV.

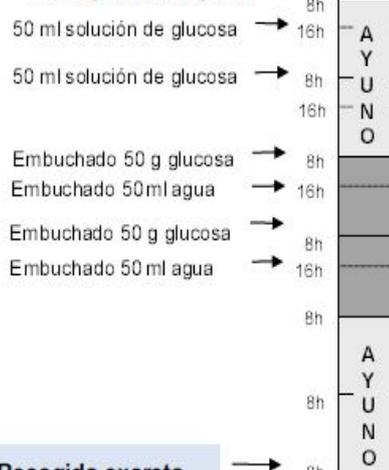
Figura 1-1. Procedimiento para la determinación de EMV (McNab y Blair, 1988 y Sibbald, 1976)

Propuesta inicial de Sibbald (1976)

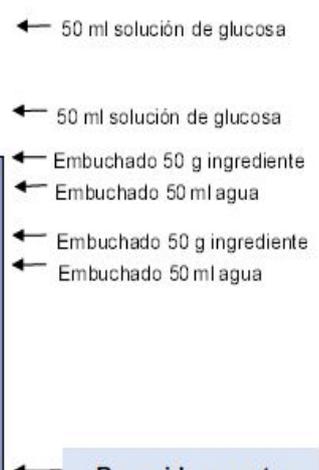


McNab y Blair (1988)

Aves para el cálculo de la Energía Endógena



Resto de aves

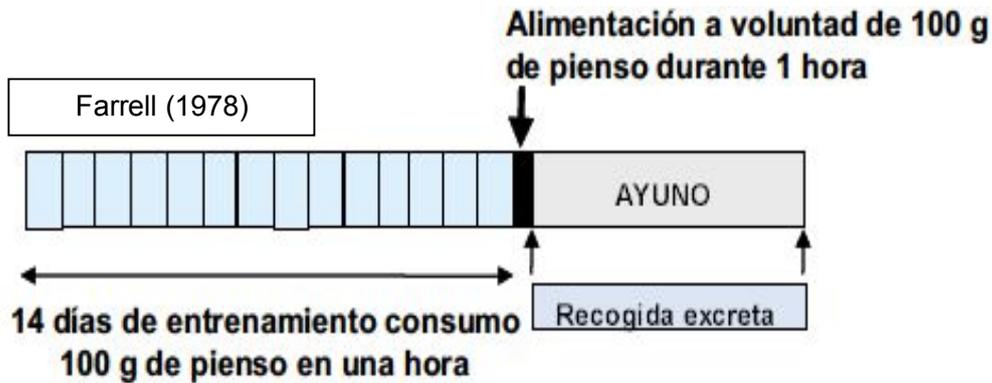


Recogida excreta

Recogida excreta

B. EMA. Basada en ensayos en los que se acostumbra a los pollos a comer una cantidad controlada de la dieta durante un período que oscila entre 5 y 7 días, con ayuno previo al inicio y al final (Farrell, 1978) y recolección de excretas entre 3 y 5 días. Este tipo de ensayos no requiere medida de las pérdidas endógenas. En la figura 3 se describe de manera gráfica algunos de los componentes de este tipo de ensayos propuesto por Farrell (1978).

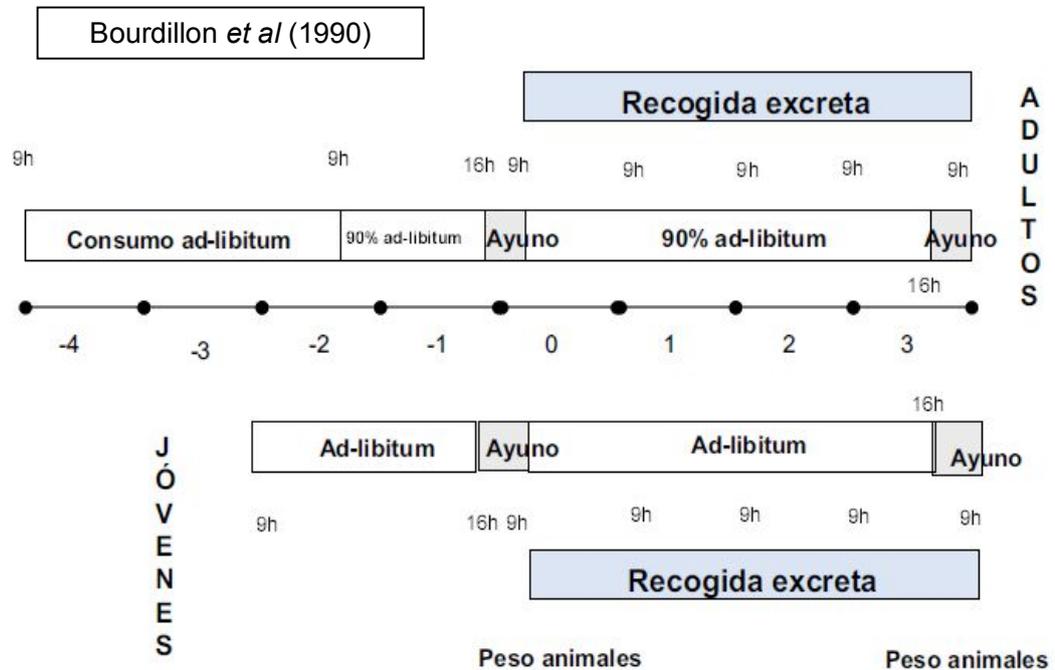
Figura 1-2. Procedimiento adoptado por Farrell (1978) para la determinación de la EMA.



- C. EMA. Basada en ensayos tradicionales de balance realizados en pollos alimentados de forma continua entre 5 y 7 días, con o sin ayuno previo al inicio y al final del balance y con recolección de excretas durante 3 a 5 días. En estos ensayos se pueden identificar dos procedimientos para el manejo de la dieta de referencia. El clásico, descrito por Hill *et al* (1960), en el que el ingrediente a evaluar sustituye a la glucosa en una dieta semi-sintética de referencia. Sibbald y Slinger (1963), citados por Francesch (2001), propusieron la modificación de la dieta de referencia por una estándar en la que el ingrediente a valorar se incluye utilizando la técnica de sustitución en niveles que oscilan entre uno y no más allá que cinco⁵. En 1990 Bourdillon *et al* impulsaron un protocolo de ensayo, llamado "Método de Referencia Europeo", para la valoración de la EMA en pollos jóvenes y aves adultas. Algunos componentes metodológicos de este tipo de método se describen en la siguiente figura.

⁵ En general la sustitución se realiza dentro de un esquema peso a peso; no obstante al respecto existen dos variantes: una está basada en realizar la sustitución considerando la dieta completa; la otra tiene en cuenta solo el núcleo aportador de energía en la dieta, excluyendo por lo tanto las fuentes de minerales, la premezcla de vitaminas y minerales y los aminoácidos. En esta última opción existen algunos investigadores quienes indican que para la sustitución también se debería considerar los aminoácidos dentro del núcleo energético; para otros los aminoácidos que eventualmente se incluyan en la dieta no hacen parte del núcleo energético.

Figura 1-3. Procedimiento adoptado por Bourdillon *et al* (1990) para la determinación de EMA según el método de alimentación de forma continua.



En general en los estudios *in vivo* para determinar la EM existen dos opciones para atender la recolección de las excretas. Una es la recolección total o forma clásica, la cual como su nombre lo expresa consiste en la recolección integral de las excretas producidas durante el período de recolección acordado; la otra opción es utilizar una recolección basada en muestreos; esta última es operativa siempre y cuando se utilice un indicador, bien sea interno o externo.

1.6.2. Métodos indirectos para la valoración de la energía metabolizable de los alimentos.

Si bien en los métodos *in vivo* aún existen puntos por aclarar con respecto a la concordancia sobre cuál es el mejor sistema de valoración energética de los ingredientes y las dietas completas, el empleo de métodos indirectos no ha avanzado ya que para que los valores estimados mediante éstos puedan ser validados se deben relacionar con los resultados obtenidos con los métodos *in vivo* de para los mismos ingredientes o dietas (Francesch 2001). En aves Valdés y Leeson (1992) establecieron un método *in vitro* para la medición de la EM partiendo de métodos utilizados en rumiantes simulando la digestión *in vivo* a partir de la utilización de enzimas y ácidos biliares.

La determinación de la EM a partir de ecuaciones de predicción es un método indirecto, que, como indicaron Ost *et al* (2005), se basa en el uso de parámetros químicos y físicos de los alimentos para determinar dicho valor. Según estos autores, este método resulta

interesante si se tiene en cuenta que la determinación de valores energéticos y de la digestibilidad de los nutrientes no siempre de fácil ejecución porque además de demandar tiempo, poseen costos elevados, quedando, por lo tanto, a cargo de las instituciones de investigación y de pocas empresas privadas.

Otra manera, aplicada recientemente para estimar la EM, ha sido mediante la Espectroscopia en el Infrarrojo Cercano (NIR). Esta aplicación ha demostrado su validez en la estimación de la composición química y la digestibilidad de los alimentos; además genera resultados de manera rápida una vez se haya alcanzado una adecuada calibración, no requiere cantidades significativas de las muestras, no las destruye, no genera contaminación ambiental ni afecta la salud de los funcionarios que la aplican. No obstante sus ventajas, el uso de esta vía de estimación depende de complejas calibraciones entre los valores de referencia de una matriz determinada y los espectros generados en los equipos, las cuales no presentan alta disponibilidad, lo que hace que ésta presente uso limitado.

Alomar *et al* (2006) en Chile evaluaron 59 alimentos comerciales para perros en crecimiento y en fase adulta empleando la aplicación NIR. Como lo señalaron dichos investigadores aunque no se pudo ajustar una ecuación para predecir con exactitud la EM el valor de 0,86 para el R^2 reveló una relación sólida entre los datos ópticos y los componentes químicos (proteína cruda, grasa y extracto libre de nitrógeno) utilizados para predecir el contenido de EM. Dichos investigadores argumentaron que aunque no exista elevada exactitud con la aplicación NIR parece ser prometedora para la predicción de la EM probablemente debido al tipo de análisis químico empleado para estimar el valor de la EM. Finalizan indicando que si bien la AAFCO (Association of American Feed Control Officials) acepta el empleo de los valores modificados de Atwater para estimar la EM en alimentos para perros, otros autores sugieren que son imprecisos cuando se comparan con los obtenidos en ensayos *in vivo*, por lo que Alomar *et al* (2006) consideraron que se espera que estos últimos se utilicen como método de referencia para las calibraciones requeridas por el NIR en la estimación de la EM.

En el Brasil Zanotto *et al* (2015) condujeron un estudio con el fin de desarrollar y validar la aplicación NIR en la predicción del valor de EMAn de 14 muestras de maíz utilizado en la alimentación de pollos de engorde. Los valores de EMAn medidos *in vivo* se correlacionaron con los espectros obtenidos en un equipo NIR. Algunas muestras fueron utilizadas para establecer la ecuación de calibración y otras para la validación externa de dicha ecuación. Los parámetros estadísticos para la ecuación de calibración y validación de esta ecuación fueron R^2 0,86 y 0,75 respectivamente, los cuales aunque indican una exactitud razonable sugieren la necesidad de continuar con esta línea de investigación aumentando el tamaño de la muestra con el fin de mejorar la exactitud de la calibración para un uso más robusto de esta metodología.

1.6.3. Cálculo de la energía metabolizable

La EM representa la energía del alimento que el animal puede utilizar (Miller, 1974). Para efectos de su determinación se entiende que la EM representa la diferencia entre el valor calorífico bruto ingerido (ingestión de alimento multiplicado por su valor calorífico bruto) y el valor calorífico bruto de las excretas (heces y orina).

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Para determinar la EM de un alimento se requiere conducir una prueba de alimentación, con oferta de alimento a libre voluntad o controlada, cuando se utiliza la opción alimentación forzada, durante un período corto de tal forma que permita establecer condiciones de balance de tránsito digestivo. Este periodo, presenta dos momentos, uno de ellos llamado de adaptación, debe ser al menos de siete días, en tanto que el segundo, que se realiza una vez concluye el anterior, dura entre tres y cinco días. Dentro de estas condiciones operativas desde el momento en el que se iniciaron los experimentos para determinar la EM se estableció que pocos alimentos podían ser aceptados como dieta única ya que se afecta el consumo y se originan desbalances nutricionales que afectarían el comportamiento experimental de las aves y, en consecuencia, el valor de la EM de dicho recurso; por esta razón, se recomendó que el alimento evaluado fuera incorporado a una dieta de referencia (DR) para mantener unas condiciones aproximadas similares de equilibrio nutricional, de manera que el alimento se pueda ofrecer a libre voluntad y se contrarresten los posibles efectos nutricionales adversos (Mora y Giraldo, 2005).

Como se indicó la EM se puede expresar como EMA o como EMV con o sin corrección por el balance de nitrógeno.

El método de la alimentación forzada fue propuesto por Sibbald en 1976 para determinar los valores de EMV de los alimentos. Como lo señalaron Rodrigues *et al* (2002) el método sugerido por Sibbald en 1976 se generó por la tentativa de reducir los problemas relacionados con la medición del consumo cuando se ofrece un alimento o no la dieta y el tiempo de los ensayos; en este método los gallos adultos son forzados a ingerir una cantidad conocida del alimento a evaluar y además corrige la energía excretada, considerando la energía fecal metabólica y urinaria endógena obtenida a partir de gallos en ayuno. En este informe no se abordará esta opción porque aunque ella se utilizó en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, desde hace se retiró de su realización por los efectos desfavorables que presenta tanto para los animales como para la calidad de las muestras. En consecuencia el enfoque se hará para la EMAn.

El planteamiento para la determinación de la EMAn de un alimento propuesto por Hill y Anderson (1958), citados por Mora y Giraldo (2005), se expresa de la siguiente manera:

$$EMA_n = \frac{[EB_i - (EB_e + NR_b * K)]}{i}$$

En donde:

EB_i = Energía bruta ingerida.

EB_e = Energía bruta excretada (heces + orina).

NR_b = Nitrógeno retenido por balance = N_i - N_(f+u).

K = Valor calórico de un gramo de nitrógeno retenido (8,73 u 8,22 kcal/g).

i = Alimento ingerido (g).

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

N_i = Nitrógeno ingerido (g).

$N_{(f+u)}$ = Nitrógeno en (heces + orina) (g) que es lo mismo que hablar de Nitrógeno fecal + Nitrógeno urinario.

En principio todas las fracciones químicas de los alimentos contribuyen al valor calórico bruto del mismo. A esta declaración general es necesario, no obstante, realizar un análisis puntual en el caso de la fracción proteica.

Según las condiciones y el estado nutricional de los animales los aminoácidos ingeridos pueden ser retenidos o utilizados como sustratos oxidables. Desde el punto de vista de la valoración calórica potencial de un alimento, la fracción proteica absorbida y metabolizada conlleva a la síntesis y excreción de varios compuestos nitrogenados (ácido úrico, amonio, creatina y urea) los cuales aún están en capacidad de liberar energía. Por esta razón la combustión de una proteína en una bomba calorimétrica genera mayor cantidad de calor que el producido por procesos metabólicos. Si se considera que en aves la oxidación de la proteína produce principalmente ácido úrico, este contiene 33,33% de nitrógeno y en su combustión se generan 2,74 Kcal/g, lo que representa 8,22 Kcal por gramo de nitrógeno excretado (Hill y Anderson, 1958, citados por Lopez y Leeson, 2007). Este valor es conocido y utilizado como constante para ajustar el contenido calórico de las excretas ya sea que los animales se encuentren en un estado nutricional y fisiológico que favorece la retención o porque se derive como producto de aminoácidos metabolizados si el alimento ingerido no permite mantener condiciones corporales de equilibrio. El mismo Sibbald (1982) señaló que el valor calórico de 8,73 Kcal/g sugerido por él y Slinger en 1963 puede ser más representativo de la mezcla de compuestos nitrogenados excretados; sin embargo, hay que tener presente que esta constante calórica es diferente entre especies animales por la naturaleza de los compuestos nitrogenados excretados. Lo que promueve la aplicación de esta corrección es ajustar el valor calórico de los alimentos de acuerdo con el grado variable de nitrógeno que es retenido u oxidado, de manera que se tomen comparables los valores de EM determinados. Es de señalar que esta corrección se puede determinar en el mismo experimento mediante la técnica del balance nitrogenado (NRb). Cabe señalar que por lo general en la determinación del balance de N se presenta retención positiva de nitrógeno; no obstante, puede resultar más variable dependiendo también de los niveles de sustitución, de la naturaleza del recurso y del consumo de las dietas experimentales, lo que a su vez se reflejará en el valor de EMn calculado para el recurso.

El valor de la corrección se agrega al valor calorífico bruto de la excreta por cada gramo de nitrógeno retenido (sí el nitrógeno no ha sido retenido se pudo haber excretado como ácido úrico), lo cual remueve el efecto de las diferencias en el crecimiento, inherente entre las aves de cualquier ensayo.

La EM de un alimento se puede estimar por diferencia o por regresión. Cuando se decide evaluar un alimento bajo los términos del protocolo por diferencia se necesita elaborar dos dietas: una, de referencia (DR), y otra en la cual el alimento sustituye una parte representativa de la materia seca del núcleo constituido por todos los ingredientes aportadores de energía con excepción de la fracción de vitaminas, minerales y de aminoácidos sintéticos. Luego se mide la EM de cada una de las dietas y se calcula la EM del alimento por diferencia aplicando la ecuación propuesta por Sibbald, Summers y Slinger (1960).

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

$$\overline{EMAn}_Y = \frac{[\overline{EMAn}_P - (\overline{EMAn}_B \times \frac{\% \text{ de dieta basal en la dieta experimental}}{100})]}{\%YP} \times 100$$

Dónde:

\overline{EMAn}_Y : Valor promedio de la EMAn (kcal/g de MS).del alimento a evaluar.

\overline{EMAn}_P : Valor promedio de la EMAn (kcal/g de MS).de la dieta que contiene el alimento a evaluar (dieta experimental).

\overline{EMAn}_B : Valor promedio de la EMAn (kcal/g de MS).de la dieta basal.

%YP: Porcentaje del alimento a evaluar en la dieta experimental.

La otra opción de estimación, la de la regresión, es procedente cuando se utilizan varios niveles de sustitución del alimento que se evalúa en el núcleo energético de la DR, lo que obliga a la elaboración de varias dietas. De esta manera se configura un método multivariado. El valor de la EM del alimento (Y) se puede calcular a través del planteamiento de una regresión del tipo $Y = a + bx$ en la que Y corresponde a los valores observados de EM en las dietas experimentales para cada nivel de sustitución y X son los niveles o porcentajes de sustitución del alimento en las dietas. Luego se procede a la extrapolación de la ecuación cuando X se hace igual a 1. Este método de cálculo exige que el modelo sea lineal; además, se critica porque la estimación del valor de la EM se basa en niveles de sustitución que se encuentran por fuera de los evaluados. Sin embargo, este procedimiento metodológico es indispensable cuando se trata de establecer el valor de la EM en las grasas, aceites y alimentos con alto contenido de pared celular o poco conocidos puesto que éstos generalmente solo se pueden incorporar en bajos niveles en la DR. Pero se incrementan las labores de manejo experimental y en especial los costos de la prueba.

2. Objetivos

General

Evaluar el efecto de los procesos térmicos de cocción y el tostado en los granos crudos de *Cajanus sp* y *Mucuna sp* empleados en la formulación de dietas para pollos de engorde.

Específicos

- Determinar los efectos de dos procesos térmicos aplicados al grano crudo de *Cajanus sp* y *Mucuna sp* sobre algunos indicadores de calidad y de composición química.
- Establecer los efectos de dos procesos térmicos aplicados al grano crudo de *Cajanus sp* y *Mucuna sp* sobre la energía metabolizable en pollos de una línea genética comercial.

3. Hipótesis

Los procesos térmicos aplicados al grano crudo de *Cajanus sp* y *Mucuna sp* deben introducir cambios en el contenido de la energía metabolizable evaluada en pollos de una línea genética.

4. Materiales y Métodos

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

4.1. Materiales

4.1.1. Ubicación

El experimento se realizó en la granja experimental Avilandia, propiedad de la empresa de alimentos balanceados para animales Solla S.A. Avilandia se encuentra en el municipio de Rionegro, Antioquia, localizada a 2.150 msnm, con temperatura ambiental media de 17°C y certificada como granja avícola biosegura por el Instituto Colombiano Agropecuario, (ICA). Esta certificación garantiza que la infraestructura, los protocolos y procedimientos en torno a la bioseguridad que los resultados de las investigaciones en nutrición avícola no se vean afectados por enfermedades o factores externos a las aves; cuenta con un sistema de trazabilidad en el cual es factible detectar problemas y eliminar sus causas de manera inmediata; además en la granja existe un estricto control de olores y ruidos.

4.1.2. Condiciones operativas

Para los pollos orientados a la producción de carne es necesario garantizar que en los galpones donde se alojan la temperatura esté entre 16 y 27°C y la humedad relativa entre 30 y 70% en sus etapas de cria, levante y engorde. Estos requisitos los ofrece la granja, además de mantenerlos controlados mediante el uso de dispositivos. La granja dispone de un sistema de iluminación que combina lo natural y lo artificial; la iluminación se trabaja de acuerdo con la edad del pollo: entre el día 7 y 10 de vida el pollo cuenta con luz artificial; luego ingresan a un programa de luz natural que se extiende hasta terminar el ciclo productivo.

4.1.3. Aves

Para el experimento se utilizaron 208 pollos machos de la línea genética Ross x Ross adquiridos por una empresa productora de alimentos balanceados destinados a su sistema de producción.

4.1.4. Granos

4.1.4.1. Procedencia

Se utilizaron granos no clasificados de las leguminosas Guandul (*Cajanus sp*) y Mucuna (*Mucuna sp*), suministrados por la Granja La Pradera de la Fundación Aurelio Llano Posada, localizada en la vereda El Laurel del municipio de Quimbaya, Departamento del Quindío. Esta granja se encuentra a 1.250 msnm, temperatura media de 21°C y entre 1.800 y 2.000 mm de precipitación anual, condiciones que corresponden a la zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh-MB) (Espinal, 1963). Los cultivos de estos granos están establecidos en la granja porque son utilizados en la alimentación de bovinos, conejos y aves. Manualmente se recolectaron las vainas, se seleccionaron las que estaban completas, en buen estado y maduras, los granos se sometieron a la limpieza de impurezas y se seleccionaron aquellos que presentaban uniformidad en el color, tamaño y forma.

A continuación se presentan imágenes de estas dos leguminosas extraídas de http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Cajanus_cajan.htm.

Figura 4-5. Imágenes de diferentes partes de la planta de *Cajanus* y de *Mucuna*.

Cajanus



Tipo de Follaje: arbustiva



Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde



Desarrollo de inflorescencia a vaina y grano

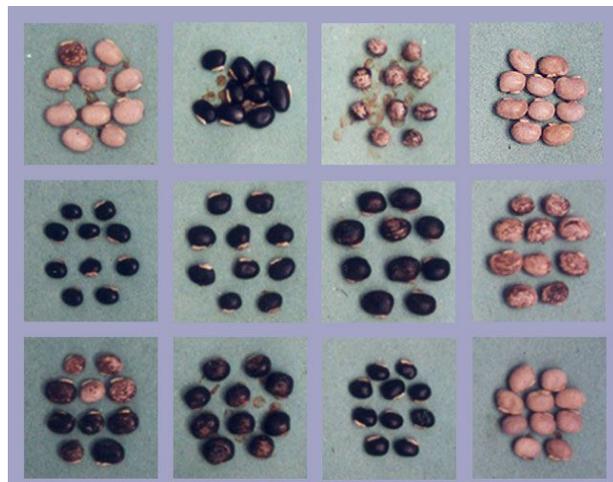
Mucuna



Tipo de Follaje: trepador -rastrera



Flores



Variedades de semilla

4.1.4.2. Procesos térmicos aplicados

Luego de la selección de los granos se constituyeron tres grupos: uno conformado por aquellos que no recibieron proceso térmico alguno, los cuales en este documento se denominarán grano crudo, el segundo constituido por los granos sometidos al tostado y el otro por granos expuestos a la cocción. Para el primer grupo en el Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, se molieron 15 kg de los granos de guandul y mucuna, las muestras se almacenaron en bolsas plásticas con cierre hermético y se conservaron a temperatura ambiente en el laboratorio hasta su utilización en la fase experimental. El procedimiento anterior se realizó en los laboratorios de Productos lácteos y Análisis Químico y Bromatológico de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Para tostar el grano en el mismo laboratorio se realizó el siguiente procedimiento:

- ⇒ De cada grano de leguminosa se dispusieron 15 kg.
- ⇒ Durante 4 horas los granos se colocaron en remojo a razón de un litro de agua de grifo por cada kg de grano (1:1).
- ⇒ Luego del remojo se descartó el agua y los granos 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 durante 1 hora en horno Memmert UM 600/mc 5428.
- ⇒ Se sacaron del horno, se colocaron en bandejas plásticas, se enfriaron a temperatura ambiente y se molieron.
- ⇒ La muestra molida se almacenó en bolsas plásticas con cierre hermético y se conservó a la temperatura ambiente en el laboratorio hasta su utilización en la fase experimental.

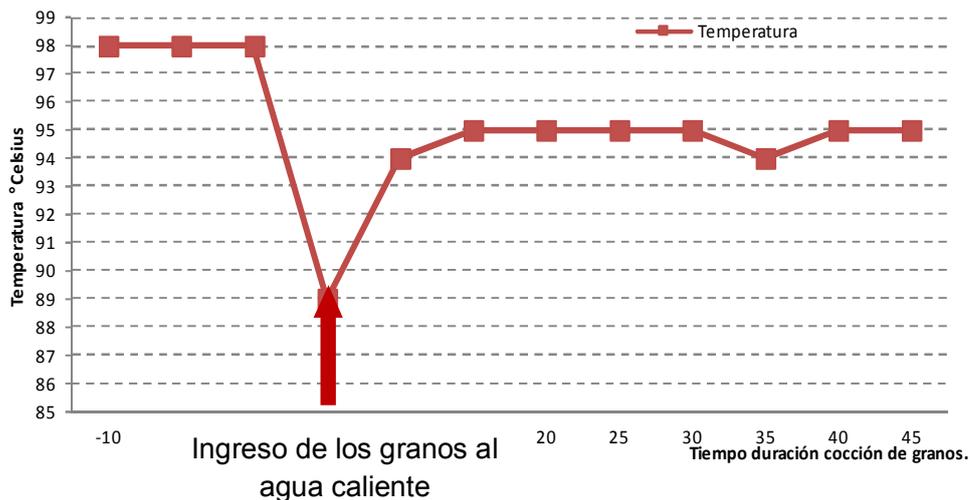
Para la cocción del grano se realizó el siguiente procedimiento:

- ⇒ De cada grano de leguminosa se dispusieron 15 kg.
- ⇒ Durante 4 horas los granos se colocaron en remojo a razón de un litro de agua de grifo por cada kg de grano (1:1).
- ⇒ Los granos, en una relación de 1:10 de grano y agua, se colocaron en una marmita de doble camisa a vapor de capacidad media, con agitador automático de velocidad constante a 14 rpm. La marmita se llenó con agua potable a 98°C obtenida mediante vapor producido por una caldera a gas.
- ⇒ Durante la cocción la temperatura del agua se mantuvo entre 94 y 95°C durante 45 minutos. El comportamiento de la temperatura del agua en la marmita se puede observar en la figura 5.
- ⇒ Posteriormente se descartó el agua de la marmita y los granos se dejaron a temperatura ambiente distribuidos en bandejas plásticas.
- ⇒ Luego se llevaron a secado en estufa -Dies Autronic TH 408/tzn4s- de ventilación forzada a 60°C durante 24 horas.
- ⇒ Los granos se molieron en molino de martillos. A continuación la harina resultante se almacenó en bolsas plásticas con cierre hermético, se conservó a temperatura

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

ambiente para su posterior utilización en la mezcla con el resto de ingredientes de cada una de las dietas experimentales.

Figura 4-6. Variación promedio de la temperatura del agua para el proceso de cocción de los granos de *Cajanus sp* y *Mucuna sp*.



4.1.5. Dietas experimentales

Según Mora y Giraldo (2005) para la determinación de la EMAn en aves es necesario garantizar condiciones de balance de tránsito digestivo a través de la oferta controlada de alimento durante un periodo de tiempo que si bien es corto no debería ser menor que siete días. Como pocos recursos alimenticios o materias primas pueden ser aceptados por las aves como dieta única porque se afectaría el consumo, se generarían desbalances nutricionales y se podría afectar el comportamiento experimental, Sibbald *et al* (1960) señalaron que en los estudios de EM era imprescindible utilizar una dieta de referencia (DR) en la que se debe incorporar el recurso a evaluar y se ofrecería a libre voluntad, de tal forma que se garanticen unas condiciones aproximadas de equilibrio nutricional y se contrarresten los posibles efectos nutricionales adversos que se presentarían.

Como se indicó en los ensayos de EM se pueden identificar dos procedimientos para el manejo de la DR. Una es la manera clásica, descrita por Hill *et al.* (1960), poco usada en los años recientes en la que el ingrediente a evaluar sustituye a la glucosa en una dieta semi-sintética de referencia. La otra es la que propusieron Sibbald y Slinger (1963), citados por Francesch (2001), en la que el ingrediente a valorar se incluye utilizando la técnica de sustitución en niveles entre uno y cinco, en una dieta configurada por ingredientes de uso habitual en la formulación de dietas comerciales para pollos de engorde.

Para la determinación de la EMAn de los dos granos se manejó una DR utilizada usualmente por el grupo de investigación en Evaluación de Recursos Alimenticios y Sistemas de Alimentación Animal de la Universidad Nacional de Colombia, Sede

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Medellín. La composición centesimal y nutricional esperada de la DR se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 4-1. Composición centesimal y nutricional estimada de la dieta de referencia utilizada en el experimento.

INGREDIENTES	% EN LA DIETA	Composición nutricional estimada	Requerimientos nutricionales (NRC, 1994)	
Maíz amarillo	67,88	Proteína cruda (%)	22,10	20,50
Torta de soya	25,90	Fibra cruda (%)	3,50	-
Aceite crudo de palma	1,50	Extracto Etéreo (%)	4,52	-
Fosfato tricálcico	1,97	Calcio (%)	1,38	1,00
Carbonato de calcio	1,02	Fosforo disp (%)	0,80	0,45
Oxido de cromo	0,50	EMn (Kcal/kg)	3033	30,50
Cloruro de sodio	0,39	Lisina	-	1,10
L-Lisina HCl	0,30	Metionina	-	0,50
Metionina DL	0,25	Metionina + Cistina	-	0,90
Premezcla de vitaminas y minerales	0,25	Treonina	-	0,80
L-Treonina	0,04	Na	-	0,20
Total	100			

De acuerdo con diferentes investigadores se asume que en la determinación de la EMAn de un recurso se asume que la EM de la DR permanecerá constante y cualquier cambio en esta se atribuye únicamente al ingrediente que se está evaluando y no a los posibles efectos de la interacción entre la DR y el recurso en estudio; también se asume que la EMAn del ingrediente es constante para cualquier nivel de incorporación dentro de la dieta; sin embargo, diversos investigadores como Miller (1974), Sibbald y Morse (1983) y Wolynetz y Sibbald (1984), citados por Mora y Giraldo (2004), han señalado que el nivel de sustitución afecta el promedio y la varianza de la EMAn calculada. Por esta razón, en las determinaciones de EM el nivel de incorporación del alimento dentro de la DR tiene efectos importantes desde el punto de vista estadístico y biológico (Pesti y Ware, 1986).

Siguiendo el derrotero de las propuestas metodológicas usadas para determinar la EM una vez diseñada y preparada la DR se elaboraron las dietas experimentales sustituyendo el 10 y el 20% (peso a peso de la materia seca estimada) del núcleo energético de la DR por los granos de las dos leguminosas en sus tres modalidades de proceso (crudo, cocido, y tostado). Para efectos metodológicos en este experimento se consideró el núcleo energético de la DR integrado por el maíz amarillo, torta de soya y aceite de soya y dejó por fuera los aminoácidos industriales y el componente de vitaminas de la premezcla. En este punto se debe llamar la atención que existen dos enfoques en la comprensión del núcleo energético de la DR: algunos investigadores consideran que en este núcleo se deben incluir todos los ingredientes, independiente de su nivel en la dieta, que aportan energía, mientras que otros dejan por fuera los aminoácidos y las vitaminas. No se dispone de información experimental que permita comparar el efecto que tiene estos enfoques en la precisión en la determinación de la EM.

No obstante que se conoce que el nivel de sustitución del alimento en la DR afecta la precisión de los valores de EM (Sibbald y Price, 1975, citados por Sakomura y Rostagno, 2007), no es fácil establecer criterios precisos que permitan decidir el nivel de sustitución que se debe emplear. Al respecto Sakomura y Rostagno (2007) indicaron que entre más alta sea la proporción del alimento incluido en la DR es mayor la precisión en la determinación de la EM; sin embargo, la decisión por un determinado nivel de sustitución también debe considerar el tipo de alimento evaluado (nivel de pared celular, forma líquida, nivel de proteína del alimento) ya que esta condición está asociada o con el consumo o con la digestibilidad de los nutrientes. Dichos investigadores sugirieron que para el caso de alimentos proteicos la DR debería tener un nivel relativamente bajo de proteína, mientras que para los cereales (que presentan contenidos bajos de proteína) se deberían incluir en DR con niveles más altos de proteína cruda. Los mismos investigadores informaron que en los experimentos para determinar la EM de los alimentos normalmente la sustitución ha oscilado entre 20 y 40%; no obstante informaron que cuando se trata de aceites el nivel de sustitución debería ser menor (entre 7 y 10%), en tanto que en alimentos con altos niveles de pared celular (como las semillas y la torta de algodón) se recomienda que éste sea 20%. Para alimentos que no presentan problemas de consumo y se utilizan en dietas comerciales en niveles elevados, como ocurre con el maíz o el sorgo, puede ser total la sustitución en las DR.

En la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, los estudios realizados para determinar el valor de la EM de diversos alimentos han utilizado diferentes valores de sustitución del alimento en la DR. En la tabla 4-2 se presenta un resumen de los niveles de sustitución que se han empleado.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Tabla 4-2. Niveles de sustitución del alimento en la dieta de referencia en los estudios realizados para determinar el valor de la EM de diversos alimentos en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Alimento	Niveles de sustitución empleados (%)	Observaciones	Autor (es)
Torta de soya	15; 30; 45	Origen nacional, Bolivia, EE-UU	Uribe (2000)
Harina de arroz;	20;40		González (2002)
harina de maíz			
Harinas de carne	10;20		Posada (2002)
Harina de arroz;	20	Inclusión de 600 y 1200 FTU/kg de dieta de una fitasa comercial	Marín y Ruíz (2005)
salvado de trigo			
Torta de algodón	10	Inclusión de 600 y 1200 FTU/kg de dieta de una fitasa comercial	Medina y Jiménez (2005)
Torta de girasol	15		
<i>Tithonia diversifolia;</i>	5; 10; 15	Hojas secas	Montoya y Rodríguez (2005)
<i>Trichantera gigantea</i>			
<i>Morus alba;</i>	5; 10; 15	Hojas secas	Londoño y Villalba (2006)
<i>Malvaviscus penduliflorum</i>			
<i>Manihot esculenta;</i>	5; 10; 15	Hojas secas	Castaño (2006)
<i>Mucuna deeringianum</i>			
Soya integral (cruda, cocida, tostada, extruida)	30	Grano	Rueda (2016)

Otro asunto que se debe analizar en la definición del nivel de sustitución en la DR tiene que ver con el número de niveles de inclusión que se deben emplear. En publicaciones como la Revista Brasileira de Zootecnia se encuentran artículos relacionados con el contenido de EM en los que se identifica que se trabajó con un nivel de sustitución. En ellos se observa que en alimentos con información nutricional conocida y de baja variabilidad, como son los productos de la soya, se utiliza un nivel de sustitución. Entre tanto en otras investigaciones se sugiere el uso de varios niveles de sustitución, sugerencia que parece ser la estrategia adecuada, principalmente con alimentos de alta variabilidad nutricional, que por sus características químicas afectan el consumo, la digestibilidad y, en consecuencia, el contenido de EM. Como se identifica en la información registrada en la tabla anterior en la Sede Medellín de la Universidad Nacional de Colombia en algunos alimentos ha sido tradición el uso hasta de tres niveles de sustitución en la determinación de su EM. Para esta investigación se utilizaron dos niveles de sustitución (10 y 20%) por tratarse de granos de leguminosas en los que se esperaba que presentaran variabilidad en su composición nutricional, de los que no se dispone de abundante información en su contenido de EM en las presentaciones que se evaluaron (crudo, cocido y tostado) por la disponibilidad de alojamiento en las baterías para albergar más niveles.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

En las tablas 4-3 y 4-4 se registra la información relacionada con los tratamientos evaluados y la composición centesimal de las dietas evaluadas.

Tabla 4-3. Descripción de los tratamientos utilizados en el estudio.

Número del tratamiento	DIETA CON <i>Mucuna sp</i>	Número del tratamiento	DIETA CON <i>Cajanus sp</i>
T1: Dieta de referencia (DR)			
T2	Grano crudo, 10% de inclusión	T5	Grano crudo, 10% de inclusión
T3	Grano tostado, 10% de inclusión	T6	Grano tostado, 10% de inclusión
T4	Grano cocido, 10% de inclusión	T7	Grano cocido, 10% de inclusión
T8	Grano crudo, 20% de inclusión	T11	Grano crudo, 20% de inclusión
T9	Grano tostado, 20% de inclusión	T12	Grano tostado, 20% de inclusión
T10	Grano cocido, 20% de inclusión	T13	Grano cocido, 20% de inclusión

Tabla 4-4. Composición centesimal de las dietas utilizadas en el estudio de estimación de la EMAn con *Mucuna sp* y *Cajanus sp*.

Ingredientes	Dieta de referencia (DR)	<i>Mucuna sp</i> y <i>Cajanus sp</i> 10%	<i>Mucuna sp</i> y <i>Cajanus sp</i> 20%
Maíz	67,88	61,09	53,30
Torta de soya	25,90	23,31	20,72
Aceite de soya crudo	1,50	1,35	1,20
Recurso (Grano de leguminosa)	-	10,00	20,00
Fosfato tricálcico	1,97	1,97	1,97
Carbonato de calcio	1,02	1,02	1,02
Óxido de cromo	0,50	0,50	0,50
Cloruro de sodio	0,39	0,39	0,39
L-Lisina HCl	0,30	0,30	0,30
Metionina DL	0,25	0,25	0,25
Premezcla de vitaminas y minerales	0,25	0,25	0,25
L-Treonina	0,04	0,04	0,04

La composición de la premezcla de vitaminas y minerales garantizada por el fabricante para 20 kg de mezcla es la siguiente. Vitaminas: A 11'000.000 U.I, D₃ 3'000.000 U.I, E 10.0000 mg, K 3.000 mg, tiamina 2.100 mg, riboflavina 5.000 mg, piridoxina 1.100 mg, niacina 20.000 mg, ácido pantoténico 9.100 mg, cloruro de colina (60%) 350.000 mg., biotina 10 mg., B₁₂ 25.000 mcg., ácido fólico 250 mg. ; Minerales : manganeso 76.000 mg., zinc 68.800 mg., hierro 45.000 mg, cobre 5.000 mg, selenio 300 mg, cobalto 300 mg, calcio 2.000 g, fósforo 2.856g, lodo 600mg; Otros: promotor (3 nitro-100) 45.000 mg, antioxidante 50.000 mg.

De cada dieta se prepararon 25 kg en forma de harina; este procedimiento se llevó a cabo en el Laboratorio de Concentrados de la Estación Agraria San Pablo, Rionegro Antioquia, propiedad de la Universidad Nacional de Colombia.

4.2. Procedimiento experimental

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 llamado: *Evaluación nutricional de alimentos y estrategias de alimentación animal*.

En el experimento las aves pasaron por tres momentos o fases:

1. **Fase pre-experimental:** esta fase se realiza entre el día 1 y 10 de vida de los pollos, en la recepción y crianza de los pollos durante la primera semana de vida se utilizaron los equipos y materiales dispuestos en la granja, según protocolos sanitarios de la misma. Las aves se alojaron en el piso, en los corrales que tiene la granja, acondicionados para garantizar la temperatura, humedad y luminosidad acordes con las necesidades de las aves; recibieron la dieta que corresponde al programa de alimentación establecido. Como no se requería que las aves ingresaran en la fase pre-experimental desde el primer día de vida, se dejaron en sus lotes y se manejaron en condiciones estándar de producción de la granja hasta que alcanzaron los 10 días de vida.
2. **Fase de adaptación:** Se inició a los 11 días de vida de las aves y se llevó hasta el día 20. Se realizó en baterías metálicas de cinco niveles y cuatro divisiones por nivel. Estas baterías disponían de comederos y bebederos de canal y criadoras eléctricas e iluminación. Hasta el día 11 de vida se mantuvo la oferta de la dieta que venían consumiendo en la fase anterior porque se esperaba reducir el estrés generado por el cambio del alojamiento y el del suministro de una nueva dieta. A partir del día 12 se inició la fase de oferta propiamente dicha a las dietas experimentales. Durante esta fase se realizó el registro del consumo de la dieta el cual para todos los efectos se denominará como Consumo 1.
3. **Fase de recolección de excretas y de información de consumo de las dietas:** la cual para todos los efectos se denominará como Consumo 2. Esta fase duró cuatro días. Se inició a las 6:00 a.m. con la disposición de bandejas de recolección de excretas debajo de cada piso de las jaulas; previamente estas bandejas son alistadas con una cubierta plástica para evitar pérdidas de excretas. La recolección de excretas se realizó cada 24 horas, se limpiaron de contaminantes como plumas, escamas y alimento desperdiciado, luego se pesaron las excretas, almacenaron en bolsas plásticas a -20°C hasta su posterior análisis. A las 12:00 m se completó diariamente la

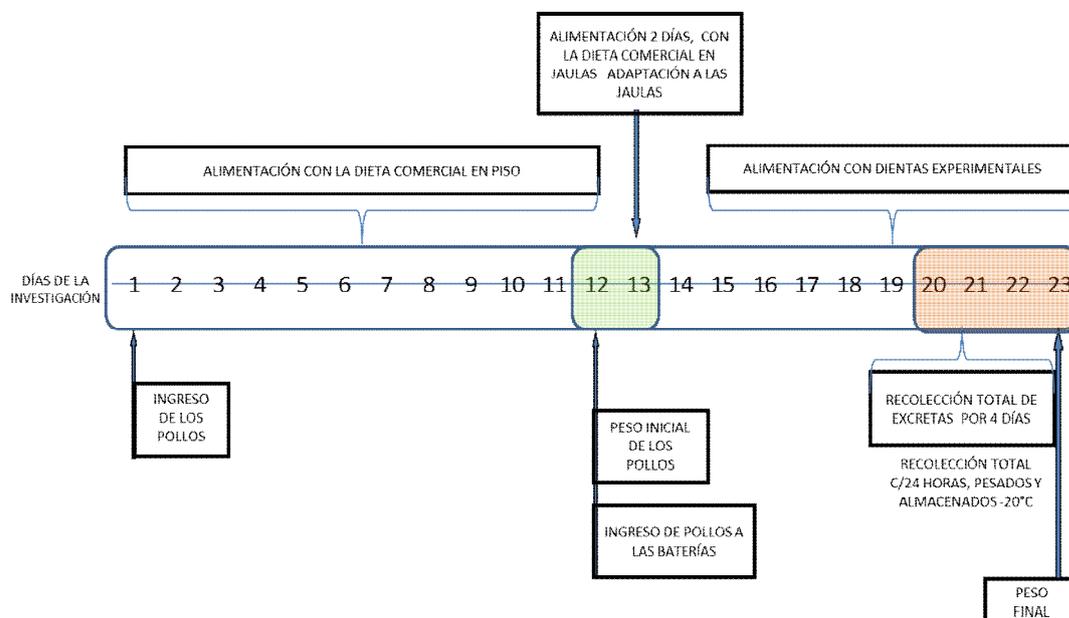
Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

recolección de excretas, respetando el turno de recolección para cada jaula. Las bolsas ya refrigeradas fueron transportadas inmediatamente hasta el Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

En la última fase se hicieron las mediciones del alimento ofrecido y del rechazado con base en la materia seca con el fin de determinar el consumo de la dieta. Por las características de las baterías no fue posible determinar el desperdicio de la dieta durante el periodo experimental, razón por la cual esta fracción no se tuvo en cuenta en la determinación del consumo.

El día final del periodo experimental, se pesaron los pollos y regresaron al sistema de manejo estándar de la granja, que es producción en piso con alimento comercial, para terminar su ciclo productivo que va hasta el día 42 de vida.

Figura 4-7. Protocolo utilizado en el experimento.



4.3. Análisis Bromatológicos

Para la determinación de la composición química y energética de los alimentos, las dietas y de las excretas se realizaron los análisis descritos a continuación. Antes de los procedimientos de laboratorio las muestras fueron homogenizadas, secadas en estufa de ventilación forzada Dies Autronic TH 408/tzn4s a 60°C por 72h. Posteriormente se sacaron de la estufa y se dejaron equilibrar con la temperatura y humedad del medio, luego se molieron

Tanto la preparación de las muestras como los análisis químicos, excepto la determinación de los inhibidores de tripsina, se realizaron en el Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. La determinación de los inhibidores de tripsina se realizó en el Laboratorio Nutrianalisis Ltda,

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

de Bogotá. Esta prueba se basa en el método de referencias de inhibidores de tripsina según norma ISO 14902 del 2001. (Smith, *et al*, 1980).

En la tabla 4-5 se presenta un cuadro resumen de los análisis bromtaológicos realizados distribuidos por ensayo para cada tipo de muestra involucrada.

Tabla 4-5. Análisis químicos realizados en el experimento.

Ensayo	Método	Grano Crudo	Grano Cocido	Grano Tostado	DR	Dieta con grano de leguminosa	Rechazo	Excreta
Humedad y otras materias volátiles (Hd) (%)	Termogravimétrico 105°C ± 2°C (ISO-6496)	X	X	X	X	X	X	X
Nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda (PC) (%)	Kjeldahl (NTC-4657).	X	X	X	X	X	X	X
Contenido de grasa (%)	Extracción (NTC-668)	X	X	X	X	X		
Cenizas (%)	Incineración directa a 600°C (AOAC 942.05)	X	X	X	X	X		
Fibra cruda (%)	Crisol de disco cocido (AOAC 978.10)	X	X	X	X	X		
Calcio (%)	Espectrometría de absorción atómica (NTC 5151)	X	X	X	X	X		
Fósforo (%)	Espectrofotométrico UV-VIS (NTC 4981)	X	X	X	X	X		
Valor calorífico bruto (cal/g)	Bomba calorimétrica (ISO 9831)				X	X	X	X
Proteína Soluble en KOH al 0,2 (%)	Solubilidad en KOH (NTC 3682)	X	X	X				
Índice de Ureasa (Δ pH)	Potenciometría (NTC 771)	X	X	X				
Inhibidores de tripsina (UIT/mg)	NIR - ISO 14902 (2001)	X	X	X				

Para determinar los valores de EMA y EMAn de las dietas se aplicaron las siguientes ecuaciones propuestas por Matterson *et al* (1965).

$$EMA_{DR} = \frac{(EB_{ing} - EB_{exc})}{MS_{ing}}$$

$$EMA_{DT} = \frac{(EB_{ing} - EB_{exc})}{MS_{ing}}$$

$$EMA_{ALIM} = EMA_{DR} + (EMA_{DT} - EMA_{DR})$$

g de alimento/g de dieta

$$EMAn_{DT} = \frac{(EB \text{ ing} - EB \text{ exc}) - 8.22 \times BN}{MS \text{ ing}}$$

$$EMAn_{DR} = \frac{(EB \text{ ing} - EB \text{ exc}) - 8.22 \times BN}{MS \text{ ing}}$$

$$EMAn_{ALIM} = EMAn_{DR} + \frac{(EMAn_{DT} - EMAn_{DR})}{\text{g de alimento/g de dieta}}$$

BN = N ingerido – N excretado;

Donde:

EMAn_{DT} = Energía metabolizable aparente de la dieta a evaluar

EMAn_{DR} = Energía metabolizable aparente de la DR

EMAn_{ALIM} = Energía metabolizable aparente del alimento

EMAn_{DT} = Energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno de la dieta a evaluar

EMAn_{DR} = Energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno de la DR

EMAn_{ALIM} = Energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno del alimento

EB ing = Energía bruta ingerida

EB exc = Energía bruta excretada

MS ing = Material seca ingerida

BN = Balance de nitrógeno

Para la corrección de la EM por el balance de nitrógeno se utilizó el valor 8,22 kcal/g de nitrógeno excretado sugerido por Hill y Anderson (1958) citados por López y Leeson (2007).

4.4. Análisis Estadístico

Para cada grano el ensayo 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 para finalmente generarse 13 tratamientos, los cuales se distribuyeron en un diseño estadístico completamente al azar con 13 tratamientos, cuatro repeticiones por tratamiento y cuatro aves por repetición. En el experimento se adoptó como criterio el empleo de cuatro aves

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

por repetición, situación que garantizó la densidad de alojamiento (aves por división y nivel en cada piso) según la Guide for the care and use of laboratory animals (National Academy of Sciences (2011), la cual dispone y regula las condiciones ambientales y espaciales a las que se exponen los animales en experimentación, investigación y docencia.

Para ambos granos se utilizó la misma DR para determinar los valores de EMA y EMAN tanto de dicha dieta como de aquellas que incluyeron los dos granos en sus tres presentaciones y en los dos niveles de inclusión.

Los valores de EMA y EMAN de los granos se estimaron por el método de regresión.

Las variables de respuesta generadas se analizaron utilizando el procedimiento GLM y los valores promedio se compararon, cuando procedía, mediante la prueba Duncan.

El peso al inicio del período experimental (Peso 1) y el peso al final (Peso 2) se analizaron mediante un modelo de regresión lineal con el fin de establecer si el Peso 2 (variable dependiente) estuvo afectado por el Peso 1 (variable independiente).

Todos los análisis estadísticos se realizaron en el programa SAS (SAS Inst Inc., Cary, NC).

5. Resultados y Discusión

Con el fin de orientar este capítulo se procederá a presentar y analizar la información de los resultados de manera separada para cada grano evaluado.

5.1. Grano de *Cajanus sp*.

5.1.1. Composición química y algunos indicadores de calidad de proceso en el grano.

En la tabla 5-1 se presentan los resultados de algunas variables de la composición química y de algunos indicadores de la calidad de los procesos aplicados a los granos de *Cajanus sp*.

Tabla 5-1. Composición química y algunos indicadores de proceso para el grano crudo, cocido y tostado de *Cajanus sp* usado en el experimento (Valores expresados en base seca).

Análisis	<i>Cajanus sp</i>			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 <i>et al</i> (1993); Li <i>et al</i> (1982); Calderón (1978); Cedano (2006)
Contenido de grasa (%)	1,06	1,49	1,09	0,98; 6,37; 8,72	Cedano (2006); Li <i>et al</i> (1982); Calderón (1978); León <i>et al</i> (1993)
Fibra cruda (%)	9,90	13,00	10,00	7,5; 8,2; 10,6	Li <i>et al</i> (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		
Índice de ureasa (Δ pH)	0,001	0,047	2,091		0,15. Máximo NTC 3682 (Torta de soya) 0,15. Máximo. NTC 3716 (Soya integral)
Inactivación de inhibidores de Tripsina (mg IT/g)	5,20	0,43	4,19		3 mg/kg. Máximo NTC 3682 (Torta de soya) 5 mg/kg. Máximo NTC 3716 (Soya integral)
Proteína Soluble en KOH al 0,2% (%)	58,5	31,0	55,2		75. Mínimo NTC 3682 (Torta de soya) 75. Mínimo. NTC 3716 (Soya integral)

Para el grano del *Cajanus sp* la evidencia disponible en relación a su evaluación nutricional en dietas para aves es limitada; su evaluación nutricional ha sido menos estudiada que el componente agronómico. Al comparar los resultados del análisis de la composición química del grano utilizado en este estudio con la literatura consultada se observan valores similares sin encontrar variaciones importantes.

De acuerdo con los resultados registrados en la tabla anterior se puede indicar que los granos crudos de *Cajanus sp* utilizados en el estudio presentaron un contenido de proteína cruda apenas superado por los registros de Calderón (1978) y Cedano (2006) de 22,0% y 23,4% en su respectivo orden. Los valores de fibra cruda de las semillas de *Cajanus sp* del estudio fueron superiores a los de Li *et al* (1982) que correspondieron a 7,5% y 8,2% respectivamente; por otro lado León *et al* (1993) presentaron registros de valores de 30,03% en el contenido de almidones los cuales son constituyentes importantes como aportadores de energía.

En cuanto a los indicadores de proceso utilizados (índice de ureasa, inactivación de los inhibidores de tripsina y la proteína soluble en KOH al 0,2%) se debe advertir que fueron tomados de los desarrollos que para tal efecto se trabajan con torta de soya y soya integral. Para evaluar la calidad del proceso térmico aplicado a productos de soya existen tres variables que se emplean como criterios de control: la inactivación de los inhibidores de tripsina, la actividad ureásica y la proteína soluble en KOH al 0,2%. En general la normatividad que existe en Colombia al respecto de este tema es clara al señalar que estos son indicadores del procesamiento a que fue sometido el frijol soya y sus subproductos (NTC 771 del 2000; basada en la AOCS Ba 9-58 de 1987), para conocer si el grado de cocción fue suficiente o excesivo o para establecer los requisitos que debe cumplir la soya integral utilizada en alimentación animal excepto los poligástricos y que haya sido obtenida por tratamientos térmicos como: extrusión, tostado, hidrotermia, microondas u otros (NTC 3682, 2006).

De acuerdo con estas condiciones y con los resultados registrados en la tabla anterior habría que decir que para el índice de ureasa el grano de *Cajanus sp* tostado está muy por encima de la NTC 3682 y NTC 3716. El grano crudo estuvo por fuera de las disposiciones para la inactivación de los inhibidores de tripsina, por otro lado el grado sometido a cocción estuvo ajustado al cumplimiento de dos parámetros (Índice de ureasa e inhibidores de tripsina) mientras que el grano tostado solo atendió la norma que existe para la soya integral. Finalmente las tres presentaciones del grano de *Cajanus sp* no cumplieron con ambas normas para la proteína soluble en KOH al 0,2%.

Vale la pena indicar que siempre se ha considerado que en productos de la soya la inactivación de los inhibidores de tripsina es el parámetro directo para evaluar la eficiencia del proceso térmico, mientras que el índice de ureasa es un parámetro indirecto. Existe evidencia que la ureasa es una proteína común en los granos de leguminosas (Balasubramanian y Pomuraj, 2008; Das y Kayastha, 1998; Das, Kayastha y Malhotra, 2005), razón por la cual parecería que el índice de ureasa es un indicador aceptado. No obstante su fácil aplicación y uso difundido ha sido cuestionado porque no parece guardar relación alguna con los parámetros de desempeño en pollos de engorde. No obstante que con información procedente de bases de datos para torta de soya comercial se ha logrado establecer una asociación elevada entre la actividad de la ureasa y los inhibidores de la tripsina (R^2 por encima de 0,80), no se ha podido identificar lo mismo con el grano integral (en cualquier presentación) puesto que los valores de R^2

apenas alcanzaron 0,17 para todas las presentaciones y diferentes condiciones de proceso, aumentando hasta 0,98 con muestras, también de soya integral pero seleccionadas de una sola planta de procesamiento y con un solo equipo de extrusión húmeda (Ruíz, 2012). Sí entre los productos de la soya esta situación es variable, no resulta fácil la aplicación y la interpretación del índice de ureasa para el grano de *Cajanus sp*.

La solubilidad de la proteína en KOH al 0,2% es un indicador de control de calidad del proceso térmico, aplicable a la soya integral y a la torta de soya. El alcance de este indicador sugiere que con él se determina el grado de procesamiento al cual fue sometido el frijol de soya y sus subproductos o para conocer sí el grado de cocción fue suficiente o excesivo. De acuerdo con las NTC el valor mínimo de este indicador debe ser 75%. Al igual que con el índice de ureasa la NTC establece un valor mínimo para la solubilidad de la proteína pero no sugiere categorías u otros criterios de calificación. Existen, sin embargo, interpretaciones sugeridas por algunos autores. Así por ejemplo, se ha postulado que en los granos crudos el valor de la solubilidad podría ser cercano a 100%, valor que debería disminuir a medida que el grano se somete a procesamiento térmico. Los valores inferiores a 75% son indicativos de sobrecalentamiento, en tanto que cuando superan 85% corresponden a granos y productos de soya subprocesados. Sí éstos son superiores a 90% se estaría hablando de muestras crudas o de proteínas que no sufrieron desnaturalización. De igual forma se ha señalado que el procesamiento es óptimo cuando este indicador varía entre 75% y 85% (Machado, 1997). Sí a los granos estudiados se les aplicara las NTC 3716 de 2002 y 3682 de 2006 se podría concluir que los valores de solubilidad de la proteína en KOH estuvieron por debajo del valor mínimo establecido para torta de soya y soya integral. El punto que quedaría por responder es sí este indicador resulta aplicable a granos de leguminosas diferentes al de la soya como son los del *Cajanus sp* utilizado en este experimento. Como se verá para la *Mucuna sp*, la proteína soluble en KOH presentó un comportamiento diferente, razón por la cual habría espacio para una reflexión en la cual se podría plantear la posibilidad de comportamientos diferenciados de este indicador entre los diversos granos de leguminosas.

Al igual como se planteará con *Mucuna sp* se compararon los resultados obtenidos en el experimento asociado con este informe con los generados por Ruíz (2015). En la siguiente tabla se presenta la información de la composición química y de algunos parámetros de calidad de granos de *Cajanus sp* evaluados en el trabajo de Ruíz (2015). Esta comparación resulta pertinente porque en ambos estudios se utilizaron los mismos granos de *Cajanus sp*.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Tabla 5-2. Composición química y algunos indicadores de control de calidad de proceso térmico para granos de *Cajanus sp* (Valores expresados en porcentaje en base tal cual) (Ruíz, 2015)

Análisis	<i>Cajanus sp</i>		
	Crudo	Cocido	Tostado
Humedad y otras materias volátiles	13,40	3,30	11,00
Proteína cruda (N*6,25)	18,75	20,00	17,50
Contenido de grasa	1,42	1,18	1,79
Fibra cruda	7,80	8,70	7,80
Cenizas	3,85	3,10	3,95
Calcio	0,08	0,10	0,08
Fósforo	0,13	0,28	0,28
Actividad ureásica (Δ pH)	1,97	0,02	1,87
Proteína Soluble en KOH al 0,2% (%)	89,4	38,6	81,8

Una comparación global de los resultados procedentes de ambos estudios permite establecer que se presentaron diferencias en la composición química, con algunas diferencias en el Ca y en la grasa, pero muy marcadas para la proteína cruda y la fibra cruda. Estas diferencias se pueden explicar si se considera que, a pesar de tratarse de un grano procedente del mismo origen, los granos de este estudio estuvieron en almacenamiento a temperatura ambiente y libre de humedad durante varios meses antes de haberse ejecutado los análisis en el mismo laboratorio, se trataría entonces de muestras diferentes usadas en los dos estudios.

Las diferencias, bastante marcadas por lo demás, se observan en la actividad ureásica y, principalmente, en los valores de la proteína soluble en KOH. Estas diferencias podrían explicarse asumiendo que es válido el planteamiento expuesto en el párrafo previo, pero además en la posible existencia de diferencias en los procesos de cocción y de tostado empleados en ambos estudios.

5.1.2. Composición química analizada y valor calorífico bruto de las dietas utilizadas en el experimento de *Cajanus sp*.

En la tabla 5-3 se registran los resultados de los análisis de las dietas realizados en el Laboratorio de Bromatología y Análisis Químico de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Tabla 5-3. Composición química (expresada en porcentaje) y contenido de energía de las dietas experimentales (Valores expresados en base seca)

Análisis	Tratamiento						
	DR	Inclusión 10 %			Inclusión 20 %		
		T5	T6	T7	T11	T12	T13
Humedad y otras materias volátiles	12,20	12,00	10,90	11,60	11,60	11,30	11,90
Materia seca	87,80	88,00	89,10	88,40	88,40	88,70	88,10
Nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda (PC)	22,10	20,40	20,80	22,10	21,40	20,90	22,60
Contenido de grasa	4,52	4,23	4,77	4,22	4,27	3,93	4,00
Fibra cruda	3,50	4,10	5,00	4,60	4,70	4,30	4,30
Cenizas	7,96	7,60	7,25	4,12	7,23	6,53	7,79
Ca	1,38	1,42	1,18	1,04	1,19	1,13	1,35
P	0,80	0,79	0,72	0,73	0,76	0,70	0,79
Valor calorífico bruto (cal/g)	4365	4364	4431	4422	4411	4347	4372

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

En términos porcentuales las mayores diferencias entre los valores extremos entre las dietas fueron 48,24; 30,00; 26,76; 17,61 y 12,50 para las cenizas, fibra cruda, Ca, contenido de grasa y P respectivamente. Estas diferencias se pueden atribuir fundamentalmente al proceso de preparación de las dietas el cual se realizó en una mezcladora que si bien es de baja capacidad de mezclado y responde a las exigencias de preparación de pequeñas cantidades de dieta se utiliza en la preparación de premezclas de minerales. La diferencia entre los valores extremos entre las dietas para cada uno de los análisis se indicó la siguiente tabla.

Tabla 5-3-1. Diferencias entre los valores extremos de los análisis de la composición química del grano de *Cajanus sp*

Análisis	Diferencia en unidades entre los valores extremos	Diferencia en %
✓ Humedad y otras materias volátiles	1,30	10,65
✓ Materia seca	1,30	1,45
✓ Nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda (PC)	1,70	7,69
✓ Contenido de grasa	0,84	17,61
✓ Fibra cruda	1,50	30,0
✓ Cenizas	3,84	48,24
✓ Ca	0,38	26,76
✓ P	0,10	12,50
✓ Valor calorífico bruto	84,00	1,89

5.1.3. Análisis de la ganancia de peso acumulada (GPA).

El análisis de la regresión lineal del peso al inicio cuando los pollos aun no habían iniciado el consumo de los tratamientos (variable independiente) no tuvo influencia sobre el peso cuando se inició la fase de adaptación de la etapa experimental (peso final) ($P > 0,63$; R^2 ajustado 0,0089; CV de 6,30%).

En la tabla 5-4 se presentan los valores promedio para la GPA durante el período de evaluación según los tratamientos térmicos a los cuales se sometió el grano de *Cajanus sp* y al nivel de inclusión en las dietas experimentales.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Tabla 5-4. Análisis para la ganancia de peso acumulada (GPA) en los animales alimentados con los granos de *Cajanus sp* sometidos a diferentes tratamientos térmicos y con dos niveles de inclusión

TRATAMIENTO			Ganancia de Peso Acumulada GPA (g)
T 5.	Grano crudo.	10%	153,54
T 6.	Grano tostado.	10%	181,00
T 7.	Grano cocido.	10%	168,78
T 11.	Grano crudo.	20%	150,22
T 12.	Grano tostado.	20%	183,50
T 13.	Grano cocido.	20%	183,50
Proceso térmico			
	Crudo		64,39 ^b
	Tostado		176,14 ^a
	Cocido		164,65 ^a
Nivel de inclusión			
	10%		132,78
	20%		137,34

^{a,b.} Dentro de cada factor los valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes ($P < 0,05$)

Para la DR los valores para la GPA fueron 185,93 g; 10,11 g y 5,44% para el promedio, la desviación y el CV.

Para el grano de *Cajanus sp* el modelo del análisis de varianza con respecto a la GPA presentó diferencia significativa ($P < 0,0022$; R^2 0,62), con un bajo CV (7,33%). De los factores estudiados solo el tipo de procesamiento térmico tuvo efecto sobre la GPA ($P < 0,0003$).

Según los resultados de la tabla anterior se puede observar que los pollos que recibieron los granos procesados, bien sea tostados o cocidos, ganaron más peso (en promedio 106 g) que aquellos que fueron alimentados con el grano crudo, pero entre ambos procesos térmicos no se presentó diferencias. Por otro lado, no se presentó diferencia en la GPA entre los pollos que recibieron las dietas con 10% o 20% de inclusión de los granos en las dietas, independientemente del proceso que recibieron ($P > 0,8425$), como tampoco hubo diferencia en esta variable para los tratamiento resultantes de la interacción entre el proceso térmico y el nivel de inclusión ($P > 0,4989$).

De acuerdo con lo registrado en el párrafo anterior se puede deducir que el proceso térmico mejoró la GPA, pero no hubo diferencia entre los dos procesos utilizados. De igual manera el nivel de inclusión del grano en la DR así como la interacción entre estos

dos factores no afectó esta variable de respuesta. Una perspectiva de análisis para la GPA es mediante el estudio del consumo de alimento tanto en la etapa de adaptación como de recolección como se analizará a continuación.

5.1.4. Análisis de las variables relacionadas con el consumo.

55

5.1.4.1. Consumo de dieta.

En la conducción de los experimentos con aves tendientes a la estimación de la EM, la digestibilidad o la disponibilidad relativa el esquema de oferta de las dietas es controlada pero no restringida, situación semejante se presenta en general con las mismas condiciones experimentales. Lo anterior puede arrojar resultados diferentes en el consumo con respecto a los que se presentarían en las condiciones comerciales. Al mismo tiempo es apropiado plantear que los valores de EM, de digestibilidad o de disponibilidad reflejan la respuesta de los animales a las condiciones que acompañaron los experimentos y, obviamente, la misma oferta de la dieta.

Si bien el proyecto no se diseñó ni ejecutó atendiendo el esquema de una prueba de alimentación, en la determinación de la EM de un alimento es importante llevar un control riguroso de la oferta de la dieta (cantidad y frecuencia), la cuantificación de los rechazos y desperdicios de la misma, lo que en la literatura se denomina las pérdidas, y el registro de esta información. En este experimento por las características de las baterías donde se alojaron las aves no fue posible medir el desperdicio, razón por la cual ésta no se tuvo en cuenta en la determinación del consumo. En virtud de esta condición no es posible establecer cuál fue el peso específico que el desperdicio cargó sobre la estimación del consumo.

En la tabla 5-5 se registra la información de los valores del consumo de la dieta en la etapa de adaptación y recolección del período experimental.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Tabla 5-5. Valores del consumo acumulado de la dieta 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
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 ²	0,775	0,2528
Coefficiente de Variación (%)	5,35	5,7777
Raíz MSE	60,98	84,6321
Proceso térmico		
Crudo	1038,38 ^b	1486,63
Tostado	1198,88 ^a	1413,50
Cocido	1181,00 ^a	1494,25
Nivel de inclusión		
10%	1094,00 ^b	1461,08
20%	1184,83 ^a	1468,50

^{a,b} Dentro de cada factor los valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05)

En la primera el análisis de varianza mostró que el modelo seleccionado (efecto del proceso térmico, efecto del nivel de inclusión y la interacción entre éstos) fue significativo (P<0,0001). Al analizar el efecto del proceso térmico se pudo establecer que los pollos alimentados con el grano crudo de *Cajanus sp* presentaron menor nivel de consumo de la dieta que aquellos que recibieron el grano cocido o tostado, no existiendo diferencia entre estos dos procesos. La comparación del consumo por el nivel de inclusión sugiere que con el 20% el consumo acumulado de la dieta fue casi 91 g superior al alcanzado con la dieta con 10% de inclusión.

En la etapa de recolección (Consumo 2) el análisis de varianza mostró que el modelo seleccionado no fue significativo (P>0,3487; con R² 0,25 y 6,38% de CV). El consumo de alimento no presentó diferencia debido al proceso térmico, el nivel de inclusión y la interacción entre ambos factores. Estos resultados indican que en la etapa de recolección el consumo de la dieta no fue diferente entre los distintos tratamientos, por lo que se podría estipular que si en las otras variables, incluyendo la EM de las dietas y del mismo grano de *Cajanus sp*, se presentan diferencias, éstas no se podrían atribuir a la incidencia del consumo de la dieta.

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

En la tabla 5-6 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).

Tabla 5-6. Valores promedio para el consumo acumulado de materia seca, nitrógeno y energía bruta de la dieta 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 ²	0,2528	0,5056	0,1324
Coeficiente de Variación (%)	63,30	6,31	7,95
Raíz MSE	293,30	2,775	444.659
Proceso térmico			
Crudo	387,60	43,342 ^b	5765,90
Tostado	340,40	41,534 ^b	5556,00
Cocido	361,90	46,899 ^a	5446,00
Nivel de inclusión			
10%	471,50	43,322	5571,50
20%	455,10	44,528	5607.00

^{a, b} Valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05)

Según los resultados del análisis de varianza no fue significativo el modelo propuesto para el CMS y CEB (P>0,3406 y P>0,7366, respectivamente). Otra fue la situación del análisis de varianza para el 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 que los de los otros tratamientos, no presentándose diferencia en esta variable entre los que consumieron el grano crudo o tostado.

5.1.5. Rechazo de materia seca, nitrógeno y energía.

En la tabla 5-7 se resume la información relacionada con los resultados del análisis del efecto del proceso térmico, el nivel de inclusión del *Cajanus sp* y de la interacción entre estos dos factores sobre el rechazo de materia seca, nitrógeno y energía bruta de las dietas ofrecidas.

Tabla 5-7. Valores promedio para el rechazo acumulado de materia seca, nitrógeno y energía bruta de la dieta 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 ²	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

Para estas tres variables el análisis de varianza mostró que el modelo utilizado no fue significativo; de igual manera ni el proceso térmico, ni el nivel de inclusión del grano en la DR, ni la interacción entre estos dos factores incidió en el nivel del rechazo de la MS, el N y la EB de las dietas ofrecidas.

5.1.6. Análisis de las variables relacionadas con las excretas producidas.

En la tabla 5-8 se presentan los resultados procedentes de los análisis de las variables utilizadas en el experimento para las excretas producidas.

Tabla 5-8. Valores promedio acumulados para las variables asociadas con la producción de excretas, materia seca, nitrógeno y energía bruta excretada.

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 ²	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 ^a	1603,1305
Tostado	1887,15	486,05	18,7240 ^c	1475,7321
Cocido	1969,36	514,43	20,5036 ^b	1405,6726
Nivel de inclusión				
10%	1939,55	506,837	20,8046	1361,07 ^b
20%	1938,28	497,309	20,2325	1628,61 ^a
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

^{a,b,c} 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 anterior se puede establecer que la producción total de excretas fue la única variable en la cual el modelo propuesto no fue significativo. En virtud de lo anterior se puede establecer que para la misma no hubo efecto del proceso térmico, del nivel de inclusión del grano de *Cajanus sp* en la DR y de la interacción entre ambos factores. Para las otras variables, esto es la materia seca, el

Nitrógeno y la Energía Bruta excretada, fue significativo el modelo de análisis estadístico seleccionado, identificándose además que fueron bajos los valores de los CV.

Para la materia seca excretada se presentó efecto de la interacción entre el proceso térmico y el nivel de inclusión del grano en la DR, no hubo efecto del nivel de inclusión del grano de *Cajanus sp*, en tanto el proceso térmico tendría efecto al nivel de probabilidad del 0,0562. El análisis específico de la interacción indicó que el T12 (Grano tostado al 20% de inclusión) generó la menor materia seca excretada, pero no se presentó diferencia entre los otros tratamientos.

En cuanto al Nitrógeno excretado hubo efecto del proceso térmico y de la interacción de este factor con el nivel de inclusión del grano en la DR. La menor excreción del nitrógeno fue para las dietas con grano tostado, seguida por aquellas con el grano cocido y, como era de esperarse basado en la hipótesis de trabajo, el nivel más alto de excreción se generó con las dietas con el grano crudo.

Para la energía bruta excretada fue significativo el modelo de análisis propuesto. De los tres efectos considerados solo el nivel de inclusión del grano en la DR ejerció efecto sobre la EMAn: pasar de 10 al 20% produjo el aumento en 268 kcal de energía bruta excretada.

5.1.7. Análisis del balance de nitrógeno y de la energía bruta.

En el proyecto de investigación propuesto se indicó que la EM del grano de *Cajanus sp*, en su presentación cruda y procesada, se determinaría como aparente con balance de nitrógeno (EMAn). Varios investigadores citados por Lopez 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 los datos a la misma base de equilibrio de nitrógeno y permitir su comparación. En la tabla 19 se registran los resultados procedentes del análisis del balance de nitrógeno y de la energía bruta.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Tabla 5-9. Valores promedio para el balance de nitrógeno y de energía bruta de las dietas evaluadas.

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 ²			0,6317	0,1810
Coeficiente de Variación (%)			10,74	7,73
Raíz MSE			2,5158	316,802
Proceso térmico				
Crudo			21,013 ^b	4162,73
Tostado			22,810 ^b	4080,31
Cocido			26,395 ^a	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

^{a,b} Dentro de cada factor los valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05)

Como era de esperarse, para las condiciones de operación del ensayo y la etapa de crecimiento en la que se encontraban las aves, en todos los casos los balances de nitrógeno y de energía bruta fueron positivos. No obstante, los resultados de los análisis de varianza muestran que fue diferente el comportamiento de ambos balances. El modelo de análisis propuesto fue significativo para el balance de nitrógeno (P<0,0017) pero no para el de la energía bruta (P>0,5666), razón por la cual en este último no se podía esperar efecto del proceso térmico, del nivel de inclusión y de la interacción entre ambos factores.

Para el balance de nitrógeno se presentó efecto del proceso térmico y de la interacción entre éste y el nivel de inclusión, pero el nivel de inclusión en nada modificó el balance en referencia. La comparación de los resultados indica que los pollos que recibieron las dietas con el grano cocido de *Cajanus sp* tuvieron un balance de nitrógeno mayor que aquellos que accedieron a las dietas con grano crudo o tostado, no existiendo manera de diferenciar el balance de nitrógeno entre los pollos con estas dos últimas dietas, lo cual

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

significa que el grano crudo no afectó de forma negativa esta variable, pero tostarlo no la mejoró o lo que es lo mismo posiblemente las condiciones del tostado no favorecieron dicho balance.

5.1.8. Estimación del valor de la energía metabolizable aparente con balance de nitrógeno (EMAn) de las dietas del experimento con el grano de *Cajanus sp*.

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

Tabla 5-10. Valores de energía metabolizable aparente con balance de nitrógeno (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 ²		0,4684
Coeficiente de Variación (%)		3,8252
Raíz MSE		0,1176
Proceso térmico		
Crudo		3003,27
Tostado		3109,90
Cocido		3112,62
Nivel de inclusión		
10%		3138,35 ^a
20%		3000,70 ^b
Efecto del proceso		0,0587
Efecto del nivel		0,0055
Efecto de la interacción (Proceso*Nivel)		0,4710

^{a,b} Dentro de cada factor los valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05)

Como se observa en la información contenida en la tabla precedente el modelo lineal general propuesto para el análisis de la EMAn de las dietas fue significativo, presentó un aceptable valor de R^2 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 nivel de inclusión afectó el valor de la EMAn de la dieta. Al duplicarse el nivel de inclusión del grano cae la concentración de la EM de la dieta en más de 130 kcal/kg de MS. Sería importante intentar otros análisis estadísticos para estudiar el posible efecto del tipo de proceso térmico aplicado al grano porque la aplicación del GLM sugiere que éste se presentaría con un nivel de probabilidad del 0,0587, valor que estaría próximo al 0,05 aceptado por las disposiciones de la inferencia estadística.

5.1.9. Estimación del valor de la energía metabolizable aparente con balance de nitrógeno (EMAn) del grano de *Cajanus sp*.

La tabla 5-11 recoge la información relacionada con los valores de la EMAn del grano de *Cajanus sp* evaluado en este ensayo.

Tabla 5-11. 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 ²	0,6457
Coeficiente de Variación (%)	17,485
Raíz MSE	0,4820
Efecto del proceso	0,0057
Efecto del nivel	0,0045
Efecto de la interacción (Proceso*Nivel)	0,4790
Proceso térmico	
Crudo	2286,20 ^b
Tostado	2945,50 ^a
Cocido	3115,90 ^a
Nivel de inclusión	
10%	3072,80 ^a
20%	2471,70 ^b
Relación entre los Valores de EMAn/Valor calorífico bruto (%)	
Proceso térmico	
Crudo	52,84
Tostado	67,79
Cocido	69,99

Con base en la información registrada en la tabla anterior 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 puede decir que 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 se deduce 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 grano crudo 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 en 660 y 830 kcal/kg de MS la EMAn cuando el grano se tostó o se cocinó, no pudiéndose identificar diferencia en el efecto entre ambos procesos.

En cuanto al efecto del nivel de inclusión el trabajo permitió establecer que la EMAn del grano disminuyó en 601,1 kcal/kg de MS cuando su nivel de inclusión 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 anterior 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, el almidón y otros polisacáridos. El almidón es el carbohidrato más abundante de estas leguminosas, la amilosa puede constituir un componente significativo del almidón que se sitúa desde el 46% (garbanzo y lentejas) hasta el 34% (guisantes y habas) (Brenes y Brenes, 1993).

Esta leguminosa se caracteriza por su importante contenido de proteínas y carbohidratos, sin embargo su potencial es limitado por el efecto que imponen los factores antinutricionales (FNA). Este efecto se agrava especialmente en los animales monogástricos, por carecer de la acción protectora que brinda una degradación como la ruminal (Belmar y Nava, 2005).

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.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

En un trabajo citado por León *et al* (1992), en gallos adultos con granos de guandul suministrados en forma pura (100%) o en una mezcla con 50% de maíz Yoshida (1972), describió que la Energía Metabolizable Verdadera corregida por el balance de nitrógeno (EMVn) fue 2684 ± 220 y 2987 ± 91 (kcal/kg MS). El análisis estadístico de la comparación de los valores de energía indicó que no hubo diferencia entre los valores determinados.

5.2. Grano de *Mucuna sp*

5.2.1. Composición química y algunos indicadores de calidad de proceso en el grano.

En la tabla 5-12 se presentan los resultados de algunas variables de composición química e indicadores de la calidad de proceso aplicado a los granos de *Mucuna sp*.

Tabla 5-12. Composición química e indicadores de proceso para el grano crudo, cocido y tostado de *Mucuna sp* usados en el experimento (Valores expresados en base seca).

Análisis	<i>Mucuna sp</i>			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 <i>et al</i> (2009); Adebawale <i>et al</i> (2005)
Contenido de grasa (%)	2,76	3,60	2,87	3,86; 6,37; 8,72	Sesma <i>et al</i> (2009); Castaño (2006); Adebawale <i>et al</i> (2005)
Fibra cruda (%)	8,40	12,50	9,20	3,70; 5,79; 11,00	Castaño (2006); Adebawale <i>et al</i> (2005); Sesma <i>et al</i> (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		
Índice de ureasa (Δ pH)	0,064	0,009	0,074		0,15. Máximo NTC 3682 (Torta de soya) (2006) 0,15. Máximo. NTC 3716 (Soya integral) (2002)
Inactivación de inhibidores de Tripsina (mg IT/g)	2,49	1,11	2,08		3 mg/kg. Máximo NTC 3682 (Torta de soya) (2006) 5 mg/kg. Máximo NTC 3716 (Soya integral) (2002)
Proteína Soluble en KOH al 0,2% (%)	65,3	60,4	59,8		75. Mínimo NTC 3682 (Torta de soya) (2006) 75. Mínimo. NTC 3716 (Soya integral) (2002)

De manera global los resultados registrados en la tabla anterior muestran que la información de las fracciones químicas analizadas en el estudio se ciñe de forma cercana a la disponible en la literatura, a su vez llama la atención que los registros tomados de la literatura muestran que el grano de *Mucuna* presenta una composición química altamente variable en tres componentes estratégicos: la proteína cruda, el contenido de grasa y la fibra cruda. Para el caso específico del experimento llama la atención la variación en los valores de fibra cruda entre los tres tipos de granos, la cual no parece explicarse a partir de los procesos aplicados.

Sí se aplicaran los valores del índice de ureasa y la inactivación de los inhibidores de tripsina de las Normas Técnicas Colombianas para la torta de soya (3682 de 2006) y soya integral (3716 de 2002) al grano de mucuna en sus tres presentaciones se observa que fueron menores a los máximos aceptados por dichas normas (0,15 Δ pH y 3 mg IT/g para el índice de ureasa y los inhibidores de tripsina inactivados). Al contrario la solubilidad de la proteína en KOH indica que los granos de mucuna presentaron valores menores al valor mínimo de 75% establecido en dichas normas.

Desde el punto de vista de la evaluación de la calidad de proceso o control al proceso térmico en productos de soya existen tres variables que se emplean: la inactivación de los inhibidores de tripsina, la actividad ureásica y la proteína soluble en KOH al 0,2%. Existe además otro criterio evaluación como lo es la disponibilidad *in vitro* de la lisina; no obstante éste habitualmente es de uso y comprensión limitada. En general la normatividad que existe en Colombia al respecto de este tema es clara al señalar que estos son indicadores del procesamiento a que fue sometido el frijol soya y sus subproductos (NTC 771 del 2000; basada en la AOCs Ba 9-58 de 1987) o para conocer sí el grado de cocción fue suficiente o excesivo. A diferencia de las anteriores la NTC 3682 (2006) no expresa esta misma intención; en ella señala se *establecen los requisitos que debe cumplir la soya integral utilizada en alimentación animal excepto los poligástricos y que haya sido obtenida por tratamientos térmicos como: extrusión, tostado, hidrotermia, microondas u otros.*

Como se observa en la última columna de la tabla 5-12 para estos indicadores existen valores de referencia normativos aplicados al grano de soya y a algunos productos derivados de ella. La normatividad disponible es taxativa al indicar los valores máximos y mínimos que se deben atender. La normatividad no introduce criterios de calificación de acuerdo con los valores obtenidos. No obstante algunos autores (Dudley-Cash, sf; Machado, 1997) por ejemplo señalaron que en los granos crudos los valores del delta de pH son superiores a 0,8, en subprocesos éstos oscilan entre 0,5 y 0,8, en tanto que en sobrecalentamiento el delta de pH puede ser inferior a 0,05, considerándose que un procesamiento óptimo se encuentra entre 0,08 y 0,3.

Existe evidencia que la ureasa es una proteína común en los granos de leguminosas (Balasubramanian y Pomuraj, 2008; Das y Kayastha, 1998; Das, Kayastha y Malhotra, 2005). El asunto es que no es fácil la aplicación y la interpretación del índice de ureasa para el grano de *Mucuna*. Si este índice se aplicara tal cual opera en la soya habría que decir de acuerdo con las cifras obtenidas (0,064; 0,009 y 0,074) que el proceso aplicado no parece acompañarlo. En el análisis de estos resultados habría que indicar que desde 1914 Anneth registró que en este tipo de leguminosas es manifiesta la ausencia de ureasa, lo cual explicaría el bajo nivel de sensibilidad en la aplicación del índice de ureasa en la mucuna cruda o procesada.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Vale la pena puntualizar que siempre se ha considerado que la inactivación de los inhibidores de tripsina es el parámetro directo para evaluar la eficiencia del proceso térmico, mientras que el índice de ureasa no obstante su fácil determinación y uso difundido es un parámetro indirecto y cuestionado por diversos investigadores porque no parece guardar relación alguna con los parámetros de desempeño en pollos de engorde (Ruíz, 2012).

La solubilidad de la proteína en KOH al 0,2% es un indicador de control de calidad del proceso térmico, aplicable a la soya integral y a la torta de soya. El alcance de este indicador sugiere que con él se determina el grado de procesamiento al cual fue sometido el frijol de soya y sus subproductos o para conocer si el grado de cocción fue suficiente o excesivo. De acuerdo con las NTC el valor mínimo de este indicador debe ser 75%. Al igual que con el índice de ureasa la NTC establece un valor mínimo para la solubilidad de la proteína pero no sugiere categorías u otros criterios de calificación. Existen, sin embargo, interpretaciones sugeridas por algunos autores. Así por ejemplo, se ha postulado que en los granos crudos el valor de la solubilidad podría ser cercano a 100%, valor que debería disminuir en la medida en que el grano se somete a procesamiento térmico. Los valores inferiores a 75% son indicativos de sobrecalentamiento en tanto que cuando superan 85% corresponden a granos y productos de soya subprocesados. Si éstos son superiores a 90% se estaría hablando de muestras crudas o de proteínas que no sufrieron desnaturalización. De igual forma se ha señalado que el procesamiento es óptimo cuando este indicador varía entre 75% y 85% (Machado, 1997).

Si a los granos estudiados se les aplicara las NTC 3716 de 2002 y 3682 de 2006 se podría concluir que los valores de solubilidad de la proteína en KOH en el grano de mucuna estuvieron por debajo del valor mínimo y fueron semejantes tanto en el grano crudo como en el procesado.

Merece especial atención comparar los resultados obtenidos en el experimento asociado con este informe con los generados por Ruíz (2015). En la siguiente tabla (5-13) se presenta la información de la composición química y algunos parámetros de calidad de granos de *Mucuna sp* evaluados en el trabajo de Ruíz (2015).

Tabla 5-13. Composición química y algunos parámetros de control de calidad de proceso térmico para granos de *Mucuna sp* (Valores expresados en porcentaje en base tal cual) (Ruíz, 2015)

Análisis	<i>Mucuna sp</i>		
	Crudo	Cocido	Tostado
Humedad y otras materias volátiles	9,60	3,50	5,60
Proteína cruda (N*6,25)	24,37	25,60	25,60
Contenido de grasa	3,04	3,00	2,96
Fibra cruda	7,10	8,60	8,20
Cenizas	3,25	3,05	3,55
Calcio	0,08	0,099	0,08
Fósforo	0,36	0,36	0,36
Actividad ureásica (Δ pH)	0,01	0,01	0,02
Proteína Soluble en KOH al 0,2% (%)	91,30	43,00	53,80

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Una comparación global de los resultados procedentes de ambos estudios permite establecer que en cuanto a la composición química la principal diferencia se observó en los valores de fibra cruda, los cuales fueron mayores en este estudio que en el realizado por Ruíz (2015); pero la mayor diferencia se observa en los valores de proteína soluble en KOH, diferencia que es inexplicable considerando que en ambos estudios se utilizaron los mismos granos sometidos a condiciones semejantes de cocción y tostado, sin embargo cabe mencionar que los granos de este estudio estuvieron en almacenamiento a temperatura ambiente y libre de humedad durante varios meses antes de haberse ejecutado los análisis en el mismo laboratorio.

5.2.2. Composición química analizada y valor calorífico de las dietas utilizadas en el experimento con *Mucuna sp*.

En la tabla 5-14 se presentan los resultados de los análisis de las dietas realizados en el Laboratorio de Bromatología y Análisis Químico de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Tabla 5-14. Composición química (expresada en porcentaje) y contenido de energía de las dietas experimentales del estudio con *Mucuna sp* (Valores expresados en base seca)

Análisis	Tratamiento						
	DR	Inclusión 10 %			Inclusión 20 %		
		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

La diferencia entre los valores extremo entre las dietas para cada uno de los análisis indica la siguiente tabla:

Tabla 5-14-1. Diferencias entre los valores extremos de los análisis de la composición química del grano de *Mucuna sp*

Análisis	Diferencia en unidades entre los valores extremos	Diferencia en %
✓ Humedad y otras materias volátiles	0,80	0,65
✓ Materia seca	0,80	0,90
✓ Nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda (PC)	2,60	11,76
✓ Contenido de grasa	0,39	8,49
✓ Fibra cruda	1,10	23,91
✓ Cenizas	0,26	3,27
✓ Ca	0,30	21,13
✓ P	0,10	12,50
✓ Valor calorífico bruto	68,0	1,55

En términos porcentuales las mayores diferencias entre los valores extremos entre las dietas fueron 23,91; 21,13; 12,50; 11,76 y 8,49 para la fibra cruda, Ca, P, proteína cruda y contenido de grasa respectivamente. Estas diferencias se pueden atribuir fundamentalmente al proceso de preparación de las dietas el cual se realizó en una mezcladora que no obstante es de baja capacidad de mezclado se utiliza en la preparación de premezclas de minerales.

5.2.3. Análisis de la ganancia de peso acumulada (GPA).

Como se indicó en el análisis correspondiente al *Cajanus sp* aunque este ensayo no se asumió como una prueba de alimentación, se registró y analizó el peso al inicio (Peso 1) y al finalizar el período experimental (Peso 2). A continuación se presenta la información de las variables relacionadas con el peso de las aves, el análisis de varianza para el Peso 1 y para el Peso 2, la relación entre ambos y para la ganancia de peso acumulada (GPA).

El análisis de varianza para el Peso 1 muestra que al inicio de la fase experimental los tratamientos arrancaron con pesos semejantes ($P > 0,502$) y bajo coeficiente de variación (3,94%). Para el Peso 2 la situación fue semejante lo que permite considerar que los tratamientos, entendidos como la interacción entre el proceso y el nivel de sustitución de la *Mucuna* en la DR, no generaron pesos finales diferentes ($P > 0,4034$; 3,76% como coeficiente de variación). Para esta variable hubo efecto del proceso ($P < 0,016$) o del nivel de inclusión ($P < 0,0001$). A modo de ilustración se presentan los resultados obtenidos:

Para el efecto del proceso los pesos fueron: 2898,63; 2998,75 y 3080,38 g para el grano tostado, crudo y cocido respectivamente. Solo se presentó diferencia entre el grano cocido y tostado.

Para el efecto del nivel de inclusión del grano de mucuna en la DR: con el 10% el Peso 2 fue 3141,00 g en tanto que con el 20% fue menor (2844,17 g).

Para la variable peso el análisis de varianza mostró que el Peso 2 estuvo afectado por el Peso 1 ($P < 0,0179$); no obstante el valor del coeficiente R^2 fue bajo (0,193) y por ello se puede deducir que la variación en el peso final se podría explicar por la variación en el peso inicial.

Con la información disponible también se realizó el análisis estadístico para la GAP. El análisis de varianza arrojó como resultados destacables que no fue significativo el modelo de análisis propuesto (efecto del proceso térmico, del nivel de inclusión y de la interacción entre estos dos factores) ($P > 0,122$), que el valor de R^2 apenas fue 0,361, pero que la variable presentó un bajo nivel de variación (5,13%). El comportamiento de esta variable no resultó afectado ni por el proceso, ni por el nivel de inclusión del grano de mucuna en la DR, ni por la interacción entre estos dos factores.

A modo de registro informativo se indica que la GAP fue de 193,39; 178,88; 191,20; 193,38; 184,16 y 179,19 g para los pollos que recibieron la dieta de los tratamientos 2, 3, 4, 8, 9 y 10 respectivamente. Si se considera el factor proceso con sus tres niveles las cifras fueron 186,131; 192,29 y 181,67 g para el grano de mucuna crudo, cocido y tostado respectivamente. Si los resultados para esta variable se presentan de acuerdo con el nivel de inclusión del grano de mucuna en una DR la GPA fue 189,583 y 183,804 g para los pollos que recibieron una dieta con 10 o 20% de dicho grano en una DR.

5.2.4. Análisis de las variables relacionadas con el consumo.

En la conducción del experimento no obstante que la oferta de las dietas fue controlada, tanto en su fase de adaptación como de recolección excretas, se consideró importante disponer de información del consumo de la dieta.

Si bien el proyecto no se diseñó ni ejecutó atendiendo un esquema de prueba de alimentación, en la determinación de la EM de un alimento es importante llevar un control riguroso de la oferta de la dieta (en cuanto a cantidad y frecuencia), la cuantificación de los rechazos y los desperdicios de la misma y el registro de la información. En este experimento por las características de las baterías no fue posible cuantificar el desperdicio de la dieta durante el periodo experimental, razón por la cual esta fracción no se tuvo en cuenta en la determinación del consumo; el problema es que en virtud de esta condición no es posible establecer cuál fue el peso específico que el desperdicio cargó sobre la determinación del consumo.

5.2.4.1. Consumo de dieta.

En la tabla 5-15 se registra la información de los valores de consumo de la dieta en la etapa de adaptación y recolección del período experimental.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Tabla 5-15. Valores promedio para el consumo acumulado de la dieta 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
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 ²	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

El análisis de varianza para el período de adaptación identificó que solo hubo efecto del proceso térmico sobre el consumo de la dieta ($p < 0,0378$); no obstante el modelo de análisis propuesto no fue significativo ($p > 0,1713$). Es importante llamar la atención en el valor, relativamente bajo, del coeficiente de variación para la variable en referencia.

En el período de recolección el análisis de varianza mostró que el modelo propuesto tampoco fue significativo, no hubo efecto del proceso térmico ($p > 0,2135$), del nivel de inclusión ($p > 0,7895$), ni de la interacción entre estas dos variables ($p > 0,9910$); al igual que en el período de adaptación fue bajo el coeficiente de variación de esta variable de respuesta.

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

En la tabla 5-16 se registra la información de los valores de consumo de la materia seca, nitrógeno y energía bruta en la etapa de recolección del período experimental.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Tabla 5-16. Valores promedio para el consumo acumulado de materia seca, nitrógeno y energía bruta de la dieta 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 ²			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

En el período de recolección el análisis de varianza mostró que el modelo no fue significativo para las tres variables propuestas de consumo; no obstante, si se aceptase como nivel de probabilidad 0,0748 se podría colegir que fue significativo el modelo propuesto para el consumo de nitrógeno. Para el consumo de materia seca y de energía no hubo efecto del proceso térmico, el nivel de inclusión del grano de mucuna y de la interacción entre estos factores. Es diferente la situación del consumo de nitrógeno siempre y cuando se acepte como válido el nivel de probabilidad indicado antes. En este caso se identifica que el nivel de inclusión del grano de mucuna en la DR incidió sobre dicha variable ($p < 0,0487$): en la medida que aumentó el nivel de inclusión estaría disminuyendo el consumo de nitrógeno. Finalmente es importante llamar la atención en el comportamiento diferenciado del coeficiente de variación de las tres variables: mientras que se puede afirmar que éste fue bajo para el nitrógeno y la energía bruta, lo mismo no aconteció con la materia seca.

5.2.5.Rechazo de materia seca, nitrógeno y energía.

En la tabla 5-17 se resumen los resultados procedentes de los análisis del rechazo acumulado de materia seca, nitrógeno y energía bruta.

Tabla 5-17. Valores promedio para el rechazo acumulado de materia seca, nitrógeno y energía bruta de la dieta 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 ²	0,1612	0,1388	0,174
Coefficiente 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

En el período de recolección el modelo de análisis estadístico no fue significativo para las tres variables analizadas para el componente del rechazo; no hubo efecto del tipo de tratamiento térmico al que se sometió el grano de mucuna, del nivel de inclusión de dicho grano en la DR y de la interacción entre estos dos factores. Un aspecto destacable en el

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

comportamiento de estas variables está relacionado con el elevado valor del coeficiente de variación el cual como se puede identificar en la información de la tabla estuvo por encima del 81%.

5.2.6. Análisis de las variables relacionadas con las excretas producidas.

En la tabla 5-18 se presentan los resultados procedentes de los análisis de las variables utilizadas en el experimento para las excretas.

Tabla 5-18. Valores promedio acumulados para las variables asociadas con las excretas.

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 ²	0,1662	0,1492	0,2748	0,6357
Coeficiente 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 ^b
20%	1915,349	465,175	17,989	1888,27 ^a
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

^{a,b} Dentro de cada factor los valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05)

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

En el período de recolección el modelo de análisis estadístico solo fue significativo para la energía bruta excretada. En general fueron bajos los coeficientes de variación de las cuatro variables en estudio. Para la energía bruta excretada no hubo efecto del tratamiento térmico aplicado al grano pero sí del nivel de inclusión del grano de mucuna en la DR: la inclusión de 20% del grano de mucuna aumentó en 352,18 calorías la excreción de la energía bruta en comparación con lo presentado en los pollos que recibieron la dieta con 10% de inclusión del grano de mucuna. Si se aceptara como válido el nivel de probabilidad de 0,0967 se podría sugerir que es posible que exista efecto de la interacción entre el tratamiento térmico y el nivel de inclusión en la EB. El resumen de las comparaciones se presenta en la tabla 5-18-1.

Tabla 5-18-1. Cuadro resumen de comparaciones de nivel de probabilidad para el efecto de la interacción entre el tratamiento térmico y el nivel de inclusión en la EB para el grano de *Mucuna sp*

Tratamiento	2	3	4	8	9	10
	Inclusión 10 %			Inclusión 20 %		
2		0,0331	0,7788	0,1875	0,1612	0,0041
3	0,0331		0,0184	0,3612	0,0014	0,3379
4	0,7788	0,0184		0,1152	0,2549	0,0022
8	0,1875	0,3612	0,1152		0,0111	0,0707
9	0,1612	0,0014	0,2549	0,0111		0,0002
10	0,0041	0,3379	0,0022	0,0707	0,0002	

Con 10% de inclusión la dieta con grano tostado fue la que presentó menos energía bruta excretada que la utilizó el grano crudo o cocido, sin que hubiese diferencia entre el crudo y el cocido. Al pasar al 20% de inclusión el grano tostado se comportó de manera diferente si se observa que presentó los valores más altos de energía bruta excretada que con el grano crudo o cocido sin que hubiese diferencia entre estos dos.

La comparación de resultados dentro del mismo proceso indica que en el grano crudo no hubo diferencia en esta variable de respuesta cuando se incluyó 10 o 20% en la DR. En las dietas con el grano cocido o tostado hubo diferencia en la excreción de energía bruta por el nivel de inclusión observándose mayor excreción en la medida que éste aumentó.

5.2.7. Análisis del balance de nitrógeno y de la energía bruta.

La tabla 5-19 recoge la información relacionada con el efecto del tipo de tratamiento térmico, el nivel de inclusión del grano de mucuna en la DR y la interacción de estos dos factores sobre el balance de nitrógeno (BLN) y el balance de energía bruta (BLEB).

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Tabla 5-19. Valores promedio para el balance de nitrógeno y de energía bruta 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 ²	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 ^a
20%	23,0439	3823,37 ^b
Efecto del proceso	0,3586	0,8850
Efecto del nivel	0,4908	0,0001
Efecto de la interacción (Proceso*nivel)	0,9002	0,1199

^{a,b} Dentro de cada factor los 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 balance de energía (p<0,0016). Para esta variable solo hubo efecto del nivel de inclusión del grano de mucuna en la DR: la inclusión de 20% disminuyó el balance de energía en 461,99 calorías en comparación con lo presentado en los pollos que recibieron la dieta con 10% de inclusión del grano de mucuna. En general los coeficientes de variación de estas dos variables se pueden considerar bajos.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

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

La tabla 5-20 recoge la información relacionada con los valores de la EMAn de las dietas con el grano de *Mucuna sp*.

Tabla 5-20. Valores de Energía Metabolizable Aparente con Balance de Nitrógeno (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 ²		0,6883
Coeficiente 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 ^a
20%		2838,02 ^b
Efecto del proceso		0,2086
Efecto del nivel		0,0001
Efecto de la interacción (Proceso*Nivel)		0,0571

^{a,b} Dentro de cada factor los valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05)

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 5-21 que se presenta a continuación, indicando que ella también es válida para el análisis del *Cajanus sp*.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Tabla 5-21. 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 DR				
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	3146,39 ± 0,04032	3271,20	3271 ± 0,008	3463,9	3250
Referencia	Londoño (2016)	Castaño (2006)	González (2002)	Londoño y Villalba (2006)	Marín y Ruíz (2005)

Ingrediente	Composición centesimal de la DR				
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	3440 kcal/kg MS	3315,42 kcal/kg MS	3253 kcal/kg MS	3233,45kca l/kg MS	3067 ± 44,4 kcal/kg MS
Referencia	Montoya y Rodríguez (2005)	Medina y Jiménez (2005)	Posada (2002)	Rueda (2016)	Uribe (2000)

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 anterior presentaron valores que oscilaron entre $3067 \pm 44,4$ kcal/kg de MS, para un estudio 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 corresponde a $396,9$ kcal/kg de MS, que corresponde a $11,46\%$, el cual se puede considerar bajo. En el experimento que hizo parte de esta tesis de maestría la EMAn de la DR fue $3285,89 \pm 0,043$, valor que se encuentra próximo al promedio de los trabajos referenciados ($3271,08$).

De acuerdo con los registros de la tabla 30 se puede establecer que fue significativo el modelo análisis estadístico. En cuanto a los resultados generados en el estudio se pudo establecer que no hubo efecto del proceso, pero si del nivel de inclusión del grano en la DR. La interacción entre estos dos factores es significativa solo si se acepta el nivel de probabilidad que arrojó el análisis estadístico ($p < 0,0571$). Con respecto al efecto del nivel de inclusión se puede estimar la disminución de más de 300 kcal/kg de MS de la dieta cuando el nivel de inclusión del grano de *Mucuna* pasó del 10 al 20%.

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

La tabla 5-22 recoge la información relacionada con los valores de la EMAn del grano de *Mucuna sp* evaluado en este ensayo.

De acuerdo con los resultados registrados en la tabla 5-22, 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 que 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.

Evaluación de los efectos de procesos térmicos aplicados a granos de Guandul (*Cajanus sp*) y Vitabosa (*Mucuna sp*) sobre la energía metabolizable en pollos de engorde

Tabla 5-22. 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 ²	0,5401
Coefficiente de Variación (%)	19,6817
Raíz MSE	0,4300
Efecto del proceso	0,1725
Efecto del nivel	0,0223
Efecto de la interacción (Proceso*Nivel)	0,0870
Proceso térmico	
Crudo	1923,10
Tostado	2178,00
Cocido	2387,20
Nivel de inclusión	
10%	2432,30 ^a
20%	1938,10 ^b
Relación entre los valores de EMAn/Valor calorífico bruto (%)	
Proceso térmico	
Crudo	44,44
Tostado	50,13
Cocido	53,55

^{a,b} Dentro de cada factor los valores promedio con letras diferentes en la misma columna son diferentes (P<0,05)

6. Conclusiones y recomendaciones

Este estudio se realizó dentro de la hipótesis según la cual la aplicación de dos procesos térmicos (cocción y tosato), bajo condiciones controladas al grano crudo de *Cajanus sp* y *Mucuna sp*, dos leguminosas de amplia distribución en el trópico, y el nivel de inclusión en una dieta de referencia a base de maíz y torta de soya, debería introducir cambios en el contenido de la energía metabolizable evaluada en pollos de una línea comercial.

El análisis de los resultados mostró que en ambos granos fueron diferentes los hallazgos en las relaciones entre el proceso térmico y el nivel de inclusión de los mismos en una dieta de referencia y la energía metabolizable del grano. Dentro de cada grano a su vez se presentaron tendencias diferentes en el comportamiento de dichas relaciones.

El estudio también contempló el análisis de otras variables que incluyeron la composición química, ganancia de peso acumulada, consumo, análisis de rechazos, producción y caracterización de las excretas, balance de nitrógeno y la EMAn de las dietas. Al igual que con la energía metabolizable de los granos se pudo establecer que no se presentó consistencia en los hallazgos en las relaciones entre el proceso térmico y el nivel de inclusión de los mismos y las variables propuestas.

Un aspecto adicional del estudio tuvo que ver con la evaluación de la utilización en estos dos granos de algunos criterios de control de calidad del proceso térmico, como el índice de ureasa, la inhibición de los factores antitripsínicos y la solubilidad de la proteína en KOH, aplicados a la soya y sus productos. En este punto se considera que sería limitada su aplicación en los dos granos evaluados, además que no se cuenta con valores de referencia, como sí existen para la soya y sus productos, que permitan establecer conclusiones referidas a la calidad del proceso térmico.

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.

Bibliografía

- Adebowale, Y.A., Adeyemi, I. A., Oshodi, A. (2005). Variability in the physicochemical, nutritional and antinutritional attributes of six *Mucuna* species. *Food Chemistry*. 89: 37–48.
- Agdebe, J., Aletor, V. (2005). Studies of the chemical composition and protein quality evaluation of differently processed canavalia ensiformis and *Mucuna pruriens* seed flours. *Journal of Food Composition and Analysis*. 18: 89 - 103.
- Alomar, S. H. *et al.* (2006) Nutritional evaluation of commercial dry dog foods by near infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. Volume 90 (5-6): 223–229.
- Annet, H.E. (1914). The urease content of certain Indian seeds. From: The Agricultural Research laboratory. Dacca, Bangladés. 449 - 452.
- Apaydin, H. (2000). Broad bean (*Vicia faba*) A natural source of L-DOPA prolongs 'on' periods in patients with Parkinson's disease who have 'on-off' fluctuations. *Movement Disorders*. 15: 164 – 166.
- Badui D. S. (2006). *Química de los alimentos*. Editorial Pearson. Cuarta Edición. México. 736p
- Balasubramanian, A., Pomuraj, K. (2008). Purification, crystallization and preliminary x-ray analysis of urease from pigeon pea (*Cajanus cajan*). *Acta Crystallogr Sect F Struct Biol Cryst Commun*. Jul, 14 (pt 7): 662- 664 . Epub 2008. Jun 28
- Belmar, R., Nava, R. (2000). Factores antinutricionales en la alimentación de animales monogástricos. In: *Alimentación no convencional para monogástricos en el trópico*. Maracay. 51p
- Binder, U. (1997). *Manual de Leguminosas de Nicaragua*. PASOLAC, E.A.G.E., Estelí, Nicaragua. p528
- Bishnoi, S., Khetarpaul, N. (1994). Protein digestibility and field peas: Varietal differences and effect of domestic processing and cooking methods. *Plants and Foods in Human Nutrition*. 46: 71 – 76.
- Bourdillon, A. *et al* (1990). European reference method for the in vivo determination of metabolizable energy with adult cockerels: reproducibility, effect of food intake and comparison with individual laboratory methods. *British Poultry Science*. 31: 557 - 565.
- Brenes, A., Brenes, J. (1993). 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: p32.
- Brooker, JD., Acamovic, T. (2005). Avian Science Research Centre, Animal Health Group. Scottish Agricultural College, west Mains Road. Edinburgh EH 9 3JG. UK.
- Buckles, D. (1995). Velvetbean: A new plant with a history. *Economic Botany*, 49: 13 – 25
- Calderón, G.R. (1978). El cultivo del Guandul. Boletín técnico, Publicación del Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Programa Frutales, Estación Experimental "Caribia" Santa Marta, Colombia. 14p
- Canibe, N., Eggum, B.O. (1997). *Animal Feed Science and Technology* 64: 311 – 325
- Castaño, C.S.E. (2006) Estimación de la energía metabolizable aparente con balance de nitrógeno de hojas de yuca (*Manihot esculenta*) y vitabosa (*Mucuna deeringianum*) en

- pollos de engorde. Trabajo de grado. Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Carnoval, E., Lugaro, E., Marconi, E. (1991). Protein quality and ant nutritional factors in wild and cultivated species of *Vigna* spp. *Plant Foods for Human Nutrition*. 41: 11 – 20.
- Cedano, J. 2006.-Guía técnica cultivo del Guandul. Editorial CEDAF Santo Domingo, República Dominicana. Disponible en: <http://www.cedaf.org.do/CENTRODOC/EBOOK/GGUANDUL.PDF>.
- Chaparro, S.P., Aristizabal, I.D., GIL, J.H. (2009). Composición y factores anti nutricionales de las semillas del genero *Mucuna*. *Rev. Facultad Nacional de Agronomía*. 62(1): 4843-4853.
- Chikagwa-Malunga, S.K. Adesogan, A.T. Szabo, N.J. Littel, R.C. Phatak, S.C. Kim, S.C. Arriola, K.G. Huisden, C.M. Dean, D.B. y Kruger, N. A. (2008). Nutritional characterization of *Mucuna pruriens*: 3. Effect of replacing soybean meal with *Mucuna* on intake, digestibility, N balance and microbial protein synthesis in sheep. *ScienceDirect*. 148: p107 - 123.
- Choct, M. The Net Energy value for commonly used plant ingredients for poultry in Australia. Rural Industries Research and Development Corporation. Publication No 04. May 2004.
- CVB (Central Veevoeder Bureau). Veevoedertabel (Table of Feeding Value of Animal Feed Ingredients). Lelystad, The Netherlands. 2003.
- Das Nilanjana, Kayastha Arvin. Immobilization of urease from pigeon pea (*Cajanus cajan* L) on flannel cloths using polyethyleneimine. *World Journal of microbiology and biotechnology*. Springer. Netherlands. Vol 14 ·16 nov 1998.
- Das Nilanjana, Kayastha A ; Malhotra O.P. Immobilization of urease from pigeon pea (*Cajanus cajan* L) in polyacrylamide gels and calcium alginate beads. School of biotechnology faculty of science. Banaras Hindu University , Varanasi 221. 2005. India.
- Davila, M.A., Sandronis, E. y Granito, M. (2003). Leguminosas germinadas o fermentadas: alimentos o ingredientes de alimentos funcionales. En: *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*.. 53(4): p8.
- Del Carmen, J., Gernat, A.G., Myhrman, R. Y Carew, I.B. (1999). Evaluation of raw and heated Velvet beans (*Mucuna pruriens*) as feed ingredients for broilers. *Poultry Science*, 78.
- De Lange, C., Nyachoti, C. and Verstegen, M. (2000). The significance of antinutritional factors in feedstuffs for monogastric animals. Citapor por: Moughan, P., Verstegen, M. and Visser-Reyneveld, M. (Eds). In: *Feed Evaluation Principles and Practice*. Amstelveen, Holanda. Wageningen: Pudoc: p169 – 188
- De Lange, C.F.M; Birkett, S.H. Characterization of useful energy content in swine and poultry feed ingredients. *Canadian Journal of Animal Science* 85: 269-280. 2005.
- Deosthale. K.G., Rao, O.S.S. (1981). Mineral and element composition of red gram (*Cajanus cajan*) In: *Journal nutrition and Diet*. 18: 130 - 135
- D 'Mello, J. 2000. Anti-nutritional Factors and Mycotoxins. In: *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. CABI Publishing. Wallingford, Inglaterra: 383-403.
- Dixon R. A., Harrison, M. J. and Lamb C.J. (1994). Early events in the activation of plant defense responses. *Annual Reviews of Phytopathology*. 32: 479 – 501.

- Dolz S. (1996). Utilización de las grasas y subproductos lipídicos en monogástricos. En: IX Curso de especialización FEDNA (8 y 9 de Nov.). Memorias. Madrid, España: p13.
- Duke, J.A. (1981). Hand book of legumes of world economic importance. Plenum Press, New York.
- Dudley-Cash W.A, Calidad de la harina de soja. Seminario de control de calidad de materia primas . IV jornada sobre control de calidad de harina de soja y soja integral. American Soybean Association. Sf. (1997)
- Echeverri, C y Rodríguez, H. (1999). La Vitabosa (*Mucuna deeringiana*). Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Antioquia. Centro Multisectorial de Oriente. Rionegro.
- Elizalde, A., Porrilla, Y. y Chaparro, D.C. (2009). Factores antinutricionales en semillas. Rev. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad del Cauca. 7(1): 45-54.
- Espinal, S. Y Montenegro, E. (1963) Formaciones vegetales de Colombia. En: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D.E.; 210p.
- Farrell, D.J. (1978). Rapid determination of metabolisable energy of foods using cockerels. British Poultry Science. 19: 303 - 308.
- Fennema, Owen R. (2000). Química de los alimentos. Editorial ACRIBIA. 3^{ra} edición, Zaragoza, España. 1258p
- Francesch, M. 2001. Sistemas para la valoración energética de alimentos para aves. Archivo Latinoamericano. Prod. Anim. 9(1): 35 – 42.
- Garcia, E., Filisetti, T. M., Udaeta, J. E. M., y Lajolo, F. M. (1998). Hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris*): Involvement of phenolic compounds and pectates. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 46: 2110 – 2116.
- Garcia, C.L. y Bressani, R. (2006). Efecto de diversos tratamientos en la cocción del frijol *Mucuna* sobre el contenido de L-Dopa. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 56(2): 175-184.
- Gonzalez, B.H. (2002) Determinación de la energía metabolizable en subproductos del trillado de arroz y de maíz utilizados en la alimentación de aves. Tesis Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.
- Gorrachategui G.M. (2010). Efecto del tratamiento de las materias primas sobre su valor nutricional. En: XXVI Curso de especialización FEDNA (4 y 5 de Nov.). Memorias. Madrid, España: p 51 - 113.
- Grewal, A; Jood, S. (2006). Effect of processing treatments on nutritional and antinutritional contents of green gram. Journal of Food Biochemistry, 30, 535 - 546.
- Gueguen, J., M.G. Van Oort, L. Quillien y M. Hessing. (1993). The composition, biochemical characteristics and analysis of proteinaceous antinutritional factors in legume seeds. A review. Recentes advances of research in antinutritional factors in legume seeds: proceedings of de Second International Workshop on 'Antinutritional Factors (FANs) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands, 1-3.
- Hill, F.W, Anderson, D.L, Renner, R. and Carew, L.B. (1960). Studies of the metabolizable energy of grain and grain products for chickens. Poultry Science, 39: 573 - 579.
- Huisman, J., Van Der Poel A.F., Verstegen, M. W. y Van Weerden E.J. (1990). Antinutritional factors (ANF) in pig production. World Review of Animal Production. 25: 77 - 82.

- Infante, M. E., Pérez, A. M., Simao, M. R., Manda, F., Baquete, E. F., y Fernandez, A. M. (1990). Outbreak of acute psychosis attributed to *Mucuna pruriens*. *The Lancet*. 336: p1129.
- Ingle, P. K. (2003). L-Dopa bearing plants. *Natural Product Radiance*. 2: 126 – 133.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. ICONTEC. Norma Técnica Colombiana 771. Frijol soya y sus subproductos. Determinación de la actividad de la ureasa. 2000.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. ICONTEC. Norma Técnica Colombiana 3682. Alimento para animales. Torta de soya. 2006.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 3716 (Primera actualización) Alimentos para animales. Soya Integral. ICS 65.120.00. 2002.
- Iyayi, E.A., Taiwo, V.O., (2003). The effect of incorporating *Mucuna (Mucuna pruriens)* seed meal on the performance of laying hens and broilers. In: *Trop. Subtrop. Agroecosyst.*, 1 (2-3): 239-246
- Jood, S., Chauhan, B.M. and Kapoor, A.C. (1987). Polyphenols of chickpea and blackgram as affected by domestic processing and cooking methods. *Journal of Science and Food Agriculture*. 39. 145 – 149.
- Josephine, R. Mary y Janardhanan, K. (1992). Studies on chemical composition and antinutritional factors in three germplasm seed materials of the tribal pulse, (*Mucuna pruriens* L.) DC. In: *Food Chemistry*. 43 (1): 13 – 18.
- Kataria, A., Chauhan, B.M. y Punia, D. (1989). Antinutrients and protein digestibility (in vitro) of mung bean as affected by domestic processing and cooking, *Food Chemistry*. 52: 9 – 17.
- Khattab, Y. y Arntfield, S.D. (2009) *Food Science and technology*. 42(6): 1119 – 1124.
- Lara Sánchez, Mónica S. (1998) Tablas de composición de recursos alternativos para la alimentación animal. Trabajo de grado Licenciado en Producción Animal. México: Universidad Autónoma Metropolitana. División de Ciencias Biológicas y de la Salud, 46p.
- León, A., Angulo, I., Jaramillo, M., Calabrese, H., Madrigal, J. y Requena, F. (1993). Caracterización química y valor nutricional de granos de leguminosas tropicales para la alimentación de aves. *Rev. Zootecnia Tropical*. 11(2): 151-170.
- Liener, I. E. (1989). Antinutritional factors in Legume seeds: State of the art. In J. Huisman, A. F. B. van der Poel, & I. E. Linier (Eds.), *Recent advances in research in antinutritional factors in legume seeds*. Wageningen: Pudoc. p6 – 14.
- Li. E.M.A., Campabadal. C., Rodriguez, J. y Vargas. E. (1982). Efecto de diferentes tipos de tratamiento térmico sobre la calidad proteínica del frijol Guandul (*Cajanus cajan*). *Rev. Agronom. Costarr.* 6 (1/2): 27-33.
- Liu, K. (1995). Cellular biological and physicochemical basis for the hard to-cook defect in legume seeds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 35: 263 – 298.
- Lopez, G; Leeson, S. Relevance of nitrogen correction for assessment of metabolizable energy with broilers to forty-nine days of age. *Poultry Science* 86:1696–1704. 2007.
- 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 joaquin (*Malvaviscus penduliflorum*)

- en pollos de engorde. Trabajo de grado. Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2006.
- Longstaff, M.A; MacNAB, J.M. (1991). The effect of concentration of tannin-rich bean hulls (*Vicia faba* L.) on activities of lipase (EC 3.1.1.3) and α -amylase (EC 3.2.1.1) in digest and pancreas and on the digestion of lipid and starch by young chicks. In: British Journal of Nutrition. 66 (1): 139-147
- Lon-Wo, M.E. (2007). Procesos tecnológicos para elevar el valor nutritivo de los alimentos. En: IX Encuentro de Nutrición y Producción en Animales Monogástricos, Montevideo, Uruguay. 41-48
- Lon-Wo, M.E, Campus, D.M, Rodriguez, O. y Dieppa, O. (2002). Extrusión, tostado o secado al sol de granos de leguminosas tropicales. En: Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 36 (2): 149-152
- MacNAB, J.M. and BLAIR, J.C. (1988). Modified assay for true and apparent metabolisable energy based on tube feeding. British Poultry Science. 29: 697 - 707.
- Machado, O. Valor nutricional de los alimentos elementos de evaluación y factores de calidad. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, (1.997), 252 p.
- Marín, V.J.A; Ruíz, R.J.C. (2005) 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.
- Matterson, LD. *et al.* The metabolizable energy of feed ingredients for chickens. Research Report, n.7, p.3-11. 1965.
- Maurer, G. A., Ozen, B. F., Mauer, L. J., y Nielsen, S. (2004). Analysis of hard-to-cook red and black common beans using Fourier transform infrared spectroscopy. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 52: 1470 – 1477.
- 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.
- Miller, W.S. (1974).The determination of metabolizable energy. En: Energy requeriments of Poultry. Edimburg. 91-112.
- Moehn, S; Jacob, A; Ronald, O. Using Net Energy for diet formulation: Potential for the Canadian pig industry. Advances in Pork Production. 16: 119-129. 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.
- Mora, S.J.D; Giraldo, M.A.M. (2005) Guía metodológica para determinar la energía metabolizable de recursos alimenticios para aves.
- Mora, S.J.D; Giraldo, M.A.M. (2004) Guía metodológica para determinar la energía metabolizable de recursos alimenticios para aves. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agrarias. Colombia.
- Myhrman, R. (2002). Detection and removal of L-Dopa in the legume Mucuna: Ch7. En: Food and feed from Mucuna: Current uses and the way forward. Proceedings of an international workshop. Flores, M., Eilittä, M., Myhrman, R., Carew, L., Carsky, R. (Ed.) Centro Internacional de Informacion sobre Cultivos de Cobertura – CIDICCO. Honduras.

- Muinga, R.W., Saha, H.M., Mureithi, J.G, (2003). The effect of Mucuna (*Mucuna pruriens*) forage on the performance of lactating cows. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 1 (2–3): 87–92.
- National Academy of Sciences. Guide for the care and use of laboratory animals: Eighth Edition. 2011. The National Academies Press. http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12910. 2011
- National Research Council. Nutrient requirements of poultry. Ninth revised edition. Washington: National Academic of Science, 1994. 155 p
- Nava, R., Ruiz, B. y Belmar, R. (1999). Una reseña corta sobre el valor nutritivo y factores antinutricionales de follaje de canavalia y terciopelo dados a cerdos. In: Revista computarizada de Producción Porcina. 6 (3): 1 – 8.
- Noblet, J. Energy evaluation of pig and poultry feeds: recent developments and new perspectives. XXV Congresso Brasileiro de Zootecnia. 2015.
- Noblet, J; Fortune, H; Shi, X.S; Dubois, S.. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72:344-354. 1994.
- Nwokolo, E. (1987). Nutritional evaluation of pigeon pea meal. *Plant Foods for Human Nutrition.* 37: 283 - 290.
- Ost, P.R. et al. Valores energéticos de sojas integrais e de farelo de soja, determinados com galos adultos e por equações de predição. *Ciênc. Agrotec., Lavras, v.29, n.2, p.467-475, 2005*
- Ologhobo, A.D. y Fetuga, B.L. (1984). Effect of processing on the trypsin inhibitor, haemagglutinin, tannic acid and phytic acid contents of seed of ten cowpea varieties. In: *Tropical Agriculture. Trinidad.* 61: 261 – 264
- Pizzani, P. et al. (2006) Efectos del tostado sobre el valor de energía metabolizable verdadera y el contenido de factores antinutricionales de harinas de canavalia ensiformis (L.). *Rev. Científica. Universidad del Zulia.* 16(005): 523-530.
- Pesti, G.M y Ware, G.O. (1986). Expressing the variability in results of metabolizable energy assays. *Journal Nutrition.* 116: 1385-1389.
- Peter, M., Franco, L., Schmidt, A., and Hincapié B. (2003). Especies forrajera multipropósito: opciones para productores de Centroamérica. *Producción Centro Interamericano de Agricultura Tropical (CIAT) N° 333.* 113p
- Pool, L., León, N.S., Gonzalez, C.S. y Figueroa P. (1998). Frijol terciopelo, cultivo de cobertura en la agricultura Chol del Valle de Tulija, Chiapas México. *Terra Latinoamericana.* 16(004): 359-369.
- Posada, D.L.R. (2002) 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..
- Preet, K. y Punia, D. (2000). Antinutrients and digestibility (in vitro) of soaked, dehulled and germinated cowpea. *Nutrition and Health.* 14: 109 – 117.
- Restrepo A. y Márquez C. (1994). Experiencia agropecuaria cooperativa de las tribus Gígal (Chocó) en economías de las comunidades rurales en el pacífico Colombiano. Quibdó 19 – 21 de octubre de 1994. Proyecto Biopacífico – Ministerio de Medio Ambiente. Bogotá DC: 61 – 68.

- Rodrigues, P.B. et al. Valores energéticos da Soja e subproductos da Soja, determinados com frangos de corte e galos adultos. Revista Brasileira de Zootecnia, v 31, n.4, p.1771-1782, 2002.
- Rostagno, H.S. et al. (2011) Tabelas Brasileiras para aves e suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa. 3era Edição.. 259 p.
- 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.
- Ruíz, N. (2012). Transit rapid tied to soybeans. Feedstuffs. January 30.
- Saharan, K. (1994). Studies on the development of products from ricebean and fababean: Their sensory and nutritional evaluation. PhD Thesis. p. 1 – 275, Haryana Agricultural University, Hisar, India.
- Saladin, F., (1990). Cultivo de Guandul. Boletín técnico 003: Fundación de Desarrollo Agropecuario, inc. Santo Domingo, República Dominicana. p16.
- Salas, L.F. y Tepal, J.A., (1992). Valor alimenticio del frijol terciopelo (*Stilobium deeringianum*) en dietas para pollos de engorde. In: Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Chihuahua, p189.
- Sakomura, N.K; Rostagno, H.S. (2007) Métodos de Pesquisa em Nutrição de Monogástricos. Jaboticabal: Funep,. 283p. ISBN 978-85-87632-97-5.
- SAS/ Statgraphics. (1999). User's Guide: Statistics, Version 9, 4th edition.. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- Savón, L. & Scull. (2006). Avances en los métodos para disminuir el efecto de factores antinutricionales en alimentos para especies monogástricas. Rev. Producción Porcina, 13(1): 25-29.
- Savón, L. & Idiana, S. (2007). Factores antinutricionales en recursos alimentarios tropicales para especies monogástricas. In: IX Encuentro de Nutrición y Producción en Animales Monogástricos. Memorias. Montevideo, Uruguay: 93-97.
- Sesma, B. et al. (2009). Evaluación del frijol terciopelo (*Stizolobuim deeringianum*) remojado, en dietas para cerdos en crecimiento. Rev. Universidad y Ciencia. 25(2): 141-150.
- Siddhuraju, P., BECKER, K., (2001). Rapid reversed-phase high performance liquid chromatographic method for the quantification of l-dopa (3,4-dihydroxyphenylalanine), non-methylated and methylated tetrahydroisoquinoline compounds from Mucuna beans. Food Chemistry. 72: 389–394.
- Sibbald, I. R. et al. (1960). Factors affecting the Metabolizable energy content of poultry feeds. Poultry Science. 39: 544 –556.
- Sibbald, I.R. (1976). A bioassay for true metabolizable energy in feedingstuffs. Poultry Science. 55: 303 - 308.
- Sibbald, I.R. (1982). Measurement of bioavailable energy in poultry feedinstuffs: a review. Canadian Journal of Animal Science. 62: 983 - 1048.

- Siddhuraju, P., Becker, K., y Makkar, H. P. S. (2000). Studies on the nutritional composition and antinutritional factors of three different germplasm seed materials of an underutilized tropical legume *Mucuna pruriens* var. *utilis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (12): 6048 – 6060.
- Smithard, R. (2002). Secondary plant metabolites in poultry nutrition. Citados por: McNab, J. y Boorman, K. (Eds). In: *Poultry Feedstuffs: Supply, Composition and Nutritive Value*. CABI Publishing. Wallingford, Inglaterra. p237 – 278.
- Smith, C., Van Megen W. and Twaalfhoven L., (1980). The determination of trypsin inhibitor levels in foodstuff. *Journal Sci. Food Agriculture*. 31: 341 - 350
- Stevens, W. D., C. Ulloa U., A. Pool Y O. M. Montiel, (2001). *Flora De Nicaragua*. Vol. 85, Tomos I, li Y lii. Missouri Botanical Garden Press. St. Louis, Missouri.
- Trejo, L.W. (1998). Evaluación Nutricional Del Fríjol Terciopelo (*Stizolobium Deeringianum*) En La Alimentación De Pollos De Engorde. Tesis Msc. Universidad Autónoma De Yucatán. México.
- Uribe, A. (2000). Determinación De La Energía Metabolizable En Torta De Soya Utilizadas En La Alimentación De Aves. Trabajo De Grado De Zootecnia. Universidad Nacional De Colombia, Sede Medellín. Facultad De Ciencias Agropecuarias. Departamento De Producción Animal.
- Valdes, E.V. And Leeson, S. (1992). Measurement Of Metabolizable Energy In Poultry Feeds By An In Vitro System. *Poultry Science*. 71: 1493 - 1503.
- Valdivel, V. (2000). Nutritional And Anti-Nutritional Composition Of Velvet Bean: An Under-Utilized Food Legume In South India. *International Journal Of Food Sciences And Nutrition*. 51. 279 - 287.
- Van Der Poel, A.F.B. (1989). Effects Of Processing On Antinutritional Factors (Anf) And Nutritional Value Of Legume Seeds For Non-Ruminant Feeding. In: *Recent Advances o researches on antinutritional factors in legume seeds*. Wageningen Pudoc. p213.
- Van Der Poel, A.F.B., and Melcion, J.P., (1995). Antinutritional factors and processor technology. Principles adequacy and optimization. In: *International Feed and Nutrition technology*. 3: p17.
- Vijayakumari, K., Siddhuraju, P. and Janardhanan, J. (1996). Effect of domestic processing on the levels of certain antinutrients in *Prosopis chilensis* (Molina) *stunz* seeds. *Food Chemistry*. 59: 367-371.
- Wanjekeche, E., Wakasa, V., and Mureithi, J. G. (2003). Effect of germination, alkaline and acid soaking and boiling on the nutritional value of mature and immature *Mucuna* (*Mucuna pruriens*) beans. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 1: 183 – 192.
- Wiseman, J. (2006). *Animal Feed Science Technology*. 130: 66 – 77.
- Zanotto, D. (2015) Determination of corn metabolizable energy for broilers through near infrared spectroscopy (NIR). 17th International Conference on Near Infrared Spectroscopy. Brasil. 18 – 23 october https://proceedings.galoa.com.br/nir-bstracts/papers/determination_of_corn_metabolizable_energy_for_broilers_through_near_infrared_spectroscopy_nir#sthash.2CSO2CeX.pdf.