UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Harina o ensilaje de follajes de leguminosas tropicales como fuente de proteína para cerdos

Patricia Isabel Sarria Buenaventura

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ciencia Animal

Palmira, Colombia

2013

Harina o ensilaje de follajes de leguminosas tropicales como fuente de proteína para cerdos

Patricia Isabel Sarria Buenaventura

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Doctora en Ciencias Agropecuarias

Directora:

Ph.D., Agricultura Nutrición Animal Siriwan Martens

Codirector:

Ph.D., Nutrición Animal Arnobio López Galeano

Línea de Investigación: Producción Animal Tropical

Grupo de Investigación: Nutrición Animal de UNCP

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ciencia Animal

Palmira, Colombia

2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE PALMIRA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ACTA DE JURADO DE TESIS

DOCTORADO EN CIENCIAS AGRARIAS
LINEA DE INVESTIGACIÓN PRODUCCIÓN ANIMAL TROPICAL

En Palmira a los 23 días del mes de septiembre de 2013, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por los profesores ANGEL MARÍA GIRALDO MEJÍA, JAIRO RICARDO MORA DELGADO y GERMÁN AFANADOR TELLEZ.

Para calificar la Tesis de Grado de:

PATRICIA ISABEL SARRIA BUENAVENTURA

Titulada:

"HARINA O ENSILAJE DE FOLLAJES DE LEGUMINOSAS TROPICALES COMO FUENTE DE PROTEÍNA EN CERDOS", bajo la dirección de SIRIWAN MARTENS, PhD y ARNOBIO LÓPEZ, PhD.

Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por los docentes ANGEL MARÍA GIRALDO MEJÍA, JAIRO RICARDO MORA DELGADO y GERMÁN AFANADOR TELLEZ, y de haber cumplido con el proceso de evaluación, la tesis fue calificada como:

APROBADA X

REPROBADA ___

ANGEL MARÍA GIRALDO MEJÍA

JAIRO RICARDO MORA DELGADO

GERMAN AFANADOR TELLEZ

Dedico este logro académico tan importante a:

Dios por ser guía y luz en cada momento de mi vida.

Jorge, Laura y Manuela, los seres que me motivan día a día a amar, reír, sentir y disfrutar la vida.

Mi madre Doris y a la memoria de mi padre, mis raíces amadas y ejemplo de valores y rectitud.

Mis hermanos Doris, Fabricio y Adriana, y sobrinos Steven, Vanesa, Fabrizio y Natalia, compañía en el andar de la vida.

La Universidad Nacional de Colombia, por su excelencia y noble misión en la educación superior pública de alta calidad para la población colombiana.

Mis demás familiares, amigos y colegas.

Agradecimientos

- A Siriwan Martens, científica del Programa de Forrajes Tropicales de CIAT y directora consagrada de esta tesis, por su alto compromiso, valiosos aportes y enriquecimiento de mi vida profesional.
- El presente trabajo fue financiado principalmente por la BMZ con el proyecto “More chicken and pork in the pot, and money in pocket:Improving forages for monogastric animals with low-income farmers” al Programa de Forrajes Tropicales del CIAT.
- También se recibieron importantes aportes logísticos y financieros de la Universidad Nacional de Colombia a través del Grupo de Investigación Nutrición Animal de UNCP, la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Centro Experimental Mario González Aranda, el Laboratorio de Nutrición Animal y la División de Investigación de la Sede Palmira DIPAL.
- A Ángela Londoño, Carlos Montoya, Francisco Sánchez, Michel Peters. Rena Pérez, John Dodd, Patricia Ávila y Nelson Vivas por los aportes científicos a la realización de este trabajo.
- Al zootecnista Julio Castro y los estudiantes Gloria López Castro, Luis Fernando Rivera, Julia Victoria Arredondo, María Adenis Cando, Lina María Yusti, Mauricio Guevara, Juliana López, Julián Caicedo, Johanna Ossa, Carlos Andrés Cruz, John Jairo Pastas, Isabel Orejuela, Diego Buitrón, Leidy Torres, Claudia Barona, Yorleidy Díaz, María del Mar Méndez, Giselle Hernández, Andrea Rendón, Duván Torres y Gyna Donney´s, por su apoyo y dedicación en el desarrollo del trabajo de campo y laboratorio.

Resumen

Bajo la hipótesis “Algunos follajes de leguminosas tropicales ensilados o secos, reemplazan por lo menos el 20% de la proteína de la soya en las dietas balanceadas para cerdos en crecimiento sin afectar el rendimiento productivo” se desarrolló la presente investigación. Dos especies fueron evaluadas: *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009, y *Vigna unguiculata* CIAT 4555. En experimentos separados para cada leguminosa, la harina de follaje de Canavalia reemplazó hasta el 16% y la harina de Vigna hasta el 33% de dietas basadas en maíz y soya (base de materia seca), para obtener similares ratas de crecimiento y conversión alimenticia que una dieta control. Esta diferencia fue causada principalmente por la menor digestibilidad ileal de la proteína de la hoja de la Canavalia. El ensilaje de las mismas especies mostró que Vigna, a razón de 15% de la dieta, reemplazó el 20% del aporte en proteína de la soya y evidenció similar comportamiento productivo en los cerdos que una dieta control ($p>0.05$), a la vez que Canavalia disminuyó la ganancia diaria ($p<0.001$) y la conversión alimenticia ($p<0.01$). Se concluyó que la harina del follaje de Vigna puede contribuir con el 30% de la proteína en las dietas balanceadas y reemplazar el 20% de la soya cuando se brinda en forma de ensilaje, sin deteriorar el rendimiento productivo de los cerdos durante la etapa de levante-ceba, mientras que la Canavalia alcanzó la mitad de estos valores aproximadamente.

Palabras clave: *Vigna unguiculata*-*Canavalia brasiliensis*- fibra-valor nutricional-digestibilidad ileal de la proteína- digestibilidad fecal de la proteína – digestibilidad *in vitro* de la proteína.

Abstract

Under the hypothesis "Certain tropical forage legumes as ensiled or dried, replace at least 20% of the soy protein in balanced diet for pigs during growth without affecting performance" this research was developed. Two forage species were evaluated: *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009 and *Vigna unguiculata* CIAT 4555. In two separate experiments, Canavalia herbage meal could replace 16% and Vigna herbage meal 33% of a corn-soybean diets (dry matter basis), to obtain similar growth rates compared to the control. The difference between the legumes was probably caused by the lower digestibility of the Canavalia protein. Silage of the same species showed that *V. unguiculata*, included at 15% (dry matter diet), replaced 20% of soybean meal protein contribution and presented similar productive behaviour in the pigs than a control diet, while Canavalia decreased the daily weight gain ($p<0.001$) and feed conversion ($p<0.01$). It was concluded that Vigna foliage meal can contribute with the 30% of the protein in the balanced diets and replace 20% of the soybean meal when it is ensiled, without deteriorating the productive performance of the growing pigs, while Canavalia reached the half of these values.

Keywords: *Vigna unguiculata-Canavalia brasiliensis-* fibre-nutritional value- ileal protein digestibility-fecal protein digestibility – in vitro protein digestibility.

Tabla de Contenido

Pág

Tabla de Contenido XI

Lista de Tablas XV

Lista de Figuras XVIII

Lista de símbolos y abreviaturas XIX

Capítulo 1 1

Introducción general 1

Crecimiento de la porcicultura en el mundo y sus limitaciones en países tropicales 2

Fuentes proteicas para alimentación porcina 3

Hojas de leguminosas y no leguminosas tropicales como fuente de proteína para cerdos 4

Producción de biomasa de algunos forrajes para cerdos 5

Calidad nutricional de los follajes arbóreos y arbustivos para alimentación de cerdos 9

Consumo voluntario 14

Comportamiento productivo 15

Ensilajes de hojas forrajeras para mejorar su valor nutricional 17

Respuestas productivas al uso de ensilajes en cerdos 18

Hipótesis 19

CAPÍTULO 2 25

Valor nutricional de la harina de hoja de Vigna (Vigna *unguiculata* (L) Walp.) para cerdos en crecimiento 25

Resumen 26

Nutritive value of leaf meal of Cowpea (*Vigna unguiculata* (l) Walp.) for growing pigs 27

Abstract 27

Introducción 28

Materiales 29

Metodología....30

Resultados y discusión 36

Conclusiones 44

Capítulo 3 47

Follaje de caupí (*Vigna unguiculata* (l) Walp.) como fuente de proteína para cerdos en crecimiento....47

Resumen....48

Cowpea (Vigna *unguiculata* (l) Walp.)) foliage as source of protein for growing pigs49

Abstract 49

Introducción 50

Materiales y métodos....51

Resultados 55

Discusión....58

Capítulo 4 61

Nutritional value of *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009, foliage meal in growing pigs61

Abstract 62

Introduction....63

Material and methods 64

Results and discussion 70

Conclusion 76

Capítulo 5 77

Productive performance of finishing pigs with foliage of *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009 as source of protein....77

Abstract 78

Introduction **79**

Material and methods **80**

Results and discussion **85**

Conclusion **88**

Capítulo 6 ..... **89**

The voluntary intake in growing pigs of four ensiled forage species **89**

Abstract **90**

Introduction **91**

Material and methods **92**

Results and discussion **96**

Conclusion **100**

Capítulo 7 ..... **101**

Growth response of pigs supplemented with two contrasting tropical legume silages in Colombia **101**

Abstract **102**

Introduction **102**

Material and methods **104**

Results and discussion **107**

Conclusion **112**

Capítulo 8 ..... **113**

Conclusiones y recomendaciones finales **113**

Interesante productividad en condiciones tropicales **114**

Aceptable composición química limitada por el contenido de fibra **115**

Buenos consumos voluntarios **117**

Mejor rendimiento productivo y digestibilidad de la harina de follaje de *Vigna* que la de *Canavalia* **119**

Valoración nutricional de los follajes en cerdos **122**

Ensilaje de follajes como opción a las harinas para su inclusión en las dietas de cerdos **126**

Posibilidades de aplicación de los resultados 127

Conclusiones 129

BIBLIOGRAFÍA 130

9. ANEXO 143

Lista de Tablas

Tabla 1-1 Algunas arbóreas con potencial para la alimentación de monogástricos.....6
Tabla 1-2 Potencial productivo en biomasa y proteína con especies forrajeras para la alimentación de cerdos 8
Tabla 1-3. Composición química de follajes usados en la alimentación de cerdos, %.....10
Tabla 1-4. Composición de aminoácidos de algunos follajes usados en cerdos (g/Kg. de proteína).....11
Tabla 1-5. Digestibilidad in vivo ileal e in vitro del N, determinada en cerdos alimentados con follaje.....12
Tabla 1-6. Digestibilidad in Vitro ileal del N* y solubilidad acuosa del N determinada en cerdos alimentados con follaje.....13
Tabla 1-7: Especies y usos como alimento animal con algunos criterios de producción 21
Tabla 2-1 Composición porcentual de las dietas experimentales para evaluar consumo de hoja de caupí.....32
Tabla 2-2. Composición bromatológica de las dietas experimentales para medir consumo de follaje de caupí 32
Tabla 2-3. Composición porcentual de las dietas experimentales 34
Tabla 2-4. Composición bromatológica de las dietas experimentales.....35
Tabla 2-5. Composición bromatológica de la Harina de hoja de caupí (% en MS, salvo para la MS en base secada al aire) 36
Tabla 2-6. Composición de aminoácidos de la Harina de hoja de caupí, comparado con los requerimientos del cerdo en crecimiento (% en MS).....38
Tabla 2-7. Valores medios del consumo metabólico de los cerdos alimentados con diferentes niveles de harina de hoja de caupí durante la etapa de crecimiento 38
Tabla 2-8. Digestibilidad fecal aparente (%) de dietas con inclusión de harina de hoja de caupí como fuente de proteína en cerdos durante el crecimiento.....41
Tabla 2-9. Valores medios de la digestibilidad ileal en cerdos alimentados con harina de hoja de caupí como fuente parcial de proteína 42
Tabla 2-10. Valores medios de los coeficientes de digestibilidad aparente total e ileal (%) de las dietas y de la Harina de hoja de caupí sola, calculados por el método de la diferencia 43
Tabla 2-11. Desarrollo del TGI de los cerdos alimentados con dietas en las cuales 15 y 30% de la proteína fue proporcionada por la harina de hoja de caupí HC 44

Tabla 3-1. Composición de la harina de hoja de caupí (*Vigna unguiculata* (l) Walp, accesión 9611 CIAT). 52
Tabla 3-2. Composición (%) de las dietas para cerdas en levante con inclusión de harina de hoja de caupí .53
Tabla 3-3 Aporte de los diferentes ingredientes al contenido de proteína bruta de las dietas 53
Tabla 3-4. Liquidación nutricional teórica y real de las dietas experimentales.....54
Tabla 3-5. Comportamiento de cerdas de engorde durante el levante, alimentadas con harina de hoja de caupí como fuente de proteína 57
Tabla 3-6. Margen Parcial por Kg de peso vivo producido (USD$) con harina de hoja de caupí como fuente parcial de proteína cruda (PC) en cerdos durante la etapa de levante.....57
Table 4-1. Composition of experimental diets to evaluate consumption and digestibility of Canavalia leave meal.....67
Table 4-2. Chemical composition of experimental diets to evaluate consumption and digestibility of canavalia leave meal 67
Table 4-3. Chemical composition of *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009 foliage meal (% of DM, except for DM based on dry sun).....70
Table 4-4. Amino acid concentration (%DM) in *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009 foliage meal[1].....72
Table 4-5. Consumption of diets with inclusion of *Canavalia brasiliensis* foliage meal in growing pigs 73
Table 4-6. Apparent total digestibility coefficient (%) of nutrients, DP and DE in diets with inclusion of *Canavalia brasiliensis* foliage meal in growing pigs.....74
Table 4-7. Table 4-7. Apparent total digestibility coefficient (%) of nutrients, DP and DE of canavalia foliage alone in diets for growing pigs 74
Table 4-8. Ileal apparent digestibility of diets and foliage alone (calculated by the differential method), in finishing pigs receiving foliage of *Canavalia brasiliensis*.....75
Table 5-1. Composition of the diets for growing pigs in finalization phase fed with different levels of Canavalia foliage meal as protein source (%) 83
Table 5-2. Chemical composition of the diets for growing pigs in finalization phase fed with different levels of Canavalia foliage meal as protein source (%) 84
Table 5-3. Crossover for evaluations of diets with four levels of Canavalia foliage as protein source (%).....85
Table 5-4. Productive behavior of final phase growing pigs, receiving *Canavalia brasiliensis* leaf meal (CBLM) accession CIAT 17009, as protein source 87
Table 5-5. Partial Margin per kg of live weight produced (USD $) with *Canavalia brasiliensis* leaf meal as partial source of crude protein (CP) for finishing pigs 89
Table 6-1. American tropical species of foliage silage evaluated in the present experiment.....94
Table 6-2. Composition of the Control diet (g kg^{-1}).....95
Table 6-3. Composition of the Control diet, three legume silages and one grass silage (g kg-1 DM) and fermentation quality. 97
Table 6-4. Consumption of the diets including tropical legumes or grass silage, by growing pigs. 98
Table 7-1. Composition of the experimental diets for growing pigs using silage of forage legumes as partial source of protein (g kg-1).....105
Table 7-2. Crossover for evaluations of diets with inclusion of foliage silage.....106

Table 7-3. Chemical composition of the experimental diets for growing pigs using silage of forage legumes as partial source of protein (g kg-1) 108
Table 7-4. Performance parameters of growing pigs fed with diets containing or not tropical legume silages 108
Table 7-5. Coefficients (%) of digestibility in vitro for diets including legume foliage silage 110
Table 7-6. Partial Margin per kg of live weight produced (USD $) with silages of *Canavalia brasiliensis* or *Vigna unguiculata* leaf as partial source of crude protein (CP) for growing pigs 112
Tabla 8-1. Composición química (g/Kg) y características físicas de follajes y ensilajes de Caupí Vigna unguiculata CIAT 4555 y Canavalia brasiliensis CIAT 17009 116
Tabla 8-2.Coeficientes de digestibilidad del N (%) del follaje de dos leguminosas en cerdos 123
Tabla 8-3. Algunos parámetros para la valoración nutricional de follajes tropicales en cerdos de engorde ..125

Lista de Figuras

Figura 1. Demanda de carnes por los países no pertenecientes a la ocde (organización para la organización y el desarrollo económico)..... 2
figura 2. Cultivo de vigna, santander de quilichao, cauca, colombia (fotografía ciat)..... 30
figura 3. Cerdos comerciales utilizados para la evaluación del consumo de harina de hoja de vigna..... 33
figura 4. Jaula metabólica para la evaluación de digestibilidad fecal. 34
figura 5. Consumo de dietas con niveles crecientes de harina de follaje de vigna por cerdos su relación con el contenido energético de la dieta..... 39
figura 6. Relación entre el nivel de harina de hoja de vigna y la digestibilidad aparente de la proteína bruta en cerdos durante la etapa de crecimiento. 41
figura 7. Comportamiento de cerdos en crecimiento recibiendo harina de hoja de vigna como parte de la dieta..... 56
figure 8, *canavalia brasiliensis* (photography ciat)..... 64
figure 9. Metabolic cage for pigs in colombian national university –palmira..... 65
figure 10. Individual pen and commercial fattening pig used in experiment. 81
figure 11. Contribution of protein to the diet (%), from different ingredients used in the four experimental canavalia levels 82
figure 12. Preparing of silages 93
figure 13. Pig eating foliage silage mixed with control diet 95
figure 14. Fermentation quality of two species of legume silage 111
figura 15. Comportamiento productivo de cerdos en levante o ceba recibiendo dos follajes de leguminosas como fuente parcial de proteína 120

Lista de símbolos y abreviaturas

Abreviatura	Término
AGCC	Ácidos grasos de cadena corta
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
Col.	Colaboradores
EB	Energía bruta
ED	Energía digestible
EE	Extracto etéreo
ELN	Extracto libre de nitrógeno
EM	Energía metabolizable
FAN	Factores anti-nutricionales
Fen	Fenilalanina
FDA	Fibra Detergente Ácido
FDN	Fibra Detergente Neutro
FDN-N	Nitrógeno ligado a la Fibra Detergente Neutro
FC	Fibra cruda
g	Gramos
h	Horas
ha	Hectárea
His	Histidina
Ile	Isoleucina
Kcal	Kilocalorías 4.1868 kjulios (kJ)
kg	Kilogramos
Leu	Leucina
Lis	Lisina
m	Metro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
Met	Metionina
MJ	Megajulios $=2.39\times10^{-4}$ Mcal
mm	milímetros
MS	Materia seca
$MS/KgPV^{0.75}$	Materia seca por kilogramo de peso vivo a potencia 0.75

Abreviatura	**Término**
N	Nitrógeno
NRC	Cifras en inglés del Consejo de Investigación en Nutrición Animal
NPU	Utilización neta de las proteínas
p	Probabilidad estadística
PB	Proteína bruta
PC	Proteína cruda
PD	Proteína digestible
PER	Coeficiente de eficacia biológica
pH	Potencial de Hidrógeno
PNA	Polisacáridos no almidones
PV	Peso vivo
RNA	Ácidos ribonucleicos
TGI	Tracto gastro-intestinal
Tir	Tirosina
t	Toneladas
Treo	Treonina
Trip	Triptófano
USA	Estados Unidos de América
Val	Valina
Vs.	Versus

Abreviaturas en inglés

Abreviatura	**Término**
ADF	Acid Detergent Fibre
CIAT	International Centre of Tropical Agriculture
CP	Crude protein
DM	Dry matter
DE	Digestible energy
DP	Digestible protein
g	grams
GE	Gross energy
h	Hours
ha	Hectare
Kcal	Kilocalories
kg	Kilogram
LW, $LW^{0.75}$	Live weight, metabolic weight
m	meter
masl	meters above sea level
ME	metabolizable energy
MJ	Megajoules
N	Nitrogen
NDF	Neutral Detergent Fibre
NRC	Nutritional Research Council
p	Statistical probability
PD	Protein digestible
t	Metric ton

Harina o ensilaje de follajes de leguminosas tropicales como fuente de proteína en cerdos

Patricia Isabel Sarria Buenaventura

Capítulo 1

Introducción general

Crecimiento de la porcicultura en el mundo y sus limitaciones en países tropicales

El mundo produjo 283 millones de toneladas de carne en el 2010, de los cuales 109 correspondieron a producción porcina (FAO, 2010). La tendencia ha sido a incrementar desde hace cuarenta años y últimamente impulsado por la demanda de los países en desarrollo (FAO, 2012) (Figura 1).

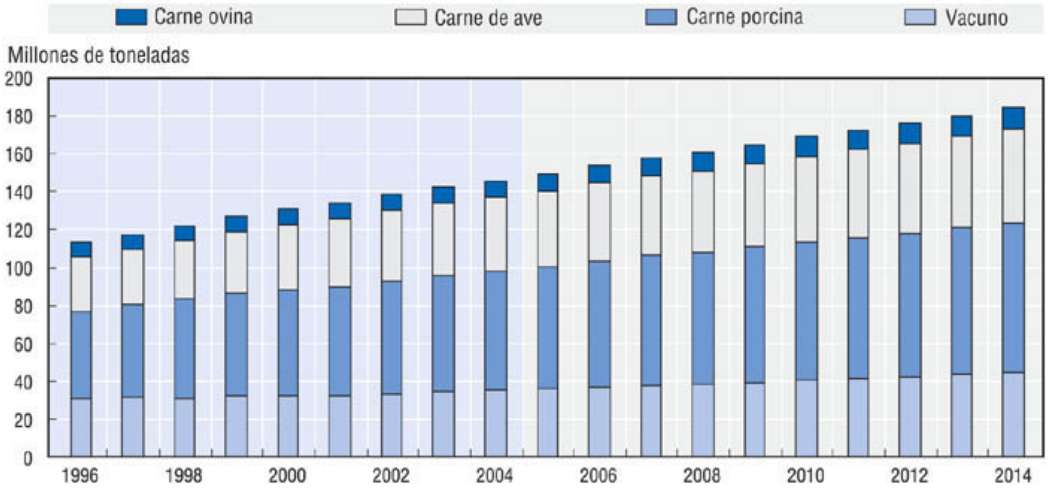


Figura 1. Demanda de carnes por los países no pertenecientes a la OCDE (Organización para la organización y el desarrollo económico).

Fuente: http://www.fao.org/docrep/008/y9492s/y9492s08.htm

Esta es una oportunidad de mercado para los productores de cerdos tropicales, aunque limitada por el incremento del costo de las materias primas importadas, como cereales y oleaginosas. La Federación Nacional de Avicultores de Colombia registró un aumento de 3.5% anual en el precio de la torta de soya y de 12% en el maíz, entre 2010 y 2012 (FENAVI, 2012).

Fuentes proteicas para alimentación porcina

El cerdo es un animal omnívoro que en condiciones naturales se alimenta de pasturas, hojas anchas, granos, tubérculos y frutos principalmente. En las piaras se alojan normalmente en corrales cerrados y se ofrecen dietas basadas en subproductos de cosecha de las fincas pequeñas o medianas, o alimentos balanceados preparados con materias primas producidas por la agricultura comercial, en las crías industriales especializadas. Las dietas utilizadas para un rápido crecimiento de los cerdos oscilan entre un 21% de proteína para lechones destetos y 16% para animales en finalización. El papel de las proteínas es permitir la formación y crecimiento de los músculos y demás tejidos blandos del cuerpo, además de participar en reacciones químicas vitales del metabolismo.

Los granos de cereales como maíz, sorgo, cebada y trigo son los ingredientes básicos de la mayor parte de las dietas en cerdos y normalmente proveen entre el 30 y el 60% del total de los aminoácidos requeridos (NRC, 1998). Como no suplen el total de proteína necesaria y son deficientes en lisina y otros aminoácidos esenciales, de acuerdo con la composición de la proteína ideal, se deben incluir materias primas concentradas en proteína y aminoácidos esenciales. En contraste, la mayoría de las fuentes energéticas producidas en el trópico (caña de azúcar y sus derivados, yuca, batata, plátanos, entre otros), están prácticamente libres de proteína y en general son menos concentradas energéticamente que los granos. Tanto para dietas básicas de cereales como para aquellas basadas en tubérculos y azúcares es importante que la fuente de proteína sea de alta concentración y buen balance de aminoácidos, para elaborar dietas poco voluminosas y no sobrepasar los límites físicos de consumo voluntario en los cerdos; de esta manera se pueden lograr crecimientos competitivos en comparación con los sistemas de alimentación convencionales de maíz y soya (Figueroa, 1996).

En Latinoamérica, las materias primas proteicas más usadas en alimentación porcina son la torta y el grano de soya, el gluten de maíz, las harinas de pescado y carne, leche en polvo, lactosa, suero sanguíneo, suero de queso y hemoglobina. También se

suplementan algunos aminoácidos producidos en forma sintética como lisina, metionina y treonina.

La creciente importación de fuentes proteicas como la soya, es una de las principales limitantes para un mayor desarrollo de la porcicultura en Colombia y la mayoría de países tropicales. En la región, la proteína es la porción más costosa de las dietas comerciales y su fuente principal es la torta de soya (Rostagno *et al*., 2011), lo que encarece la producción intensiva y generalmente no está al alcance de los pequeños porcicultores. Además, la producción de biocombustibles y la creciente demanda de China para la producción a gran escala de cerdos y aves, amenazan con disminuir la disponibilidad de soya en los países tropicales

Hojas de leguminosas y no leguminosas tropicales como fuente de proteína para cerdos

Las hojas de algunas leguminosas tropicales y otras familias son una opción para reemplazar parcialmente la soya en las dietas de cerdos (Preston, 2006).

Thomas Preston (Preston & Leng, 1989), (Preston, 2006) y más recientemente el programa de forrajes tropicales del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, han destacado las ventajas de los árboles y arbustos forrajeros para la alimentación animal en el trópico: son especies adaptadas de fácil producción en diferentes ecosistemas tropicales, incluyendo las laderas con suelos ácidos y de baja fertilidad, además tienen ventajas ambientales como la captación de CO_2, conservación de la fertilidad del suelo y retención de agua; muchas son perennes, de rápido crecimiento y buena producción de biomasa con importante contenido de proteínas (15-28%), poseen raíces profundas para aprovechar el agua y los minerales en el perfil inferior de los

suelos, son fuentes de madera y proveen sombra; si son leguminosas además fijan N atmosférico.

Producción de biomasa de algunos forrajes para cerdos

Las comunidades humanas de la región andina latinoamericana, han usado ancestralmente especies arbustivas y arbóreas para el consumo de sus animales domésticos (Rodríguez, *et al*., 2002), y algunos se han evaluado como cultivos. En la Tabla 1-1 se listan algunas especies arbóreas y arbustivas con potencial para la alimentación de monogástricos.

Estudiar cada especie donde su disponibilidad sea interesante, es una tarea importante a desarrollar porque la calidad nutricional puede variar. Hoy por hoy, la experiencia práctica lo que indica es que lo prudente es limitar no la fibra bajo un concepto global sino las materias primas fibrosas individualizadas en función de su efecto depresivo sobre los rendimientos de los animales. Todo ello bajo el prisma de los objetivos económicos de cada empresa, puesto que en más de una ocasión es más renTable producir cerdos por debajo de su máximo potencial de crecimiento (Santomá, 1997).

Una de las más estudiadas es el quiebrabarrigo o nacedero (*Trichanthera gigantea*) una *Acanthaceae* con buena producción de biomasa, en variados ecosistemas de la región andina. Un cultivo de un año de establecido, con 17.770 árboles/ha en Buga, Colombia, a 1000 msnm y con 1000 mm de precipitación anual, produjo 50 t anuales/ha de follaje fresco (hoja y tallo tierno), equivalentes a 11.0 t en MS y 1.8 t de PB (Gómez & Murgueitio, 1991).

- **Tabla 1-1.** Algunas especies arbóreas con potencial para la alimentación de monogástricos

Especie	Altitud (msnm)	Precipitación (mm)	Toneladas de material fresco /ha/año
Quiebrabarrigo (*Trichanthera gigantea*)	0 -2 400	600 - 8 000	40-60
Ramio (*Bohemeria nivea*)	0 - 2 500	1 000 - 3 000	50
Morera (*Morus alba*)	1 000 -2 400	1 000 - 3 000	40-70
Bore (*Alocasia macrorhyza*)	500 - 2 000	1 000 - 4 000	140-230
Pringamosa (*Urera caracasana*)	0 -1 800	1 000 - 4 000	1,2 Kg/planta
Matarratón (*Gliricidia sepium*)	0 - 1 200	500 - 2 000	60
Guandul (*Cajanus cajan*)	0 - 1 200	700 - 1 500	5
Botón de oro (*Tithonia diversifolia*)	0 - 1 200	600 - 2 400	40

Fuente: Sarria, 2000

Otra especie promisoria para alimentación porcina es el bore, *Alocasia macrorrhiza* (L) Schott, una planta gigante que puede alcanzar 5 m de altura y sus hojas hasta un metro de largo. Es muy eficiente para captar energía solar en condiciones de sombra, característica importante para asociarla con otras especies arbóreas. Crece rápidamente y se adapta bien en diversas zonas de vida desde los climas medios hasta cálidos y suelos pantanosos y de baja fertilidad. Se diferencia de las otras aráceas porque acumula carbohidratos en forma de almidón en el tallo aéreo, y sus hojas son ricas en proteína, características que la convierten en una especie promisoria para alimentación de cerdos y aves (Gómez, 2001). Tiene altos rendimientos de follaje; Gómez, 2001 registró producciones entre 10-11 t anuales de MS de follaje con 23% de proteína. Salcedo y Quintero, 2010 (datos no publicados), estudiaron la producción de follaje de bore y registraron que a intervalos de corte de 14 días se lograron los mayores rendimientos de MS y PC con valores de 22 y 3.7 t/ha-año respectivamente, con la ventaja adicional de mostrar un bajo contenido de fibra (13% de FDN y 10% de FDA).

La producción de follaje de morera fertilizado a razón de 480 kg N/ha produce alrededor de 53 t de forraje verde comestible anuales/ha y 2.3 t PB/ha (Rodríguez, et al., 2002).

Debido a las altas necesidades de proteína de los cerdos, las leguminosas pueden tener mayor potencial por sus mecanismos para atrapar nitrógeno. De esta familia se reconocen más de 18.000 especies en el mundo, la mayoría nativas del trópico, donde además se cuenta con la mayor radiación solar del planeta, y por lo tanto brindan

potencial para una alta productividad (Rodriguez *et al*., 2002). De estas especies se aprovechan los granos y las hojas o el follaje integral con hojas y vainas jóvenes.

En clima subtropical, DÍAZ, 2000 realizó un estudio en algunas leguminosas seleccionadas por su alta productividad y valor nutricional para animales. Evaluó la producción de follaje en la floración, dólico (*Stizolobium niveum*), mucuna (*Lablab purpureus*) y *Canavalia ensiformis* sembrados en dos épocas del año, julio con días largos y septiembre con días cortos. Los rendimientos fueron similares en las tres especies cuando fueron sembradas en julio, con 5 t MS /ha. y 0.83 t PB/ha, en 123 días promedio. Cuando se sembraron en septiembre fueron 86 días y las producciones variaron según la especie: Dólico produjo alrededor de 3 t MS, la mucuna 9 y Canavalia 2.4.

En Palmira, Colombia, a 1.000 msnm y 1.000 mm de precipitación anual Martens *et al*., 2008, compararon el potencial de producción de follaje de accesiones seleccionadas de Canavalia *brasiliensis* y *Vigna unguiculata*. La *C. brasiliensis* CIAT 17009, es una leguminosa perenne adaptada a un amplio rango de suelos (pH 4.3-8.0), de baja fertilidad y hasta 1.800 m de altitud, con una producción importante de rebrotes hasta el segundo año; cosechada a las 8, 12, 16 y 20 semanas, de establecida su rendimiento fue 1.1, 3.6, 6.1 y 12.3 t MS/ha., el contenido de PB fueron 15, 12.5, 7 y 12 %, alrededor de 60% de FDN y 40% de FDA para todas las edades. La *V. unguiculata* CIAT 9611, una leguminosa anual con un amplio rango de adaptación a diferentes ambientes, mostró rendimientos de 1.7, 3.5, 5.1 y 8.5 t MS/ha. a las 6, 8, 10 ó 12 semanas. La PB fue 21, 21.5, 17 y 11 %, la FDN 42, 50, 52 y 60% y la FDA 27, 30, 35 y 36%. La Vigna fue superior en precocidad, su rendimiento de MS a las 10 semanas fue similar al de Canavalia a las 16 semanas. En esta edad mostró un plus de 10 puntos de proteína y un contenido considerablemente menor de FDN y FDA, con mayor potencial para la alimentación de cerdos. Aunque la Canavalia produjo un nivel interesante de proteína/ha a las 12 semanas, su digestibilidad *in vitro* para rumiantes fue inferior a 60%.

Díaz, 2000 evaluó accesiones cubanas de Vigna y soya para la producción de follaje y forraje integral. La especie Vigna *unguiculata*, mostró rendimientos entre 1.1-4.3 t MS/ha de follaje (40-50 días) y 1.6-6.3 (50-60 días) de forraje integral, en variedades no agrupadas. En otro experimento, las agrupadas se cosecharon para follaje a los 77 días y las no agrupadas a los 91, con rendimientos por hectárea de 2.0 t MS y 0.55 t PB. Las

variedades de maduración no agrupada alcanzaron los rendimientos superiores ($p<0.001$) de MS y PB, con producciones de hasta 5.54 t MS / ha, y 1.03 t P B/ ha. La soya (*Glycine max*), fue cosechada para follaje a los 65 días posteriores a la germinación y el follaje con vainas entre los 90 y 95 días. En producción de hoja no se presentaron diferencias entre variedades y entre las variantes productivas de follajes y forrajes integrales, al alcanzar 0.89 y 0.99 t MS/ha, con 0.17 y 0.19 t PB/ha respectivamente. De esta manera la Vigna superó a la soya en rendimientos tanto de MS como de PB en condiciones cubanas.

En la Tabla 1-2 se resumen los rendimientos de las especies productoras de follajes más promisorias para sustituir parcialmente las fuentes convencionales de proteína en las dietas de cerdos en crecimiento. Se destacan el bore, la Vigna y la Canavalia.

Tabla 1-2. Potencial productivo en biomasa y proteína con especies forrajeras para la alimentación de cerdos

Especie	**MS t/ha-año**	**PC t/ha-año**	**Autor**
Nacedero	11	1,8	Gómez y Murgueitio, 1991
Bore	22	3,7	Salcedo y Quintero 2010, datos no publicados
Morera	11	2,3	Rodríguez *et al*., 2002
Canavalia	18	2,2	Martens *et al*., 2008
Vigna	20	3,4	Martens, et al., 2008
Soya	3	0,5	Díaz, 2000

Calidad nutricional de los follajes arbóreos y arbustivos para alimentación de cerdos

.

Una dificultad importante para la incorporación de proteína de hojas en la alimentación porcina, es el escaso conocimiento de su composición química y valor biológico (Figueroa, 1996). En la actualidad, se ha avanzado en el estudio de algunas especies, leguminosas y no leguminosas promisorias en la alimentación de monogástricos (Tablas 1-3 y 1-4).

Leterme *et al*., 2005 caracterizaron la composición química y de aminoácidos de las hojas de bore (*Xanthosoma sagittifolium*), morera (*Morus alba*) y nacedero (*Trichanthera gigantea*). Registraron la digestibilidad fecal aparente de MS (57, 56 y 47%), del N (34, 33 y 36%), y de la energía (53, 51 y 51%), respectivamente. La proteína digestible fue 5.7, 5.3 y 6.0% y la ED se estimó en 2037, 1731 y 1674 Kcal/Kg Los autores concluyeron que el principal limitante es su bajo valor energético, pero son recursos interesantes en proteína y minerales.

Tabla 1-3. Composición química de follajes usados en la alimentación de cerdos, %

Especie	Humedad	PC	EE	Fibra	Ceniza	ELN% o EB Kcal/kg
Canavalia brasiliensis (leguminosae ó Fabaceae)	77	13		60% FDN 40% FDA		
Canavalia ensiformis, hojas		22-25	2.2	27 FDA	10-11	
Vigna, *Vigna unguiculata* (Fabaceae, papilionidae)	85	16-20		40-50% FDN. 25-30% FDA		3006 Kcal/Kg
Vigna, *Vigna unguiculata,* forraje		13-20. 12-19 PV	2.3-3.2	41-45% FDN. 33-29% FDA	7.2-10.4	
Mucuna (*Stizolobium niveum*), hojas		20-27	2.8	30-35 FDA	6.1-7.1	
Dólico (*Lablab purupureus*)		19,3-25	3.6	29.8-32 FDA	8.6-10.6	
Soya (*Glycine max*), forraje integral		16-25	1.6-10.3	40-58 FDN 30-43 FDA		
Nacedero *Trichanthera gigantea* (Acantaceae)	79	16-21	4-8	17-43 FC	15-19	15 MJ/Kg
Ramio, *Bohemeria nivea* L. (Urticaceae)	77	16	5	20 FC	14	48%
Morera, *Morus alba* (Moraceae)	74	15-20	3-7	19-28 FC	11-20	42%
Bore, *Alocasia macrorrhiza* o *Xanthosoma sagittifolium* (Araceae)	87	21-24	6-10	12-19 FC	12-16	38%
Hojas:						
Bore, pecíolos:	90-95	6-10	1-5.2	12-16 FC	15	66%
Pringamoza Urera caracasana (Urticaceae)	81	28	2	18 FC	31	28%
Leucaena *Leucaena leucocephala* (Fabaceae, mimosaseae)		22.9	nd	58.9 FDN	Nd	nd
Kenaf *Hibiscus cannabinus* (Malvaceae)		17.6				

Compilado por la autora a partir de Díaz S 2000, Sarria 2005, Martens *et al*., 2008, Leterme *et al*., 2005, Echavarría *et al*., 2002

Tabla 1-4. Composición de aminoácidos de algunos follajes usados en cerdos (g/Kg de proteína)

	Nacedero	**Morera**	**Bore**	
			hojas	peciolo
Treo	43	46	42	29
Val	50	54	48	38
Ileu	41	43	37	26
Leu	72	82	75	49
Lis	43	57	56	40
Fen+Tir	79	86	76	42
Met+Cis	29	29	31	22
Trip	10	11	13	8
His	22	21	19	15
No esenciales	779	869	834	663

Leterme *et al*., 2005

Ly *et al*., 2004 analizaron la digestibilidad *in vivo* (ileal y total) e *in vitro* (pepsina/pancreatina porcinas) del N en cerdos para 38 especies de follajes arbóreos y arbustivos (Tabla 1-5). Concluyeron que la digestibilidad in vivo ileal del N puede ser predicha a partir de la digestibilidad *in vitro* mediante la siguiente ecuación:

D *in vivo* del N (%) = 12.967 + 0.756 D *in vitro* del N (%); (R^2 0.978; $p<0.001$)

Los mismos autores evaluaron la solubilidad del N, digestibilidad *in vitro* (pepsina/pancreatina porcinas), in vivo (total) y el balance del N en cerdos de 20 especies de follajes (Tabla 1-6). Concluyeron que la DIV ileal del N en cerdos puede ser estimada a partir de la solubilidad del N, mediante la siguiente ecuación

D *in vitro* del N (%) = 0.693 + 1.283 solubilidad del N (%); (R^2 0.988, $p<0.001$)

Díaz S, 2000 evaluó la caracterización bromatológica de los follajes de las leguminosas tropicales dólico (*Stizolobium niveum*), mucuna (*Lablab purpureus*), *Canavalia ensiformis*, soya (*Glycine max*) y Vigna (*Vigna unguiculata*). Las variedades de soya se caracterizaron por los mayores contenidos de PB, PV, EE y minerales. La Canavalia, el dólico y la mucuna alcanzaron los mayores valores de fibra y de sus componentes estructurales, mientras las variedades de vignas presentaron los más bajos contenidos de fibra, minerales y proteína. No obstante, las vignas mostraron una mayor proporción de PV con respecto a la PB, posiblemente asociado a una menor proporción de aminoácidos no proteicos o factores antinutricionales. Recomienda determinar los

indicadores bromatológicos PB, PV, FB, FDN, FDA, CEL, EE, P y K por ser los que explican el mayor porcentaje (82.31%) de variabilidad entre las especies y variedades a usar en alimentación animal. Igualmente es importante la caracterización de las sustancias antinutritivas.

- **Tabla 1-5.** Digestibilidad in vivo ileal e in vitro del N, determinada en cerdos alimentados con follaje1

Especies	**N, %**	**In vivo**	**In vitro**	**Autor**
Cajanus cajan	3.8	20.6	34.7	Macías, 1999
Helianthus tuberosus	2.6	20.3	18.1	Ly *et al*., 1996
Hibiscus rosasinensis	3.1	66.6	64.9	Macías, 1999
Ipomea batata (residuo de cosecha-tallos)	2.1	22.2	42.2	Domínguez y Ly, 1997
Ipomea batata (hojas)	2.2	41.9	56.8	Díaz, 1998
Manihot esculenta	2.2	43.9	41	González *et al.,* 1997
Leucaena leucocephala	2.2	52.8	44.2	Ly *et al.,* 1998
Musa paradisiaca	1.9	34.7	42	Ly *et al.,* 1997

[1] Estudio realizado por Ly *et al*., 2004.

. En las fuentes proteicas no convencionales altas en fibra, un aspecto que debe considerarse es la proporción del N total, asociado en su estructura a la pared celular de las plantas. Valores entre 44% y 95% para el N asociado a la FDN, con respecto al N total fueron registrados por Rodríguez y Figueroa, 1996. No fue el nivel de fibra sino la proporción de N asociado a ella, lo que pudo relacionarse con la digestibilidad del N medido *in vitro*. Queda por demostrarse la digestibilidad ileal del N, pues es conocido que hasta este punto es absorbido en cerdos.

- **Tabla 1-6.** Digestibilidad *in vitro* ileal del N* y solubilidad acuosa del N determinada en cerdos alimentados con follaje

Especies	N, %	DIV del N, %	N soluble, %	Referencia
Acacia auriculiformis	2.5[1] , 2.73[2]	26[1], 44.6[2]	21.4[1], 48.6[2]	Ly y Preston, 2001[1]. Ly *et al.,* 2001[2]
Acacia mangium	2.6	42.9	25.6	Ly y Preston, 2001
Acardium occidentalis	2.4	43.8	37.7	Ly y Preston, 2001
Amaranthus spp	2.7	51.5	56.5	Ly *et al.,* 2002
Arachys hipogea, residuos de cosecha	1.6	45.8	36.5	Ly y Preston, 2001
Artocarpus heterophyllus	1.8[2], 2.7[1]	42.8[1], 5.1[2]	32.8[1],7.7[2]	Ly y Preston, 2001[1]. Ly *et al.,* 2001[2]
Borassus flabellifer	1.27	3.7	5.5	Ly *et al.,* 2001
Canavalia ensiformis	3.91	50	57.6	Ly *et al*., 2002
Cocus nucifera	1.38	9.4	12.2	Ly *et al.,* 2001
Dermanthus virgatus	3.13	22.2	55.2	Ly *et al.,* 2001
Eucalyptus spp	1.35	25	20.4	Ly *et al*., 2001
Flamingia macrophylia	3.19	29.8	46.5	Ly *et al*., 2001
Gliricidia sepium	3.2[1], 3.3[2]	39.5[1], 69.4[2]	30.5[1], 62.2[2]	Ly y Preston, 2001[1]. Ly *et al*., 2001[2]
Hibiscus rosasinensis	4.2[1], 2.5[2]	67.8[1], 74.2[2]	51.8[1], 59.6[2]	Ly y Preston, 2001[1]. Ly *et al*., 2001[2]
Leucaena leucocephala	4.0[1]-3.1[2]	34.5[1]-21.0[2]	23.9[1]-30.4[2]	Ly y Preston, 2001[1]. Ly *et al*., 2001[2]
Manihot sculenta	4.0[2], 5.3[1]	57.8[1], 68[2]	44.5[1], 63.6[2]	Ly y Preston, 2001[1]. Ly *et al*., 2002[2]
Moringa oleifera	2.53	74.2	70	Ly *et al*., 2001
Morus alba	3.54	47.9	39.3	Ly *et al*., 2001
Musa acuminata	1.9[1] , 3.3[2]	33.9[1] , 32[2]	31[1] , 32.2[2]	Ly y Preston, 2001[1]. Ly *et al*., 2002[2]
Nypa fruticans	2	1	0.8	Ly y Preston, 2001[1]
Oriza sativa	0.9	0.2	0.1	Ly y Preston, 2001[1]
Stilozobium deeringianum	4.97	50.6	36.6	Ly *et al.,* 2002
Trichanthera gigantea	3[1] , 3.5[2]	10[1] , 17.3[2]	7.8[1] , 34.4[2]	Ly y Preston, 2001[1]. Ly *et al*., 2001[2]
Vigna sinensis	1.7	25.3	17.5	Ly y Preston, 2001

* La digestibilidad *in vitro* ileal del N en cerdos puede ser estimada a partir de la solubilidad del N, mediante la siguiente ecuación: D *in vitro* del N (%) = 0.693 + 1.283 solubilidad del N (%); (R^2, 0.988, $p<0.001$), (Ly *et al*., 2004).

Los follajes proveen calcio, minerales menores, vitaminas y son altos en beta-caroteno y xantofilas (Janky *et al*., 1986), aunque su contenido de factores antinutricionales es un limitante para su uso. Pueden reemplazar entre el 10%-15% de la proteína en las dietas de cerdos jóvenes o adultos (Sarria *et al*., 1991), (Figueroa, 1996) (Sarria, 2000) y (Sarria, 2005).

Según Savón, 1999, la utilización de forrajes para la alimentación de cerdos es el potencial más barato y abundante como fuente de proteína; complementan el uso de raíces, tubérculos, cereales y otros granos; evidencian un buen contenido de energía, vitaminas y minerales; debido al alto contenido de fibra pueden acondicionar un mayor desarrollo del tracto digestivo

Consumo voluntario

El consumo voluntario de la ración está dado por la densidad energética de la dieta, de manera principal entre otros factores (Henry, 1985 ; Smith *et al*., 1999), como la frecuencia de suministro, la forma física, la naturaleza, la temperatura, el espacio de alojamiento y la edad (Ly, 2008). La capacidad del tracto gastrointestinal puede ser un limitante para la ingestión de dietas fibrosas y voluminosas en cerdos jóvenes (Kyriazakis & Emmans, 1995). Las características de las fuentes fibrosas pueden afectar su consumo, La pulpa de algarroba fue mejor consumida ($p<0.05$) frente a pulpa de remolacha o harina de alfalfa al incluir 13% en base de MS a la misma dieta básica (Solá-Oriol, 2008, citado por Torrallardona y Roura, 2009.

Aunque la ingestión de raciones líquidas o húmedas es más rápida que las secas (Ly, 2008), en el caso de los follajes el contenido de humedad limita el consumo voluntario

(Figueroa, 1996). Esto fue demostrado por Leterme *et al*., 2005 al suministrar hojas de *Trichanthera* o *Xanthosona* frescas y picadas o secas y molidas, a cerdas de 100 Kg de peso vivo. La ingesta alcanzó 3.4 kg diarios para hojas frescas (0.51 Kg de MS) y 1.0-1.1 Kg de MS de harina de hojas/día. Es decir, el consumo se duplicó cuando los follajes fueron presentados en forma seca.

Díaz *et al*., 2004 evaluaron la aceptabilidad y patrón de consumo en cerdos alimentados con miel B de caña de azúcar y 0, 15 o 30% de harina de follaje de *Gliricidia sepium*. La inclusión de mayores cantidades de follaje determinó una prolongación ($P<0.001$), del acto prandial (13, 25 y 76 minutos), y una disminución ($P<0.001$), en la velocidad de ingestión (de 52, 33 y 10 g BS /minuto). Las diferencias fueron altamente significativas entre todos los tratamientos y especialmente marcada en el 30%, donde los cerdos mostraron desinterés por la dieta y su patrón de consumo fue totalmente distinto. Los autores observaron que hubo un componente en el follaje con olor inicial fuerte, que afectó la palatabilidad de las dietas. Recomiendan realizar mediciones de capacidad de retención de agua y niveles de fibra cruda o fibra detergente neutra a los alimentos para cerdos, debido a la alta correlación (-0.999, -0.677 y –0.678), de estos tres factores sobre el consumo voluntario. Considerando la mayor velocidad de ingestión ($P<0.001$), en la mañana (37 g BS /minuto) que en la tarde (26 g BS /minuto), los autores sugieren que para este tipo de dietas sería recomendable brindar la mayor parte del alimento en la mañana. Es importante considerar que el mayor tiempo empleado en el consumo de la dieta pudiera aumentar el gasto energético de los cerdos, como ha sido informado por De Heart y Merks 1992, citados por Díaz *et al*., 2004.

Comportamiento productivo

La inclusión de follajes tiene respuestas productivas diversas en cerdos.

Al suministrar hasta el 10% MS de hojas de *Trichanthera gigantea* a cerdos en levante y ceba alimentados con jugo de caña, disminuyó el consumo en 11%, la ganancia de peso

en 28% y hubo un deterioro de 23% en la conversión, comparado con la dieta testigo (Sarria, et al., 1991). Mientras que en cerdas gestantes no hubo efectos negativos sobre los parámetros del nacimiento y lactancia, cuando se suministró hasta el 32% como fuente de proteína (Sarria, 1994).

En la República Dominicana se ha logrado sustituir la torta de soya por follaje de leucaena o yuca hasta cubrir el 30% de los requerimientos de proteína para cerdos en crecimiento y ceba, alimentados con jugo de caña (Abreu, 1984 y Estrella, *et al*., 1985). Iguales resultados se han obtenido en pruebas de observación en Cuba, con el suministro de leucaena a cerdas gestantes, solamente con desperdicios procesados de comedores; se alcanzó un nivel de consumo máximo de 3.2 Kg de leucaena fresca y picada, que aportó más del 20% de la MS de la dieta del total consumido, sin cambios en los indicadores reproductivos de las cerdas (Barrios y otros, citados por Figueroa, 1996).

Piloto *et al.*, 1994, incluyeron las hojas de kenaf (*Hibiscus cannabinus*) hasta 20% de la MS en raciones para cerdos de 13 a 30 kg basadas en miel rica, sin deteriorar el consumo, la ganancia diaria, ni la conversión alimenticia.

Figueroa y Berra 1994, citados por Figueroa, 1996, reemplazaron el 12% de la proteína de una torta de soya convencional, por harina de follaje de soya, y el 20% con harina de la planta integral, ambas secadas al sol; las ganancias de peso fueron 290 y 332 gramos diarios, respectivamente, en lechones de 10 a 20 kg de peso vivo.

Ly *et al*., 2004 analizaron 43 estudios (realizados entre 1995-2003), para evaluar el potencial de 38 especies de árboles y arbustos tropicales como fuentes forrajeras de proteína para cerdos, en Cuba, Venezuela, Vietnam y Camboya. Concluyeron que si los follajes aportaban hasta el 20% de la PB en dietas balanceadas con 12%, 14% o 16% de proteína en reemplazo de la harina de soya, los follajes no afectaban la digestibilidad y el rendimiento de los cerdos durante el crecimiento.

Ensilajes de hojas forrajeras para mejorar su valor nutricional

El ensilaje de pastos y follajes es un proceso de conservación por períodos prolongados, basado en una fermentación anaeróbica que realizan bacterias ácido-lácticas del azúcar de la biomasa, que puede ser enriquecida entre 0-6% del forraje verde durante el llenado del silo. El momento adecuado de corte es la prefloración y se puede orear la planta hasta lograr 68%-73% de humedad antes de picarla. Los métodos conocidos (Pardo R, 2007) son:

- Horizontales: tipo búnker con paredes y piso de concreto o en madera y tierra recubierta con plástico y provistos con drenajes
- De montón
- En bolsas calibre 7 con capacidad de 30-35 kg empacadas al vacío
- Aéreos o de torre
- Subterráneos o de trincheras, poco usados por sus altos costos.

El efecto positivo de la digestión de los nutrientes por el uso de fuentes fibrosas fermentadas a partir de fermentaciones del alimento con *Saccharomyces diastalicus*, *S. cerevisiae* y lactobacilus, ha sido estudiado por Sandberg y Svanberg 1991, Svanberg *et al*., 1993 y Yodov y Khetapoul, 1995, registrados por Savón, 2005; Ellos observaron mejoras en la biodisponibilidad del hierro, eliminación de FAN´s, disminución de inhibidores de proteasas y amilasas, así como la destrucción de fitatos, taninos y polifenoles. Heinritz, 2011 registró la disminución de los taninos condensados en follajes de leguminosas sometidas a ensilaje.

Otro método ha sido la inoculación de bacterias y hongos celulolíticos y protozoos que deslignifican la fuente fibrosa y eliminan los FAN´s. En general en estas fuentes fibrosas mejoradas se ha tenido un aumento importante en la digestión de almidones, proteínas y cenizas.

La calidad nutricional de los ensilajes de hojas anchas supera la de las gramíneas. En Finlandia, Syrjälä-Qvist *et al*., 1984 estudiaron la proteína verdadera en ensilajes de

pasto Timothy, con hojas de Red Clover en proporciones de 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 y 0:100. Los decrecimientos de la proteína verdadera: proteína cruda y de N soluble: N total, fueron mayores en el pasto que en la hoja ancha, mientras que el perfil de aminoácidos no se alteró; las pérdidas de biomasa fueron mayores en los ensilajes de Red Clover que en el pasto Timothy.

Respuestas productivas al uso de ensilajes en cerdos

Los efectos benéficos del uso de ensilajes de follajes han sido ampliamente estudiados en rumiantes. Winters *et al*., 2001 lograron incrementos en la ingesta del 12% y en la ganancia diaria del 39% en bovinos de carne que consumieron ryegrass (*Lolium multiflorum* cv. RVP) y ryegrass híbrido (*Lolium perenne* x *L. multiflorum* cv. Augusta) con ácido fórmico o inoculante a partir de *Lactobacillus plantarum*. Meeske *et al*., 1999, registraron efectos positivos del inóculo bacterial ácido láctico (*Lactobacillus plantarum, Streptococcus faecium y Pediococcus acidilactici*) adicionado con enzimas, en la dinámica de fermentación *in vitro*, ingesta y digestibilidad en ovejas del ensilaje de *Digitaria eriantha.*

Los avances en cerdos han sido realizados principalmente en países europeos. Wecke, *et al*., 1990 estudiaron la digestibilidad y balance de N en cerdos de engorde, que consumieron ensilaje de maíz solo o mezclado con 10% a 20% de hojas de alfalfa, 5-20% de semillas oleicas de colza o 10% de frijoles. Todos los ensilajes mostraron alta calidad, con bajo nivel de amoníaco. El ácido láctico fue mayor en los ensilajes mezclados. Los contenidos de proteína cruda, lisina y otros aminoácidos esenciales, cenizas y fibra cruda fueron más altos en la mezcla que en el maíz solo y la calidad de la proteína fue mayor,

En Suecia, Malmlöf *et al*., 1990 evaluaron hojas de alfalfa secas o ensiladas (28% de PC) con una mezcla de cebada y harina de pescado, a razón de 1:4 (base seca), en la alimentación de cerdos en crecimiento. La digestibilidad de la materia orgánica y la proteína cruda de las hojas secas fue de 65% y 74%, mientras que para el ensilaje los correspondientes valores fueron 73% y 80%. La EM fue 11.2 y 13 MJ/kg de MS respectivamente. Los contenidos de lisina, treonina y metionina de las hojas frescas fueron 17.3, 12.7 y 5.3 g/kg de MS. Después del secado, los valores decrecieron a 14.4, 11.7 y 4.9, y para las hojas ensiladas fueron 15.2, 9.8 y 4.6. A pesar de las diferencias, ambas fracciones de alfalfa produjeron la misma retención de N (39% y 40%).

Wiesemüller & Poppe, 1990 lograron efecto positivo sobre el tamaño de la camada en cuatro ciclos reproductivos de 25 cerdas que recibieron ensilaje de lucerna o alfalfa (*Medicago sativa*), adicionado con rodajas de remolacha y 0.3% de ácido fosfórico. Durante los primeros 80 días de gestación consumieron 9 kg de ensilaje y 1 kg de cereal por día, el resto de la gestación una relación de 5:2 kg y en la lactancia 2: 4.5-5.5 kg El ensilaje contenía 18% de PC, 5.6% de lisina de alta digestibilidad ileal, 6.8% de ácido láctico y 0.08% de ácido butírico en base seca, de tal manera que los requerimientos diarios de energía y aminoácidos estuvieron cubiertos por 0.8-1.0 kg MS de ensilaje y 1.5 kg de cereal.

De esta manera, se observa que las hojas ensiladas de leguminosas tropicales tienen potencial como fuente de proteína para cerdos en crecimiento, vigilando el nivel de fibra.

.

Hipótesis

Dadas algunas ventajas ambientales de los monogástricos sobre los rumiantes por emitir pocos gases de efecto invernadero y no favorecer la tala de bosques para pastoreo, existe especial interés en evaluar el germoplasma seleccionado de follajes tropicales,

como fuente de proteína para cerdos (Peters *et al*., 2008). De esta manera se planteó la siguiente hipótesis general:

Algunos follajes de leguminosas tropicales con procesamiento de ensilaje o sin él, reemplazan por lo menos el 20% del aporte de la proteína de la soya, en las dietas de cerdos durante el crecimiento.

El programa de Forrajes Tropicales del Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, preseleccionó como potenciales para alimentación de animales monogástricos, las leguminosas *Cratylia argentea*, *Desmodium velutinum*, *Lablab purpureus, Vigna unguiculata, Stylosanthes guianensis, Centrosema brasilianum, Clitoria ternatea* y *Canavalia brasiliensis,* a partir de un grupo de especies promisorias, de un listado del germoplasma de forrajes (Tabla 1-7).

Sin embargo, son necesarios estudios más especializados. Debido a la dificultad y costos elevados para valorar las ocho especies en cerdos, se evaluaron dos contrastantes desde el punto de vista nutricional, con el fin de tener un rango de las posibilidades que ofrecen estas leguminosas seleccionadas para alimentación porcina. En esta tesis se presentan amplios estudios de dos especies contrastantes en su calidad.

- **Tabla 1-7.** Especies y usos como alimento animal con algunos criterios de producción

Cultivo	**Características como forrajera**								**Manejo y producción**							**Post-cosecha**		
	Alimento: grano-raíz-tubérculo-Hojas	Digestibilidad *in vitro*	Proteína y aminoácidos	Energía	Componentes antinutritivos	Ingesta voluntaria en rumiantes	Anual/ Perenne	Tolerancia a la sequía	Adaptación a baja fertilidad de suelos	Tiempo hasta la madurez de la planta	Intervalo entre cosechas grano/hojas (meses)	Producción de grano	Producción de hoja	Pérdida de hojas (marchitez/caída)	Continuidad de producción	Potencial para cosecha mecanizada	Tratamiento con calor (grano)	Molinaje / picado
Maíz	G/H						A				5/4							
Yuca	R/h						A/p				6?	n/a						
Batata	T/h						A				4?	n/a						
Soya	G/h		+				A				5/-							
Vigna unguiculata *	G/H		+				A				3/2							
Mucura pruriens	G/H						A				5/4					?		
Lablab purpureus *	G/H						A/p				5/4						?	
Cratylia argentea *	H						P				-/2	n/a					n/a	
Desmodium velutinum *	H						P				-/2	n/a					n/a	
Centrosema pascuorum	H						A				-/4	n/a					n/a	
Stylosanthes guianensis *	H						P				-/4	n/a				?	n/a	
Centrosema pubescens	H						P				-/4	n/a				?	n/a	
Morus alba	H						P				-/3	n/a		?	*	?	n/a	
Arachis pintoi	H						P				-/5	n/a			*	?	n/a	n/a
Cajanus cajan	G/H						A/p				6/5							
*Clitoria ternatea**	H						P				-/4	n/a					n/a	
Trichanthera gigantea	H						P				-/3	n/a					n/a	
*Centrosema brasilianum**	H						P				-/4							
Canavalia brasiliensis *	g/H				?	?	A/p				-/4						n/a	

* pre-seleccionada como interesantes para evaluación en monogástricos

Legend:

	superior/prefible
	medio/acepTable/requerido
	inferior/indeseable

Notas de las columnas

Letra en mayúscula = uso primario/producto
Letra en minúscula = uso secundario/producto
+/- = Alta calidad en aminoácidos/Deficiencias en aminoácidos
? = Desconocido
n/a = no aplicable

Fuente: el autor a partir de Cook *et al*., 2005 y Peters *et al*., 2008.

Los criterios de caracterización fueron su productividad agronómica en suelos de mediana a baja fertilidad en condiciones de trópico y subtrópico y la disponibilidad del forraje en el Valle y Cauca, buen contenido de proteína bruta y aminoácidos, pocos factores anti-nutritivos y alta digestibilidad *in vitro* para rumiantes, que sugieren una buena posibilidad como suplemento alimenticio para cerdos. Ante la dificultad de evaluar todas las especies preseleccionadas se optó por considerar dos. El criterio fue el contraste entre ellas, una de la que se esperaría una buena respuesta en cerdos: la Vigna CIAT 4555 (*Vigna unguiculata* (l) Walp), y la otra una menor calidad: Canavalia CIAT 17009 (*Canavalia brasiliensis*).

De acuerdo con el estudio realizado por Martens *et al*., 2008 en el CIAT, donde evaluó la producción y calidad a diferentes edades de cosecha de estas dos especies, *Vigna unguiculata* fue más precoz y recomiendan cosecharla a las diez semanas de establecida, mientras que *Canavalia brasiliensis* tuvo alta producción después de 16 semanas. Esta última con menor contenido de proteína cruda que Vigna (8-15 Vs 12-24%), más fibra (60-65 Vs 43-60% de FDN y 35-40 Vs 25-30% de FDA) y menos digestibilidad *in vitro* de la MS para rumiantes (58-65% Vs 74-77%).

Las hipótesis específicas a comprobar se centraron primero en evaluar por separado el valor nutricional de cada especie, así:

Las harinas de follaje de Vigna y Canavalia reemplazan más del 20% del aporte de la proteína de la soya, en las dietas de cerdos en crecimiento, sin disminuir el comportamiento productivo (ganancia de peso y conversión alimenticia), comparado con una dieta control.

Se utilizaron metodologías *in vivo* para relacionar los resultados con valores de composición química y digestibilidades *in vitro*. Se realizaron experimentos para evaluar

el consumo, la digestibilidad y los rasgos de comportamiento productivo. En el Capítulo 2 se presentan la composición química del follaje de Vigna (aminoácidos, factores antinutricionales y aspectos físicos como la capacidad de retención de agua) y los resultados de los experimentos con animales de la aceptación, digestibilidad total e ileal y efecto sobre el desarrollo del tracto digestivo. En el Capítulo 3 se relacionan los resultados del comportamiento productivo de cerdos de engorde recibiendo esta accesión como fuente parcial de proteína. En los Capítulos 4 y 5 se presentan los resultados respectivos para la especie *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009.

En los Capítulos 6 y 7 se detallan los resultados relacionados con el ensilaje de los follajes de leguminosas, desarrollados según la siguiente hipótesis:

Los ensilajes mejoran la palatabilidad, aumentan la digestibilidad y disminuyen los factores antinutricionales de las hojas y tallos de las forrajeras tropicales en cerdos.

En el Capítulo 6 se relacionan los resultados de un experimento de aceptación de los follajes ensilados de cuatro especies forrajeras, con el fin de analizar las posibles diferencias entre ellas y su correlación con factores de composición química y física. Con esta experiencia se planteó la evaluación comparativa de los ensilajes de las especies de mayor interés en este estudio (*Vigna unguiculata* 4555 y *Canavalia brasiliensis* 17009), (Capítulo 7), para verificar además las diferencias encontradas en los primeros Capítulos.

En el Capítulo 8 se presenta una discusión de los resultados alcanzados por esta investigación, relacionando los resultados *in vivo* con la composición química y pruebas *in vitro*, que permitan proyectar el potencial de los follajes de leguminosas mejoradas en cerdos, así como las expectativas de los ensilajes como opciones de procesamiento y utilización de las mismas forrajeras.

De esta manera el objetivo general de la tesis fue “evaluar la calidad nutricional de la harina y ensilaje del follaje (hojas y tallos tiernos) de Vigna *Vigna unguiculata* (l) Walp) y *Canavalia brasiliensis*, como fuente de proteína en cerdos durante el crecimiento.

Los objetivos específicos trazados fueron los siguientes:

- Determinar el valor nutritivo del follaje de Vigna (*Vigna unguiculata* (l) Walp) y *Canavalia brasiliensis*, como fuente de proteína en reemplazo de la soya para cerdos en crecimiento, a través de su composición química (materia seca, proteína cruda, proteína verdadera, energía bruta, extracto etéreo, cenizas, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, lignina detergente ácido, factores antinutricionales y aminoácidos), capacidad de retención de agua y pruebas con animales (palatabilidad, digestibilidad total e ileal *in vivo*, digestibilidad *in vitro*, efecto sobre el desarrollo del tracto gastro-intestinal y el comportamiento en animales de levante-ceba).

- Estudiar el efecto del ensilaje del follaje de Vigna (*Vigna unguiculata* (l) Walp) y de Canavalia *Canavalia brasiliensis*, sobre la composición química, palatabilidad, y digestibilidad de la proteína.

CAPÍTULO 2

Valor nutricional de la harina de hoja de Vigna (Vigna *unguiculata* (L) Walp.) para cerdos en crecimiento

Patricia Sarria[*], C Montoya[*], L M Yusti[*], I Orejuela[*], M Guevara[*], A C Cruz[*], J Arredondo[*], A Londoño[*] y M Peters[**]

Grupo Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira (UNCP).
pisarriab@palmira.unal.edu.co
**Universidad Nacional de Colombia- Sede Palmira.*
*** Proyecto forrajes mejorados multipropósito para el mundo en desarrollo, CIAT*

Artículo publicado en: Patricia Sarria, C Montoya, L M Yusti, I Orejuela, M Guevara, A C Cruz, J Arredondo, A Londoño y M Peters. Valor nutricional de la harina de hoja de Vigna (*Vigna unguiculata* (l) Walp.) en cerdos en crecimiento. *Livestock research for rural development.* 22(6) 2010.

Los estudiantes de pregrado en Zootecnia Lina María Yusti, Isabel Orejuela, René M Guevara, Carlos A Cruz y Julia Arredondo se vincularon a esta investigación bajo la modalidad participación en trabajos de investigación de la asignatura Trabajo de grado de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

Resumen

Se realizaron dos experimentos para evaluar el consumo y la digestibilidad de la harina de hoja de Vigna (*Vigna unguiculata)* (HC) en cerdos. En el primero se utilizaron 24 cerdos (22 a 29 kg de peso vivo) en un diseño experimental de parcelas divididas en el tiempo, con 2 períodos, 4 tratamientos y 3 repeticiones. Los tratamientos o dietas fueron 0, 10, 20 y 30% de inclusión de HC y se ofrecieron a voluntad de acuerdo con el peso metabólico de cada cerdo. La ingesta se midió por diez días, después de diez de adaptación. La inclusión de HC en la dieta hasta 30% de la MS incrementó el consumo de MS en forma curvilínea. Los mismos animales fueron sometidos a un segundo experimento para determinar la digestibilidad aparente a nivel total (heces) e ileal. Se midió el coeficiente de digestibilidad de la HC por el método de "la diferencia" reemplazando el 25% de una dieta control por HC y se determinaron los coeficientes de digestibilidad total e ileal con el uso de dietas balanceadas donde la HC aportó 0, 15 ó 30% de la proteína bruta. La digestibilidad total se hizo por recolección de excretas y se usó el marcador de cromo (Cr_2O_3) para determinar la digestibilidad a nivel ileal. Los coeficientes de digestibilidad aparente de la HC fueron 57% y 53% para la materia seca y la proteína bruta, respectivamente, y la digestibilidad ileal aparente de la proteína cruda fue 44%. Con las dietas balanceadas, los coeficientes de la digestibilidad aparente (nivel fecal) de la proteína cruda mostraron una tendencia a bajar según el nivel de la HC, mientras que la materia seca, la energía bruta, la fibra detergente neutra y la fibra detergente ácida fueron similares en los tres tratamientos. Al nivel ileal, **l**os coeficientes de digestibilidad de la materia seca, proteína cruda y energía bruta fueron inferiores en la dieta con 30% de proteína a partir de la HC. Los cerdos alimentados con niveles de 30% de proteína bruta a partir de la HC mostraron mayor desarrollo del intestino grueso frente al delgado, en comparación con los cerdos alimentados con la dieta testigo.

Se llegó a la conclusión que la HC fue bien consumida por los cerdos y la digestibilidad fue acepTable. Sin embargo, la digestibilidad de la proteína bruta disminuyó en forma curvilinear al incrementar el nivel de HC en la dieta.

Palabras clave: Consumo voluntario, digestibilidad fecal, digestibilidad ileal, hojas de leguminosas.

Nutritive value of leaf meal of Cowpea (*Vigna unguiculata* (l) Walp.) for growing pigs

Abstract

Two experiments were conducted to evaluate the consumption and digestibility of leaf meal of cowpea (*Vigna unguiculata*) (CLM) in pigs. In the first 24 pigs of 22-29 kg body weight (n=24) were used, in a design of split plot in the time with two periods, four treatments and three repetitions. The treatments or diets were 0, 10, 20 and 30% of HC inclusion. They were offered ad libitum according to the metabolic weight of the pigs. The intake trial lasted 10 days after an adaptation period of 10 days. The inclusion of CLM up to 30% of the diet increased DM intake in a curvilinear way. The same 24 animals were used in the second experiment to assess the effect on the total (feces) and ileal apparent digestibility. Coefficient of digestibility of the CLM alone was measured by the “difference method”, replacing 25% of control diet by CLM. In the test for determinate the coefficients of digestibility of balanced diets, the CLM contributed 0, 15 or 30% of the crude protein of the diet (dry basis). Total digestibility was measured by total collection of feces and use of chromium oxide (Cr2O) as internal marker to determine the ileal digestibility. The apparent total digestibility coefficients of the CLM alone were 57 and 53% for dry matter and crude protein, respectively, and the apparent ileal digestibility of the crude protein was 43%. The coefficients of apparent digestibility (total collection) of the DM, GE (gross energy), NDF and ADF were similar in the three balanced diets. In contrast, the apparent digestibility of crude protein showed a downward trend as the level of the CLM increased. At the level of the ileum, the digestibility coefficients of DM, CP and GE were lower in the diet with 30% protein coming from the CLM. Pigs fed the diet with 30% of the crude protein from CLM had greater development of the large intestine and less development of the small intestine, compared with pigs fed the control diet. It is concluded that the CLM was well accepted by the pigs and the digestibility was acceptable. However, the digestibility of crude protein was decreased in a curvilinear way with increasing CLM in the diet.

Keywords: Apparent fecal digestibility, apparent ileal digestibility, cowpea, voluntary intake.

Introducción

El trópico ofrece gran diversidad de plantas que pueden ser cultivadas para la alimentación de cerdos. La utilización de forrajes para dietas es el potencial más económico y abundante como fuente de proteína, complementan el uso de raíces, tubérculos, cereales y otros granos; poseen un buen contenido energético, de vitaminas y minerales, y debido al alto contenido de fibra pueden acondicionar un mayor desarrollo del tracto digestivo (Kass *et al*., 1980 y Savón, 1999).

Un forraje promisorio es la hoja de fríjol Vigna *(Vigna unguiculata* (L) Walp) (HC), leguminosa herbácea con hábito de crecimiento erecto, semierecto y rastrero, que crece hasta 80 cm, con un sistema de raíces bien desarrollado; bien adaptado a diferentes suelos y climas, con precipitaciones entre 700 y 2000 mm; rápido crecimiento entre 70 y 140 días, desde el nivel del mar hasta los 1.500 metros, con una producción de granos entre 1.2 a 2.0 toneladas/ha usados para alimentación humana en países tropicales de América y África (COOK *et al*., 2005).

En evaluaciones agronómicas realizadas por el programa de pastos y forrajes del CIAT realizadas por Peters *et al*., 2006, han señalado que la Vigna CIAT 4555, cultivado para la producción de hojas es una alternativa interesante por su rusticidad y poca competencia con la alimentación humana. Tiene una alta y fácil producción de biomasa, entre 7 y 50 t/ha de materia verde y de 3 a 8 t/ha de MS y cobertura en el suelo del 100%. Carranco *et al*., 1994 determinaron que la hoja de Vigna tiene un valor de proteína bruta de 16.5% en MS, lo que la ubica como una fuente interesante en alimentación de monogástricos.

La inclusión de fibra en raciones de aves y cerdos, generalmente produce un incremento en la ingesta para mantener el consumo de energía digestible, aunque hay una limitación en el consumo debido, entre otras, al mayor volumen de la dieta (Savón, 2005). Otro aspecto para tener en cuenta es el contenido de factores anti-nutricionales, ya que éstos afectan el consumo e interfieren en el proceso digestivo. Es importante anotar que la HC contiene solo 0,31% en la MS de taninos condensados totales (Scull & Savón, 2003).

El presente trabajo tuvo como objetivo conocer la composición química de la HC, evaluar el consumo voluntario, determinar su digestibilidad (aparente fecal e ileal) y conocer el

efecto de la sustitución de la proteína convencional por HC sobre la digestibilidad de dietas isonitrogenadas, y su efecto en el desarrollo del tracto gastrointestinal en cerdos durante la etapa de crecimiento.

Materiales

Los experimentos se realizaron en la Granja Mario González Aranda, de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira, Departamento del Valle del Cauca (Colombia, Sudamérica), ubicada a 03°32’22” latitud Norte y 72°18’13” longitud Oeste, con una temperatura promedio de 24 º C, 1000 msnm y una precipitación anual aproximada de 1.000 mm. Los análisis se hicieron en el laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira.

La Vigna (hoja y pecíolo) fue cosechado en el CIAT de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia, ubicado a 03°00’34” latitud Norte y 76°29’06” longitud Oeste),entre la 7ª y la 8ª semana después de la siembra, en prefloración (Figura 2). Fue secado al sol por dos días y procesados en un molino de martillos (con una criba de 0.5 mm).

Las pruebas de consumo y digestibilidad se realizaron con 24 cerdos machos castrados, producto de cruces de razas (Landrace, Large White, Pietran y Duroc), con pesos entre 22 y 29 kg.

Figura 2. Cultivo de Vigna, Santander de Quilichao, Cauca, Colombia (Fotografía CIAT)

Metodología

- **Análisis químicos**

Los protocolos utilizados fueron los siguientes:

MS: Secada a 105 ºC hasta un peso constante entre las 12 y 24 horas (AOAC, 1990) Método número 934.01.

PC: Metodología Kjeldahl utilizando el equipo BÜCHI. La concentración de N se multiplicó por 6.25 para estimar el contenido de proteína bruta.

Energía: Bomba calorimétrica, PARR 1341, (Parr Instrument, Moline, MA, USA) con oxígeno a 30 atm. Se midió el aumento de la temperatura del agua.

FDN, FDA y LDA: Determinación según los métodos propuestos por van SOEST *et al*., 1991.

Cenizas: Mufla a 550ºC durante 6 horas (AOAC, 1990). Método número 942.05. .

- **Ensayo de consumo**

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de parcelas divididas en el tiempo, con 2 bloques (unidades completas), 4 tratamientos (sub-unidades) por bloque y 3 repeticiones por tratamiento. El análisis estadístico tuvo en cuenta el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + D_j + (B \times D)_{ij} + (B \times R)_{ik} + + E_{ijk}$$

Donde Y_{ijk} es el consumo voluntario de alimento, μ la media general, B_i el efecto del bloque i, Dj el efecto de la dieta j, $(B \times D)_{ij}$ la interacción del bloque i × Dieta j, $(B \times R)_{ik}$ la interacción del bloque $_i$ × repetición $_k$, y E_{ijk} el efecto del error.

Las dietas y la alimentación:

Se prepararon dietas con cuatro niveles (0, 10, 20 y 30%, base seca) de inclusión de la HC (Tablas 2-1 y 2-2).

Se incluyó cascarilla de arroz para incrementar los niveles de fibra en las dietas con ninguna o menor proporción del follaje, de acuerdo con la metodología seguida por Leterme *et al*., 2005 para la evaluación de la ingesta voluntaria de dos especies de follajes en cerdos. Los animales se alojaron en corrales individuales (Figura 3). El periodo de acostumbramiento duró 10 días, ajustando el nivel de oferta según el peso vivo hasta 90 g MS/Kg $PV^{0.75}$ (40 g/Kg PV para cerdos entre 22 y 29 kg de peso vivo). Las mediciones se realizaron por 10 días suministrando el alimento 5 veces al día a las 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00 h. Treinta minutos después de cada oferta, se recolectaron los sobrantes, se rotularon y almacenaron en un congelador para posterior análisis.

Con la inclusión de harina de hoja de Vigna disminuyó el contenido de EE y EB. El contenido de PB presentó una leve tendencia a disminuir, mientras que se incrementaron las fracciones de la pared celular. Esto se debe a que fueron desplazados, ingredientes

como la torta de soya, el aceite de palma y el maíz amarillo, que tienen menor contenido de los componentes de la pared celular, que la harina de Vigna

- **Tabla 2-1** Composición porcentual de las dietas experimentales para evaluar el consumo de hoja de *Vigna*

	Inclusión de harina de hoja de Vigna, %			
	0	10	20	30
Maíz amarillo	54.7	49.2	43.7	38.2
Torta de soya	24.0	21.6	19.2	16.8
Cascarilla de arroz	10.0	9.0	8.0	7.0
Azúcar	4.0	3.6	3.3	2.8
Aceite	5.0	4.5	4.0	3.5
Harina de hoja de Vigna	0.0	10.0	20.0	30.0
Carbonato de calcio	1.1	1.0	0.9	0.8
Fosfato bicálcico	0.8	0.7	0.6	0.6
Sal yodada	0.3	0.3	0.2	0.2
Suplementos de minerales y vitaminas	0.1	0.1	0.1	0.1

- **Tabla 2-2.** Composición bromatológica de las dietas experimentales para medir consumo de follaje de *Vigna*

	Harina de hoja de Vigna, %			
	0	**10**	**20**	**30**
Materia seca, %	92.3	92.7	92.2	92.3
En base seca, %				
Proteína bruta	17.9	17.7	16.9	16.6
Extracto etéreo	5.6	5.0	5.1	4.3
Fibra detergente neutra	37.14	38.6	41.04	43.18
Fibra detergente ácida	9.76	12.09	14.72	16.42
Lignina detergente ácida	1.74	2.18	4.09	4.04
Energía bruta (Kcal/kg MS)	4107	4107	3974	3865

.

Figura 3. Cerdos comerciales utilizados para la evaluación del consumo de harina de hoja de Vigna.

- **Ensayo de digestibilidad**

Los animales se alojaron en jaulas metabólicas (Figura 4), siendo ofrecidas las dietas a nivel de 90 g MS/Kg PV $^{0.75}$, dividida en tres raciones al día (8:00, 12:00 y 17:00 h). Se ofreció el agua a voluntad. El peso inicial promedio fue 30±2 Kg La adaptación fue de 8 días y las mediciones se hicieron por 10 días. Se recolectaron los sobrantes 20 minutos después de cada oferta, se pesaron las excretas y se conservó una sub-muestra (5%) en un congelador a -18°C.

Para determinar la digestibilidad ileal de las dietas se siguió el método utilizado por Leterme *et al*., 2006: se marcaron las dietas con óxido de cromo Cr_2O_3, (2 g/kg de MS) durante los últimos tres días de la prueba, previo al sacrificio de los animales. Las muestras del tracto digestivo fueron tomadas para su posterior análisis. La determinación de cromo, se realizó según el método sugerido por Furukawa & Tsukahara, 1966. Para evaluar el desarrollo del tracto digestivo, se midieron la longitud de los intestinos y los pesos de estómago, ciego, colon e intestino delgado; así como el pH de su contenido.

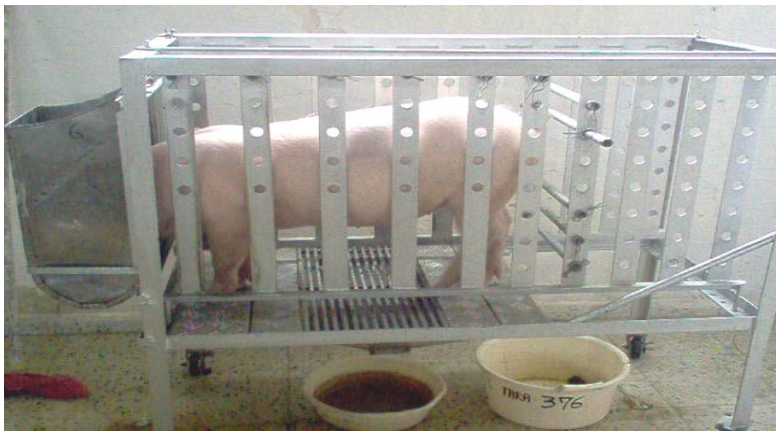


Figura 4. Jaula metabólica para la evaluación de digestibilidad fecal.

Se determinaron las coeficientes de digestibilidad aparente según dos protocolos: el primero para medir el efecto del reemplazo de la proteína convencional por HC, donde se utilizaron tres dietas balanceadas con 0, 15 y 30% de la proteína procedente de la HC (HC0, HC15, HC30) (Tablas 2-3 y 2-4); y el segundo para determinar la digestibilidad fecal aparente de la HC, por el método de la diferencia. Se tomó la misma dieta testigo anterior y se comparó con una dieta donde se incluyó la HC a nivel de 25% de la MS de la dieta (Tablas 2-3 y 2-4).

- **Tabla 2-3.** Composición porcentual de las dietas experimentales

	Reemplazo de proteína por Harina de hoja de Vigna, %			
	0	15	30	HC25*
Harina de hoja Vigna	0.0	12.5	25.0	25.0
Maíz	54.7	51.6	47.0	41.0
Torta de soya	24.0	20.0	15.8	18.0
Cascarilla de arroz	10.0	4.0	0.0	7.5
Azúcar	4.0	4.3	4.2	3.0
Aceite	5.0	5.5	6.1	3.8
Carbonato de Ca	1.1	0.9	0.7	0.8
Fuente de P	0.8	0.8	0.8	0.6
Sal yodada	0.3	0.3	0.3	0.2
Minerales y vitaminas	0.1	0.1	0.1	0.1

*Dieta usada en el ensayo de digestibilidad por diferencia

- **Tabla 2-4.** Composición bromatológica de las dietas experimentales

	Reemplazo de proteína por Harina de hoja de Vigna, %			
	0	15	30	HC25*
Materia seca, %	88.9	89.2	89.2	88.6
En base seca, %				
Proteína bruta	19.0	19.0	16.5	17.3
Fibra detergente neutro	25.6	26.0	28.5	32.8
Fibra detergente ácido	10.4	9.0	12.0	15.8
Lignina detergente ácido	2.9	3.1	4.0	4.7
Energía bruta, Kcal/kg	3604	3519	3484	3197

*Dieta usada en el ensayo de digestibilidad por diferencia. Los valores fueron determinados en el laboratorio de Nutrición Animal, Universidad Nacional de Colombia

El diseño estadístico fue de Bloques Completos al Azar en dos períodos con análisis combinado, donde se compararon los tratamientos HC0, HC15 y HC30. El modelo usado se describe en la Ecuación 1.1.

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + P_j + B_k\ (\text{Periodo})_j + (T*P)_{ij} + E_{ijk} \qquad (1.1)$$

Donde Y_{ijk} es la digestibilidad, μ es la media, T_i es el efecto del tratamiento, P_j es el efecto del periodo, B_k (periodo)j es el efecto del bloque dentro de periodo j, (T*P)ij es la interacción entre el tratamiento y el periodo y E_{ijk} es el error experimental.

Los coeficientes de digestibilidad fecal aparente fueron calculados según la Ecuación 1.2.

$$D_x\ (\%) = [(X_i - X_e) / X_i] * 100 \qquad (1.2)$$

Donde: D_x es la digestibilidad aparente de X (MS, N, FDN y EB), X_i es el consumo y X_e es la excreción en heces de cada componente.

A nivel ileal, la digestibilidad aparente de las dietas se calculó de acuerdo con la Ecuación 1.3.

$$Dx\ (\%) = 100 - [100 * (\%Cr_{dieta} / \%Cr_{ileon}) * (\%\ X_{ileon} / \%\ X_{dieta})] \qquad (1.3)$$

Donde: D_x es la digestibilidad ileal de X (MS, N, FDN y EB), y %Cr es la concentración de cromo.

La digestibilidad de la HC por el método de la diferencia se explica en la Ecuación 1.4.:

$$D_{HC}\ (\%) = [D_{Dieta} - (D_{testigo} * \%\ DC]\ /HC \qquad (1.4)$$

Donde: D_{HC} (%) es la digestibilidad aparente de la harina de Vigna, D_{Dieta} es la digestibilidad aparente de la MS de la dieta HC25, $D_{Testigo}$ es la digestibilidad aparente de la dieta testigo, DC es la inclusión de la dieta testigo y HC es el porcentaje de inclusión de la harina de Vigna.

En ambas pruebas se hizo el análisis estadístico mediante el procedimiento GLM del Software estadístico SAS, y la prueba de promedios por Rangos Múltiples de Duncan.

Resultados y discusión

- **Composición química de la HC**

El contenido de proteína bruta (%N x 6.25), en la MS (Tabla 2-5) de la HC fue similar al registrado por Martens *et al.,* 2008 para Vigna de 10 semanas de edad y se aproxima a otros forrajes utilizados en alimentación de cerdos: *Trichanthera gigantea* 16%, *Bohemeria ni*vea 16%, *Morus alba* 15-20% y *Alocacia macrorrhiza* 21-22% (Sarria, 2005). Sin embargo, la Vigna no aportaría la suficiente cantidad de proteína para satisfacer las necesidades de producción para cerdos en crecimiento, que rondan entre 16-21% (Rostagno, *et al*., 2011). En cuanto a la composición de la fibra, el follaje de Vigna se asemeja al de la planta entera de soya (*Glycine max*), sin embargo estudios agronómicos indicaron que la producción por hectárea de biomasa y proteína es cinco veces superior con Vigna que con soya, en condiciones de subtrópico (Díaz, 2000).

Tabla 2-5. Composición bromatológica de la harina de hoja de Vigna (% en MS, salvo para la MS en base secada al aire)

MS	PC	FDN	FDA	LDA	EB, kcal/kg MS	Capacidad de adsorción de agua
88.5	16.1	47.5	26.3	6.89	3006	7.44

El follaje de Vigna es una fuente aceptable de proteína en cuanto a su composición de aminoácidos (Tabla 2-6); aunque no contiene suficiente cantidad de lisina para llenar los requerimientos de cerdos en crecimiento; su balance es adecuado con respecto a los azufrados y presenta excesos de aromáticos y otros esenciales. Los contenidos de proteína y aminoácidos limitantes para cerdos en los follajes de leguminosas son aproximadamente la tercera parte de la torta de soya. Dentro de ocho leguminosas tropicales con potencial para la alimentación de cerdos, el follaje de Vigna junto al de Canavalia mostraron el mejor balance de lisina con respecto a met+cis, superando la torta de soya (Heinritz *et al*. 2010 datos no publicados).

- **Consumo voluntario en cerdos en crecimiento**

La inclusión de HC incrementó el consumo en forma curvilínea y diluyó la concentración energética (Tabla 2-7) y (Figura 5). La mayor capacidad de adsorción de agua de HC (7.4), en comparación con los demás componentes de la dieta -2.7 (cascarilla de arroz), 4.1 (torta de soya) y 2.4 (maíz) no afectó la ingesta. De esta manera se demuestra la buena palatabilidad y potencialidad de uso de la HC en la alimentación de cerdos. Los sobrantes presentaron valores de FDN similares a los de las dietas, es decir que los animales no separaron el material fibroso.

El aumento del contenido de carbohidratos estructurales en las dietas que incluyeron Vigna, provocó una menor energía digestible. Se evidenció un menor contenido de EB en los análisis proximales de las dietas, a la vez que, se incrementaron los carbohidratos estructurales (Tabla 2-2). La energía neta o líquida para porcinos disminuye con el contenido de fibra de las materias primas de la dieta (Rostagno *et al*., 2011), como se puede apreciar en la siguiente ecuación.

$$E\ Líquida\ suinos = 0{,}73\ EM + 13{,}1\ G + 3{,}7\ A - 6{,}7\ PB - 9{,}7\ FB$$

Donde EM= energía metabolizable; G = grasa%; A= Almidón %, PB es proteína bruta y FB = fibra bruta.

- **Tabla 2-6.** Composición de aminoácidos de la Harina de hoja de Vigna, comparado con los requerimientos del cerdo en crecimiento (% en MS)

	Harina de hoja de Vigna[1]	Requerimientos del cerdo[2]
Lis	0.85 (100)[3]	1.17 (100)
Met	0.25	0.34
Met + Cis	0.48 (57)	0.69 (59)
Treo	0.84 (99)	0.81 (69)
Asp	2.39	
Ser	0.8	
Glu	2.08	
Gli	0.94	
Ala	1.1	
Val	1.1 (129)	(68-75)
ILeu	0.75 (88)	(55-72)
Leu	1.43 (168)	(100-111)
Tir	0.44	
Fen	0.97	
His	0.43 (51)	(23-32)
Arg	0.97	
Pro	1.35	
Fen + Tir	1.41 (166)	(81-120)
Lis:Met+Cis	1.76	1.67
Lis:Treo	1.02	1.54 – 1.67

[1] Medidos por Sandra Hoedtke, Sonja Heinritz and Siriwan Martens, 2010 Amino acid pattern of legumes sampled in Valle del Cauca and Cauca/ Colombia, Universidad de Rostock. [2]Tablas brasileras, 2011. [3]En paréntesis el balance de aminoácidos con respecto a la lisina.

Tabla 2-7. Valores medios del consumo metabólico de los cerdos alimentados con diferentes niveles de harina de hoja de Vigna durante la etapa de crecimiento

	Nivel de harina de hoja de Vigna, %				**Valor de *p***
	0	***10***	***20***	***30***	
n	6	6	6	6	
Peso inicial, kg	26.3 (±1.5)	27.3 (±1.5)	25.3 (±1.36)	24.8 (±1.6)	ns
Consumo:					
g MS/Kg PV ^{0,75}	85.8^{b} (±1.5)	88.2^{ba} (±4.1)	89.3^{a}(±2.8)	90.6^{a} (±3.3)	**

Valores con diferente letra en la misma fila difieren a p (α < 0.05). ns = no hubo diferencias estadísticas significativas a *p* (α < 0.05).

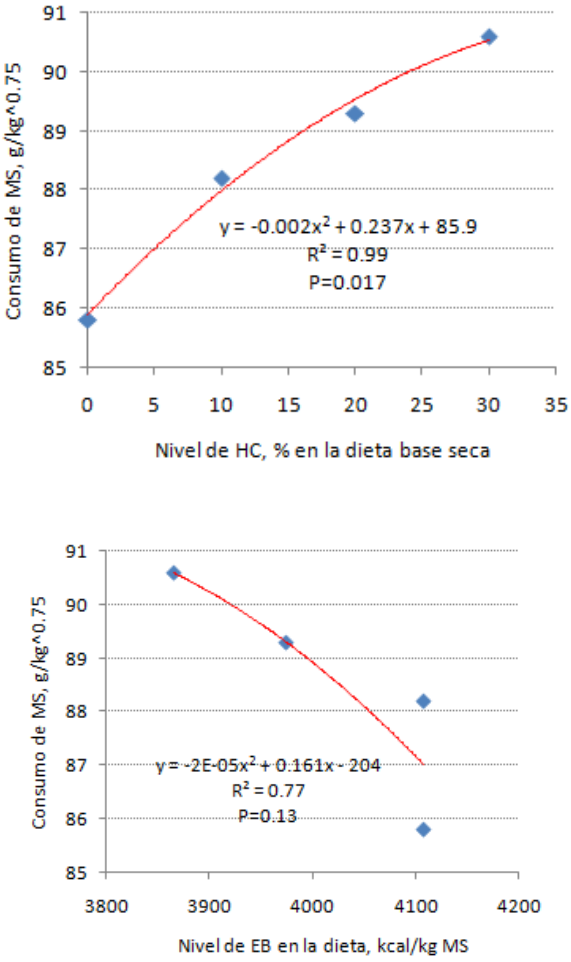


Figura 5. Consumo de dietas con niveles crecientes de harina de follaje de Vigna por cerdos su relación con el contenido energético de la dieta

La mayoría de estudios sobre utilización de energía en cerdos demuestran la dependencia fundamental de la eficiencia de la utilización de la energía en términos del sustrato y el producto de síntesis y de la capacidad de compensar la menor energía disponible para alcanzar el requerimiento, a través de un incremento en la ingesta. Varios autores han registrado el aumento del consumo cuando se disminuye el contenido de energía metabolizable en la dieta de cerdos (Brumm & Miller, 1994; Smith *et al*., 1999; Donzele 2005; Beltrán S, 2005). Esta compensación se hace más evidente cuando se

incrementan los carbohidratos estructurales, como es el caso del estudio.

Otro factor que pudo haber favorecido el consumo de la HC fue el bajo nivel de taninos condensados. Scull & Savón 2003 señalaron 0.31% de la MS, valor muy inferior al registrado en plantas forrajeras como la *Leucaena leucocephala*: 5.1% en MS (Mera, 2004) y 5.81% (Álvarez, 2001).

- **Digestibilidad total aparente de las dietas**

Los coeficientes de la digestibilidad aparente de la MS, la EB, la FDN y la FDA fueron similares en los tres tratamientos mientras que la digestibilidad aparente de la proteína bruta mostró una tendencia a bajar según el nivel de la HC (Tabla 2-8) y (Figura 6). La reducción de la digestibilidad de los nutrientes a medida que incrementa el nivel de follajes en la dieta de cerdos por el mayor contenido de FDN, ha sido señalada por varios investigadores (Ogle, 2006; Preston, 2006 y Kass *et al*., 1980).

Sin embargo, la Vigna solo afectó la digestibilidad de la proteína; posiblemente la fibra tuvo una buena degradabilidad en el intestino grueso y por eso la digestibilidad fecal de la MS y la fibra fueron similares al control, mientras que la energía decreció levemente, sin llegar a ser significativa. Esta respuesta fue diferente a la señalada por Kass *et al*., 1980 al incluir follaje de alfalfa en la dieta de cerdos, que causó depresión en la digestibilidad de la materia seca, el N y todos los componentes de la pared celular. Los contenidos de pared celular y lignina de las dietas con alfalfa utilizadas por estos autores (26 a 31% de FDN y de 3 a 5% de lignina en las dietas con 20 a 40% de inclusión de alfalfa), fueron similares a los del presente experimento (26 a 29% de FDN y 3 a 4% de lignina en las dietas con 13 y 25% de inclusión de Vigna). A partir de esta observación se puede inferir que los contenidos de fibra y lignina no son suficientes para explicar las diferencias en la digestibilidad total.

Tabla 2-8. Digestibilidad fecal aparente (%) de dietas, con inclusión de harina de hoja de vigna como fuente de proteína en cerdos durante el crecimiento

	Reemplazo de la proteína de la dieta por harina de vigna, %			SEM[1]	Valor de *p*
	0	15	30		
Materia seca	79.2	80.8	78.5	4.2	ns
Proteína cruda	81.7[a]	82.7[a]	79.9[b]	4.2	**
Energía bruta	81.1	82.4	81.6	4.4	ns
Fibra detergente neutro	63.0	66.8	63.8	16.0	ns
Fibra detergente ácido	50.9	51.2	50.5	11.0	ns

[1]Error estándar de la media. Valores con diferente letra en la misma fila difieren a *p* (α < 0.05). ** *p* (α < 0.05). ns = no hubo diferencias estadísticas significativas.

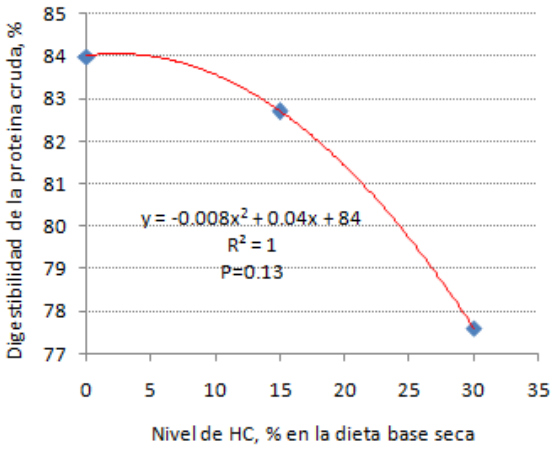


Figura 6. Relación entre el nivel de harina de hoja de Vigna y la digestibilidad aparente de la proteína bruta en cerdos durante la etapa de crecimiento.

- **Influencia de la sustitución de proteína convencional por proteína de HC en la digestibilidad ileal aparente de las dietas**

El interés de esta evaluación fue determinar el coeficiente de digestibilidad de la PC debido a que la absorción de aminoácidos sucede hasta el íleon. La digestibilidad de la

proteína cruda fue inferior en la dieta con HC (Tabla 2-9). El valor de la digestibilidad ileal de la proteína para la hoja sola de Vigna se calculó en 44.3% por el método de la diferencia.

Esto se puede explicar, según Michelangeli *et al*., 2004 debido a que la fibra podría comportarse como una "trampa" para aminoácidos y péptidos, disminuyendo su absorción intestinal. En la dieta con 30% de PB a partir de la HC, hubo mayores contenidos de FDN, FDA y LDA (Tabla 2-4). La fibra disminuye la digestibilidad de casi todos los nutrientes y la energía, es degradada por microorganismos y absorbida como ácidos grasos de cadena corta en el ciego y el colon, después de la digestión enzimática hasta el intestino delgado que convierte los carbohidratos en monómeros y los lípidos y proteínas en oligómeros (Wenk, 2001).

Tabla 2-9. Valores medios de la digestibilidad ileal en cerdos alimentados con harina de hoja de Vigna como fuente parcial de proteína

Nutriente	Aporte de la HC a la proteína de la dieta			SEM[1]	Valor de *p*
	0	15	30		
Materia seca	79.7[a]	83.7[a]	63.6[b]	4.4	**
Proteína cruda	87.3[a]	86.4[a]	76.0[b]	5.4	**
Energía Bruta	80.4[a]	83.4[a]	61.2[b]	7.9	**

[1]Error estándar de la media. Valores con diferente letra en la misma fila difieren a *p* ($\alpha < 0.05$). ** *p* ($\alpha < 0.05$).

- **Digestibilidad de la HC**

Los coeficientes de digestibilidad total e ileal se observan en la Tabla 2-10. Los primeros señalan un valor para MS similar a otros forrajes. En el caso de la digestibilidad de la proteína, la HC fue superior (53.2%) a la registrada para *Xanthosoma sagittifolium*, *Morus alba* y *Trichanthera gigantea* (34.4, 33.0 y 36.3%) por Leterme *et al*., 2005. Aunque, en el presente trabajo la inclusión del follaje de Vigna fue 25% y ellos usaron 35% y el mismo método de la medición por el método de la diferencia.

En cuanto a los coeficientes de digestibilidad ileal, los valores de la dieta con 13% de harina de hoja de Vigna resultaron muy similares a los obtenidos con la dieta control, señalando valores muy altos de digestibilidad ileal para la hoja sola. Estos valores fueron consistentes con los coeficientes de digestibilidad *in vitro* (Tabla 2-10) y con los obtenidos

con una dieta balanceada que tenía inclusión de 12.5% de la MS de harina de hoja de Vigna aunque disminuyó al incluir 25% (Tabla 2-9, donde la Vigna aportó 15% de proteína). De esta manera, se infiere una alta degradabilidad hasta el íleon de la proteína del follaje de Vigna que puede mostrar limitaciones cuando se supera el 25% de inclusión en las dietas balanceadas de cerdos en crecimiento.

- **Tabla 2-10.** Valores medios de los coeficientes de digestibilidad aparente total e ileal (%) de las dietas y de la harina de hoja de vigna sola, calculados por el método de la diferencia

	Dietas		Vigna sola
	Control	25% de vigna	
Digestibilidad total:			
Materia seca	79.2	73.6	56.8
Proteína cruda	84	76.3	53.4
Energía bruta	81.1	71.2	41.6
Fibra detergente neutro	63	60.8	54.0
Fibra detergente ácido	43.3	51.7	76.7
Digestibilidad ileal:			
Materia seca	79.8	80.7	83.4
Proteína cruda	87.3	89,0	94.1
Energía bruta	80,4	78.7	73.6
Digestibilidad in vitro:			
Materia seca	65.0	67.3	74.4
Proteína cruda	86.0	89.2	98.7

- **Desarrollo del tracto gástrico intestinal (TGI) en cerdos alimentados con HC**

Los cerdos alimentados con niveles de 30% de proteína bruta a partir de la HC mostraron mayor desarrollo del intestino grueso frente al delgado (Tabla 2-11), tanto en longitud total como en el peso del colon. Posiblemente se deba al mayor contenido de fibra de la dieta HC que incrementó la actividad microbiana en la parte inferior del TGI, en comparación con la dieta sin HC. El efecto de mayores contenidos de fibra en la dieta sobre el incremento del peso del ciego y del colon fue demostrado por Kass *et al.*, 1980. Los valores de pH en diferentes partes del TGI fueron similares para las tres dietas.

- **Tabla 2-11.** Desarrollo del TGI de los cerdos alimentados con dietas en las cuales 15 y 30% de la proteína fue proporcionada por la harina de hoja de Vigna HC

	Control	**HC 15**	**HC 30**	Valor de *p*
Longitud, m				
Intestino grueso	3.4[b]	3.7[ab]	4.4[a]	**
Intestino delgado	17.8[a]	16.3[ab]	14.5[b]	**
Peso, g/ 45 kg PV				
Estómago	368	413	395	ns
Intestino delgado	1493	1338	1351	ns
Ciego	120	142	132	ns
Colon	611[b]	738[ab]	779[a]	**
pH del contenido				
Estómago	2.6	2.8	2.5	ns
Ciego	5.2	5.4	5.3	ns
Colon	5.7	5.9	5.5	ns

Valores con diferente letra en la misma fila difieren a *p* ($\alpha < 0.05$). ** *p* ($\alpha < 0.05$).

Conclusiones

- Dietas con inclusiones hasta 30% PB a partir de la harina de hoja de vigna (*Vigna unguiculata* accesión 4555), fueron bien consumidas por cerdos en crecimiento.
- La digestibilidad fecal aparente de la MS, EB, FDN y FDA de las dietas con 15 y 30% PB de vigna fue similar a una dieta con torta de soya como principal fuente de proteína, y la digestibilidad de la proteína bruta tanto fecal como ileal fue reducida cuando la vigna aportó el 30% PB.
- Los coeficientes de digestibilidad total de la vigna sola, calculados por el método de la diferencia (57% y 53% para MS y proteína bruta respectivamente), fueron superiores a otros forrajes evaluados en cerdos.

- La vigna incrementó el tamaño del colon en comparación con los cerdos alimentados con la dieta sin follaje.
- Se recomienda la medición de la respuesta de cerdos que reciban hasta el 30% de proteína a partir del follaje de Vigna en dietas balanceadas, con el fin de evaluar la palatabilidad, crecimiento y conversión alimenticia como variables del comportamiento productivo. Se presume que disminuiría el comportamiento con mayores inclusiones de Vigna debido a la menor digestibilidad de la proteína, tanto a nivel ileal como fecal, observada en el presente estudio.

.

Capítulo 3

Follaje de caupí (*Vigna unguiculata* (l) Walp.) como fuente de proteína para cerdos en crecimiento

Patricia Sarria*, L F Rivera*, R Araujo* y M Peters**

Grupo Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira (UNCP).
pisarriab@palmira.unal.edu.co
**Universidad Nacional de Colombia- Sede Palmira*

*** Proyecto "More chicken and pork in the pot, and money in pocket: Improving forages for monogastric animals with low-income farmers", financed by the German Ministry for Cooperation and Development (BMZ), CIAT.*

Artículo publicado en: P. Sarria, F. Rivera, S. Martens y M. Peters. Follaje de caupí (*Vigna unguiculata*) como fuente de proteína para cerdos en crecimiento. *Revista Computarizada de Producción Porcina* 17(3) de 2010, 229-233.

Resumen publicado en: Patricia I. Sarria1, Luis Fernando Rivera, Roberto Araujo, Michael Peters, Siriwan Martens**.** Growth of Pigs Fed with *Vigna unguiculata* Herbage Meal as Protein Supplement. Tropentag, "World Food System — A Contribution from Europe" September 14-16, 2010, Zurich.

El estudiante de pregrado en Zootecnia Luis Fernando Rivera se vinculó a esta investigación bajo la modalidad participación en trabajos de investigación de la asignatura Trabajo de grado de la carrera de Zootecnia en la Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira.

Resumen

Catorce cerdas comerciales de engorde fueron usadas para evaluar la harina de hoja de caupí (HHC) accesión CIAT 4555, como fuente de proteína en el comportamiento productivo durante la etapa de crecimiento (25-60 kg de peso vivo). Se utilizó un diseño completamente al azar, con cuatro o cinco repeticiones y tres tratamientos: control, Vigna 15% PB y Vigna 30% PB (PB, N x 6.25), consistentes en dietas balanceadas e isonutricionales basadas en maíz, soya y salvado de trigo, con cantidades crecientes de HHC como fuente de PB.

El período de acostumbramiento fue de siete días seguido por 49 días de medición con pesajes semanales y control diario de consumo de alimento, ofertando 90 g MS/kg $W^{0.75}$ repartido en dos raciones al día. Los consumos medios fueron 1 582, 1 484 y 1 590 g/día con ganancias de peso de 640, 570 y 590 g/día respectivamente por tratamientos. Las conversiones alcanzaron 2.49, 2.59 y 2.69 kg MS/kg aumento, sin diferencias significativas ($P>0.05$) entre tratamientos.

Se sugiere que la HHC puede reemplazar el 30% de la proteína de la dieta, sin afectar negativamente los rasgos productivos.

Palabras clave: Forraje, caupí, leguminosa, cerdos, levante, proteína

Cowpea (Vigna *unguiculata* (l) Walp.)) foliage as source of protein for growing pigs

Abstract

Fourteen commercial fattening pigs were used to evaluate cowpea foliage meal (CFM) accession 4555, as a protein source on growth performance during the growth phase (25-60 Kg live weight). A completely randomized design was used with four or five repetitions and three treatments: control, cowpea 15% PB and cowpea 30% PB (PB, N x 6.25), consistent and isonutricional balanced diets based on maize, soybean meal and wheat bran, with increasing amounts of CFM as protein source in the diet.

The adaptation period was seven days followed by other 49 days with weekly weighing and monitoring of daily food intake, supplying 90 g DM /kg $LW^{0.75}$ divided into two daily rations. Mean feed intake was 1 582, 1 484 and 1 590 g/day with weight gain of 640, 570 and 590 g respectively per treatments. The feed conversions were 2.49, 2.59 and 2.69 kg DM/kg gain, without significant differences (P>0.05) among treatments.

It was concluded that CFM may replace 30% of dietary protein without negatively affecting productive traits.

Keywords: Foliage**,** cowpea, legumes, growing pigs, protein

Introducción

La proteína cruda en las dietas animales es la principal limitante de muchos sistemas de producción animal en el trópico (Humphreys, 1991; Winrock International, 1992). Aunque la compra de alimentos concentrados podría permitir a los pequeños productores expandir su producción, el flujo de caja generalmente es insuficiente, o el concentrado es costoso, difícil de conseguir, o simplemente no está disponible (Peters *et al*., 2006b).

El follaje de plantas leguminosas y no-leguminosas podrían ser alternativas económicas para sustituir fuentes convencionales de proteína en dietas de monogástricos para sistemas de pequeños y medianos productores y en concentrados comerciales, con la ventaja que no compiten con la alimentación humana. Varias leguminosas forrajeras están bien adaptadas a condiciones marginales para la agricultura, particularmente suelos ácidos con baja fertilidad y variable disponibilidad de agua (Peters & Hincapié, 2007).

Las harinas de follaje de leguminosas usualmente tienen un nivel alto de lisina (Baldi & Salamini, 1973), de calcio, minerales menores y vitaminas; además son altos en betacaroteno y xantofilas (Janky *et al*., 1986), así como en factores antinutricionales. En la literatura existen algunos estudios en los que se ha medido el efecto de harinas de leguminosas en producción y en algunos casos digestibilidad (Tangendjaja *et al*., 1990; Ravindran & Blair; 1992; Liu *et al*., 2002; Janky *et al*., 1986).

El caupí *Vigna unguiculata* (l) Walp, es una leguminosa herbácea con hábito de crecimiento erecto, semierecto y rastrero, con una altura de 80 cm y un sistema de raíces bien desarrollado. Se adapta a diferentes suelos y tiene una producción de granos entre 1.2 a 2.0 t/ha, usados para alimentación humana en países tropicales de América y África (Cook *et al*., 2005). Evaluaciones agronómicas realizadas por el programa de pastos y

forrajes del CIAT en Colombia y el IITA en Nigeria, han señalado que el caupí es un cultivar adaptado a estrés abiótico, con cobertura en el suelo del 100%, produce entre 2-9 t MS/ha a las 6-12 semanas, con 12-20% de proteína cruda PC, y se cultiva como productor de hoja o doble propósito: grano y hoja (Peters *et al*., 2006ª;Tarawali *et al*., 1995; Tarawali *et al*., 2000; Martens *et al*., 2008).

Sarria *et al*., 2010a registraron que la harina de hoja de Vigna HHC es una fuente interesante para alimentación de cerdos que contiene 88.5% de MS, 56.8% de digestibilidad fecal aparente de la MS, 16.1 % de PC, 8.6 % de proteína digestible PD, 3007 Kcal./Kg de energía bruta EB, 1250 Kcal./Kg de energía digestible ED, 47.5% de FDN, 26.29% de FDA y 6.89% de LDA.

En el presente estudio se evaluó el comportamiento productivo de cerdos durante la etapa de levante, que consumieron harina de hoja de caupí como fuente de proteína.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en la Granja Mario González Aranda, de la Universidad Nacional de Colombia- Sede Palmira, departamento del Valle del Cauca (Colombia, Sudamérica), ubicada a 03°32’22” latitud Norte y 72°18’13” longitud Oeste, con una temperatura promedio de 24 º C, a una altitud sobre el nivel del mar de 1000 m. y una precipitación anual aproximada de 1000 mm. Los análisis se realizaron en el laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia- Sede Palmira.

El caupí (hoja y pecíolo) fue cosechado entre la 7ª y 8ª semana después de la siembra durante la prefloración, en el CIAT de Santander de Quilichao, (Cauca Colombia), ubicado a 03°00’34” latitud Norte y 76°29’06” longitud Oeste. Fue secado al sol por dos días y procesado en un molino de martillos (0.5 mm). La composición bromatológica de la harina de hoja de caupí se muestra en la Tabla 3-1. Se observó un mayor contenido de

PC que el registrado en el anterior trabajo (Sarria *et al*., 2010a). Debido al contraste de 11 puntos de proteína y 1300 Kcal/Kg de EB, los análisis fueron repetidos y los valores fueron similares. Otros autores que registraron contenidos nutricionales de la mima variedad de Vigna y producida en los mismos lotes, también registraron diferencias importantes: 16% PC, 54% FDN y 35% FDA (Martens *et al*., 2008) y 24.3% PC, 36.5% FDN y 23.5% FDA (Heinritz *et al*., 2012). La edad de la Vigna después de sembrado afecta significativamente la composición nutricional, al pasar de 20% de PC a las 8 semanas, a 12% de PC a las 12 semanas (Martens *et al*., 2008).

- **Tabla 3-1.** Composición de la harina de hoja de caupí (*Vigna unguiculata* (l) Walp, accesión 9611 CIAT).

MS, %	90.1
PC, %	27.3
EB, Kcal./Kg	4301
Cenizas, %	8.6
Extracto etéreo, %	6.7

Para desarrollar el experimento se utilizaron 14 hembras de cruces comerciales de las razas Pietran, Large White y Landrace, con un peso inicial promedio de 25.4 ±1.96 kg, que fueron alojadas en corrales individuales provistos de canoa y bebedero. Las cerdas fueron distribuidas al azar en tres tratamientos con 4 ó 5 repeticiones.

Los tres tratamientos fueron dietas balanceadas isonutrinicionales para cerdas de engorde, con alto potencial genético y desempeño regular, según las Tablas brasileras de requerimientos nutricionales (Rostagno *et al*., 2011). Se utilizó una dieta Control compuesta por una mezcla de maíz, soya, salvado y aceite vegetal y dos tratamientos experimentales donde se incluyó harina de follaje de Vigna sustituyendo el 15% y 30% de la PB de la dieta, respectivamente (Tabla 3-3). La composición porcentual de las dietas se detalla en la Tabla 3-2. En la Tabla 3-3 se presenta la liquidación nutricional de las dietas.

- **Tabla 3-2.** Composición (%) de las dietas para cerdas en levante con inclusión de harina de hoja de Vigna

Ingredientes	Control	Vigna 15% PB	Vigna 30% PB
Harina de Hoja de Vigna	0.0	17.0	32.9
Maíz	46.8	45.5	44.0
Torta de soya	14.0	12.5	12.0
Harina de pescado	5.0	5.0	5.0
Salvado de trigo	30.0	14.9	0.0
Aceite de soya	2.1	3.0	4.0
D-L Metionina 99%	0.35	0.35	0.35
L-Lisina HCl 78%	0.25	0.25	0.25
Carbonato de calcio	0.74	0.74	0.74
Fosfato bicálcico	0.35	0.35	0.35
Sal marina	0.28	0.28	0.28
Premezcla vitamínico mineral	0.10	0.10	0.10

- **Tabla 3-3.** Aporte de los diferentes ingredientes al contenido de proteína bruta de las dietas

Materia prima	15% de PB Vigna			30% de PB Vigna		
	Cantidad, %	Proteína bruta Contenido, %	Aporte a la dieta, %	Cantidad, %	Proteína bruta Contenido, %	Aporte a la dieta, %
Maíz amarillo	45,5	8,8	4	44	8,8	3,872
Trigo salvado	14,93	14,8	2,2	0	14,8	0
Torta de soya	12,5	44	5,5	12	44	5,28
Hna pescado	5	65	3,3	5	65	3,25
Aceite de palma	3	0	0	4	0	0
L-Lisina HCL 78%	0,25	95	0,24	0,25	95	0,2375
D-L metionina 99%	0,35	58	0,2	0,35	58	0,203
Vigna	17	16	2,72	32,93	16	5,2688
Carbonato de Calcio	0,74	0	0	0,74	0	0
Fosfato bicálcico	0,35	0	0	0,35	0	0
Sal común	0,28	0	0	0,28	0	0
Minerales y vitaminas	0,1	0	0	0,1	0	0
Total	100		18.12	100		18.1

Tabla 3-4. Liquidación nutricional teórica y real de las dietas experimentales

	Control	CAUPI 15%PB		CAUPI 30%PB	
		T[1]	Lab[2]	T[1]	Lab[2]
MS, %	90	90	88.6	90	88.9
PC, %	18.4	18.1	16.4	18.1	20.2
EB, Kcal./Kg	nd	nd	4445	nd	4405
EM, Kcal./Kg	3258	3326	--	3212	--
Calcio, %	0.63	0.61	nd	0.59	nd
Fósforo disponible, %	0.37	0.31	nd	0.26	nd
Cenizas	nd	--	5.2	--	7.4
EE,%	nd	6.0	7.0	6.1	9.0
FDA, %	5.8		8.7		10.6

[1] calculado teóricamente. [2] medido en laboratorio

El alimento fue ofertado en dos raciones suministradas a las 8:00 y 13:00 h, de acuerdo con el apetito de los cerdos durante la semana de adaptación a las dietas, llegando a 90 g de MS/kg $PV^{0.75}$. El período de adaptación a las dietas fue de 7 días y 49 días fueron dedicados al muestreo experimental. Las cerdas fueron pesadas cada semana y el suministro de alimento fue calculado según el peso. Los rechazos fueron recogidos a las dos horas de ofertado el alimento.

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro ó cinco repeticiones y tres tratamientos: control, Vigna 15% PB y Vigna 30% PB (PB, N x 6.25). Las variables fueron ganancia diaria, consumo de alimento diario y consumo diario en kg de MS y consumo diario por kg de peso vivo metabólico ($LW^{0.75}$) y conversión alimenticia.

Los datos fueron procesados por un modelo lineal donde se utilizó el programa estadístico SAS 9.1 para Windows 2002- 2003 y las medias fueron analizadas mediante la técnica de análisis de varianza (Steel, 1980). La comparación de las medias se realizó mediante las pruebas de Duncan y Tukey.

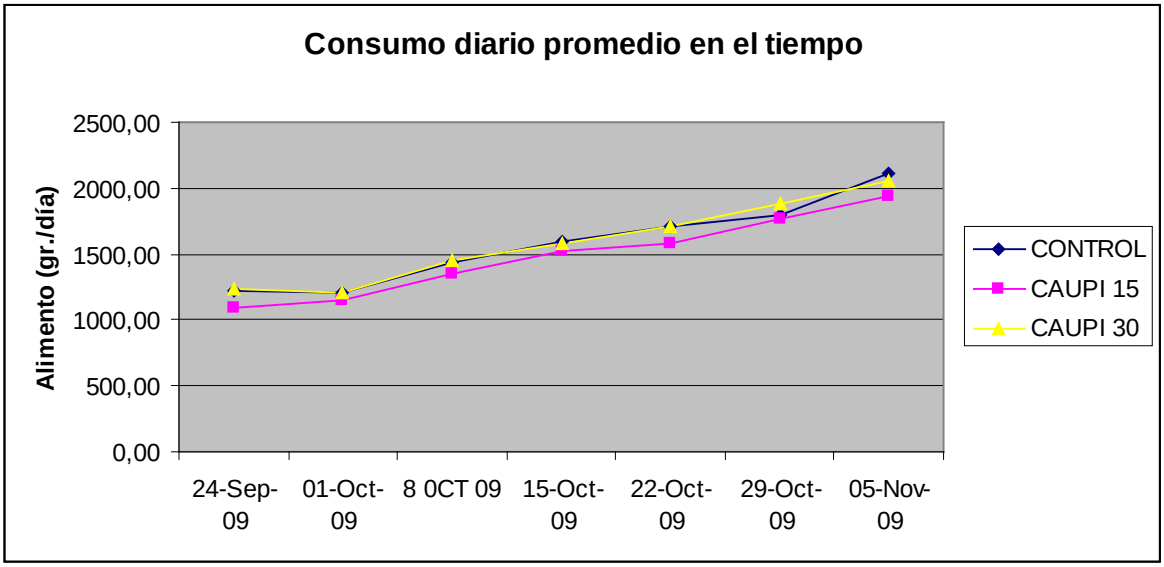
Resultados

El consumo diario y en kg de MS por kg de peso metabólico fue ligeramente mayor en la dieta con 30% de proteína a partir de hojas de Vigna y no mostró una respuesta lineal (Figura 7), pues fue seguido por el control y el más bajo fue el de 15%. Este mismo efecto se pudo observar en la variable ganancia diaria, aunque el tratamiento Control tuvo una respuesta ligeramente mayor a la de los tratamientos con Vigna, no hubo una respuesta lineal, pues la inclusión del 30% de proteína a partir de hojas de Vigna fue levemente superior a la del 15%.

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para las variables ganancia diaria, consumo de alimento diario y consumo en kg de MS por kg de peso vivo metabólico ($LW^{0.75}$), ni conversión alimenticia ($p>0.05$) (Tabla 3-5).

La conversión alimenticia, a pesar de no mostrar diferencias significativas, sí tuvo una respuesta lineal desmejorando en la medida que se incluyó mayor Vigna en la dieta, el R^2 fue igual a 0.60 ($p<0.001$) en la prueba de regresión. Es decir, que los nutrientes de la dieta control fueron mejor aprovechados por el animal para ganar peso, mostrando una ligera desventaja la harina de hoja de Vigna.

En la Tabla 3-6 se presenta el análisis financiero de acuerdo con la conversión alimenticia obtenida con los tres niveles de HHC como fuente parcial de proteína en las dietas. El costo de la ración se realizó con los precios de las materias primas utilizadas en las dietas experimentales para el año 2013. El valor de la HHC se calculó en $250/kg de acuerdo con una conversación personal con Nelson Vivas quien acompañó a los productores en el establecimiento de bancos de follajes en el departamento del Cauca, Colombia, con el programa de forrajes tropicales del CIAT.



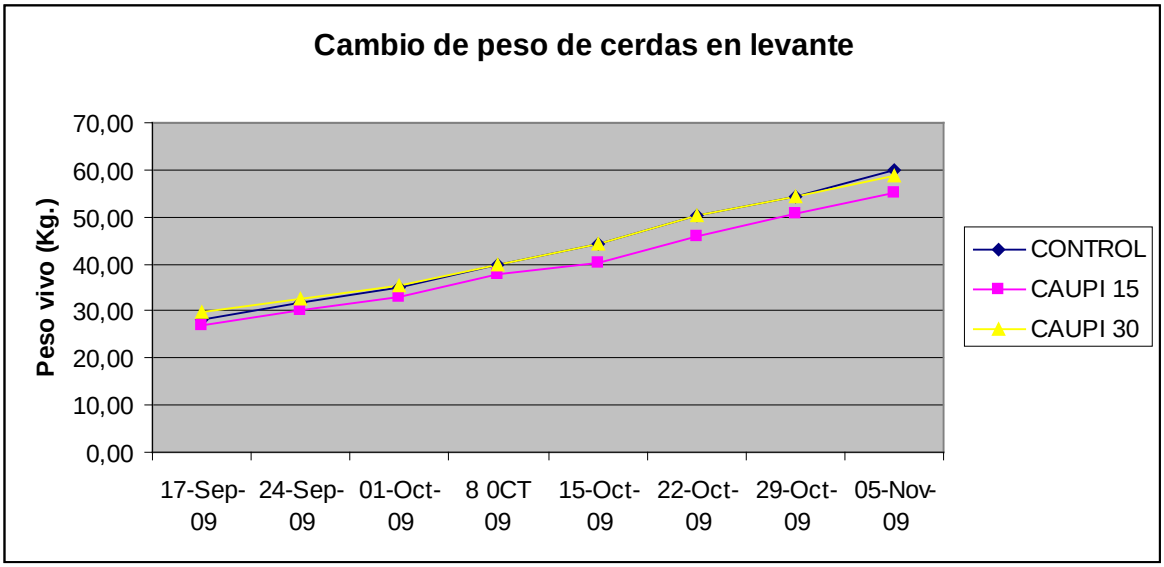


Figura 7. Comportamiento de cerdos en crecimiento recibiendo harina de hoja de Vigna como parte de la dieta

Tabla 3-5. Comportamiento de cerdas de engorde durante el levante, alimentadas con harina de hoja de Vigna como fuente de proteína

	Control	Vigna 15% PB	Vigna 30% PB	SEM[1]	CV%[2]	Valor de *p*[3]
No. de animales	5	5	4			
Peso vivo inicial, kg	28.4	27.1	29.6	1.9	6.8	ns
Peso vivo final, kg	60.0	55.2	58.7	4.6	7.7	ns
No. de días	49	49	49			
Ganancia diaria, g	640 ±100	570±30	590±50	68.3	11.3	ns
Consumo diario, g	1582 ±82	1484 ±91	1590 ±35	76.1	4.9	ns
Conversión	2.49 ± 0.3	2.59 ± 0.1	2.69 ± 0.2	0.21	8.3	ns
Consumo, (Kg/KgW$^{0.75}$)	84.8 ± 1.8	84.1 ± 2.2	85.1 ± 1.0	1.8	2.1	ns

[1] Error estándar de la media. [2] Coeficiente de variación. [3]Valor de Probabilidad p ($\alpha < 0.05$). ns = no hubo diferencias estadísticas significativas

- **Tabla 3-6.** Margen Parcial por kg de peso vivo producido (USD$) con harina de hoja de Vigna como fuente parcial de proteína cruda (PC) en cerdos durante la etapa de levante

	Aporte de la HHC a la PC de la dieta (%)		
	0	15	30
Conversión alimenticia	2,49	2,59	2,69
Precio por kg de ración, USD$	0,562	0,530	0,506
Costo de producción por kg de peso vivo	1,399	1,373	1,362
Precio de venta por kg de peso vivo	2,407	2,407	2,407
Margen parcial por kg de peso vivo	1,008	1,034	1,045
Relación beneficio/costo	0,720	0,753	0,767

Se presentó un mayor margen monetario por cada kilogramo de peso vivo de cerdo producido con las dietas que incluyeron follaje de Vigna como fuente de proteína. La mayor inclusión mejoró el margen en 6.5% con respecto al control. Lo anterior señala la posibilidad financiera que tiene la Vigna para ser incluido en las raciones de cerdos.

Discusión

La ganancia diaria no presentó diferencias significativas (P>0.05), al incluir cantidades crecientes de PB a partir de hojas de Vigna en reemplazo de la soya, el maíz y el salvado de trigo, a pesar que los follajes arbóreos y arbustivos poseen una baja concentración de nitrógeno, menor disponibilidad de aminoácidos que las fuentes convencionales como la soya, y presentan mayor contenido de fibra y factores antinutricionales (Figueroa, 1996).

Las hojas de Vigna tienen buena respuesta en cerdos en crecimiento, similar a lo registrado con follaje de leucaena *Leucaena leucocephala* o yuca *Manihot sculenta* (Abreu, 1984 y Estrella *et al*., 1985), y harina de kenaf (*Hibiscus cannabinus*) (Piloto *et al*., 1994). Estos últimos registraron igual conversión de la MS y de la PB consumida al incluir el 20% de kenaf BS en reemplazo parcial de la torta de soya en lechones jóvenes (11-25 kg PV); lo relacionaron con una eficiente utilización del N.

Artiles O, 2012 señaló que los mayores incrementos de peso obtenidos en cerdos con dos dietas fibrosas (con 25% de ensilaje de *Vigna unguiculata* y 14% de FDA o 25% de ensilaje de *Lablab purpureus* y 16% FDA), frente a una dieta testigo (salvado de trigo y millo molido con 6% de FDA), se pueden explicar por el aumento de peso del tracto digestivo (Kyriazakis & Emmans, 1995; Whittemore *et al*., 2002). En el Capítulo 2 (Tabla 2-11) se estableció que la longitud del intestino grueso y el peso del colon aumentaron al incluir mayor cantidad de harina de hoja de Vigna en la dieta (p<0.05), de tal manera que esto pudo suceder en el presente experimento. Sin embargo, en el estudio realizado por Sarria *el al.,* 2011 (no publicado), los cerdos en finalización mostraron igual rendimiento en canal cuando consumieron dietas con 11 y 18% de FDA frente a 7% de la dieta control, en dietas con 15% y 30% de la proteína a partir de una mezcla de los follajes *Cratyilia argentea* y *Brachiaria* Mulato II. En futuros trabajos es recomendable llevar los animales hasta el final de la ceba y establecer la ganancia diaria con el peso final de las canales, así se determinaría si el incremento de peso es o no causado en parte, por el mayor peso del TGI.

.

Otros follajes como el nacedero (*Trichanthera gigantea*) provocaron una disminución hasta de 175 g en la ganancia diaria con respecto a la dieta control ($p<0.05$) (Sarria *et al*., 1991), que pudo estar relacionado con una menor digestibilidad del N (Leterme *et al*., 2005).

La harina de hoja de Vigna HHC es una interesante alternativa forrajera para la alimentación de cerdos, por su muy buena palatabilidad y PD superior a otros forrajes evaluados en cerdos. Su inclusión en 30% de la proteína en las dietas no afectó la digestibilidad fecal aparente de la MS, Energía, FDN y FDA, pero sí redujo la digestibilidad de la proteína tanto fecal como ileal (Capítulo 2). Algunos autores señalan que la presencia de fibra dietética en las dietas de cerdos disminuye la digestibilidad fecal aparente de la proteína cruda y posiblemente la digestibilidad ileal, pero no necesariamente la eficiencia en la retención de N (Bindelle *et al*., 2008), lo que puede ser el caso del follaje de Vigna. Recientemente se ha establecido que inclusiones superiores al 5% de fibra en las dietas de cerdos es benéfico por su función digestiva en el intestino delgado y grueso con efectos sobre la reducción del colesterol y la glucosa sanguínea, mantenimiento de la salud del tracto gastrointestinal TGI, aumento en la biodisponibilidad del calcio y la función inmune (Choct, 1997 y Leterme *et al*., 2005).

El consumo de alimento en gramos diarios no presentó diferencias significativas ni tampoco tendencias a desmejorar con el aumento de los niveles de Vigna en las dietas balanceadas. Una medición más precisa como es el consumo en MS por kg de peso metabólico, fue similar entre los tres tratamientos. En el Capítulo 2, los consumos aumentaron al tiempo que se incluyó mayor cantidad de harina de hoja de Vigna en las dietas imbalanceadas, posiblemente por una compensación que los animales hicieron por la disminución en la concentración de la energía. Lo anterior indica que cuando las dietas fueron isoenergéticas inclusiones hasta el 33% de Vigna (en base de materia seca) no afectaron el consumo.

Según los resultados de este trabajo se concluyó que la harina de hoja de Vigna puede proporcionar hasta un 30% de la proteína de la dieta, sin afectar los parámetros

productivos en cerdos durante la etapa de crecimiento (20-60 kg de peso vivo). Se espera el mismo comportamiento durante la ceba (60-120 kg), por ser una fase menos exigente. La viabilidad financiera del uso del follaje de Vigna en las dietas de cerdos en crecimiento fue positiva.

Capítulo 4

Nutritional value of *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009, foliage meal in growing pigs

Patricia I Sarria B[1], Diego A Buitrón I[1], L Andrea Rendón C[1], Leidy J Torres M[1] And Siriwan Martens[2]

[1] *Universidad Nacional de Colombia (UNAL) Sede Palmira, Department of Animal Science, Colombia.*

[2] *International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Tropical Forages, Colombia*

Resumen publicado en: Patricia I. Sarria1, Diego A Buitrón, Andrea Rendón, Leidy J Torres and Siriwan Martens. Nutritional Value of *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009 Herbage Meal in growing Pigs. Tropentag, "Resilience of agricultural systems against crises". September 19-21, 2012, Göttingen -Kassel/Witzenhausen (seleccionado como presentación oral).

Los estudiantes de pregrado en Zootecnia Diego Arvey Buitrón, Leidy J Torres y Andrea Rendón. se vincularon a esta investigación bajo la modalidad participación en trabajos de investigación de la asignatura Trabajo de grado de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

Abstract

In different tropical regions, *Canavalia brasiliensis* foliage may offer an alternative feeding option for pigs because of their high protein content (19%), good biomass yield and other ecological and economic advantages.

The objective was to study the consumption and digestibility (total and ileal) of Canavalia foliage meal CFM in growing pigs. A first experiment was conducted to measure consumption and total digestibility of dry matter DM, crude protein CP and gross energy GE. Twenty-four commercial animals of 38.7±5.4 kg body weight were utilized to study 0, 10, 20 and 30% of Canavalia foliage meal (CFM) inclusion. Digestibility coefficients were measured by total collection of feces and coefficients of digestibility of CFM alone was estimated by the “difference” method. The inclusion of CFM did not affect DM intake ($p>0.05$), but decreased the apparent digestibility of DM and GE ($P<0.05$). The apparent digestibility of crude protein (CP) showed a tendency similar ($P=0.07$). The average apparent digestibility coefficients of the CFM alone were 50% DM, 60% CP and 46% GE.

A second experiment was carried out with the objective to measure ileal digestibility of dry matter and crude protein. Completely randomised experimental design was used, with two treatments (control and 25% of inclusion of Canavalia leave meal) and twelve growing pigs (112.4 ± 9.0 Kg). Diets were offered during 14 days. Chromium oxide (Cr_20_3) was used as internal marker at 2 g/Kg of the diets, during five days previous to slaughter. Results showed the digestibility coefficients were lower in the diet with Canavalia ($P<0.05$). Based on both experiments, it is concluded that nutritional value of Canavalia is acceptable. Inclusion level around 10% is recommended to evaluate productive performance in growing pigs.

Keywords: Consumption, crude protein, ileal, total, apparent digestibility.

Introduction

The crude protein in animal diets is a main limitation in many animal production systems in the tropics (Humphreys, 1991 and Winrock International, 1992). Although the purchase of concentrates may allow the smallholder to expand his production, the cash-flow generally is not sufficient or the concentrate is costly or hardly available (Peters *et al*., 2006b). Foliage or whole plant forage of legumes or other plants could serve as economic alternatives for substituting conventional protein sources. It is seen as an option for small and medium enterprises as well as commercial concentrate plants with the advantage no to compete with the human nutrition. Various forage legumes are well adapted to marginal conditions in agriculture, especially to acid soils with low fertility and variable water availability (Peters & Hincapié, 2007). Several authors had evaluated the benefits to include foliage of plants into pig growing diets (Tangendjaja *et al*., 1990; Ravindran & Blair, 1992; Liu *et al*., 2002 and Odunsi *et al*., 2002).

Since 2000, CIAT in collaboration with farmers and national partners identified a number of promising cover crop legume species especially adapted to the soils and the climate of the hillsides in Colombia, Nicaragua and other countries (Peters, 2003). *Canavalia brasiliensis* Mart. Ex. Benth (Figure 8), also known as Brazilian jack bean, is a legume selected by farmers for its high productivity, good soil cover and outstanding level of drought tolerance based on green forage yield (Peters *et al*., 2004). It is a weak perennial legume can be grown on a wide range of soil pH (4.3–8.0) on low fertile soils up to a height of 1.800 masl and has a good regrowth up to the second year. In Palmira Colombia, *Canavalia brasiliensis* yield 6.1 ton/ha dry matter (DM) at 16 weeks (MARTENS *et al*., 2008).

Figure 8, ***Canavalia brasiliensis*** **(Photography CIAT)**

Canavalia brasiliensis 17009 foliage is acceptable foliage for ruminants; it has 20% of dry matter DM, around 12% of crude protein and 59-65% in-vitro DM digestibility for ruminants (MARTENS *et al*., 2008). In general, Canavalia had good crude protein content and fewer digestible compared to other foliage like *Vigna unguiculata*. Due its agronomy characteristics and adaptation into different environments, it is interesting to know its nutritional value in monogastric animals.

In this essay consumption, total and ileal apparent digestibility of *Canavalia brasiliensis* 17009 meal in growing pigs, was investigated.

Material and methods

The trial was carried out on the experimental farm of the National University of Colombia, Palmira (03°32’22” latitude N and 72°18’13” longitude W). The aerial part of *Canavalia brasiliensis* was harvested at the experimental station of CIAT in Santander de Quilichao (Cauca, Colombia), (03°00’34” latitude N and 76°29’06” longitude W), between 15 and 16 weeks of growth, before florescence. It was sun-dried for 4 days and milled to 3 mm.

- **Consumption and total digestibility experiment:**

Twenty four commercial male pigs with the initial average weight of 38.7±5.4 Kg were utilized. They were housed in individual metabolic cages with feeder (Figure 9).

It was used a completely randomized block design with 4 treatments, two periods or blocks and three pigs per treatment in each period. The reason for using two blocks or periods was the existence of 12 metabolic cages only. In both periods the experiment was repeated with four treatments and three replicates each.

Figure 9. Metabolic cage for pigs in Colombian National University –Palmira

The statistical analysis was conducted according to the following model:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + D_j + (B \times D)_{ij} + (B \times R)_{ik} + E_{ijk}$$

Where Y_{ijk} is the voluntary intake or digestibility of diets (DM, CP and gross energy), μ is the general mean, B_i is the effect of block i, D_j is the effect of the Canavalia level j, $(B \times D)_{ij}$ is the interaction of block i × level j, $(B \times R)_{ik}$ is the interaction block i × repetition k and E_{ijk} is the effect of error.

Data were processed by Statistical Software SAS 9.1 using GLM Procedure and test Less Significant Difference LSD for digestibility coefficients of diets and Canavalia meal alone (dry matter, crude protein and gross energy).

The samples of foods and feces were dried using an oven at 60°C and ground in an electric mill. They were analysed for dry matter content using an oven at 105°C for 12 h, and the ash by burning the sample in a muffle furnace for 5 h at 600 °C, crude protein (Kjeldahl method) (AOAC, 1990). Neutral and acid detergent fiber (NDF, ADF) and acid detergent lignin were analysed by the method by van SOEST *et al*., 1991. Gross energy was measured using a calorimeter bomb PARR. The water adsorption capacity was measured by centrifugation and filtration, described by Savón & Gutiérrez, 1999 from the method developed by McConwell *et al.* 1974. 0.5 g of Canavalia leave meal were weighted and added with distilled water, 16 hours after were carried out in a centrifuge (Quadract Indulab) at 3000 rpm; 1 hour after the supernatant water was removed with the aid of a syringe and the wet sample was weighed again. Finally the wet sample was dried at 105°C during six hours. The water retention capacity was calculated using the following equation:

$$WHC = (WS - DS)/(IS * ADM)$$

Where, WHC is the water holding capacity of the Canavalia leave meal WS is the weight of wet sample, DS is the weight of dried sample, IS the initial weight of sample and ADM the analytical dry matter content.

The control diet was balanced for growing pigs with high genetic potential and regular performance according to the Brazilian nutritional recommendations (Rostagno *et al*., 2011). Treatments were 0, 10, 20 and 30% of Canavalia meal in replacement of control diet. The composition and nutrients of the diets are showed in Tables 4-1 and 4-2. The four diets or treatments were made on a vertical mixer electric and offered to the animals

Feed was *ad libitum* in a range of 50-150 g DM/kg $LW^{0.75}$ in agreement to the appetite of the pigs, it was distributed in five rations per day (8:00, 10:00, 12:00, 14:00 and 16:00 hours). Refusal was collected thirty minutes after and water was offered until the next feeding. The adaptation period and the measuring period took 3 and 9 days respectively. The criteria for use of three days of adaptation was ingest of 80 g DM/kg $LW^{0.75}$ as indicator of the acceptation of the diet.

- **Table 4-1.** Composition of experimental diets to evaluate consumption and digestibility of Canavalia leave meal

Ingredient	Control diet: Canavalia meal			
	100:0	90:10	80:20	70:30
Yellow corn	59.3	53.4	47.4	41.5
Wheat bran	15.0	13.5	12.0	10.5
Soybean meal	23.0	20.7	18.4	16.1
L-Lysine HCL 78%	0.25	0.23	0.20	0.18
D-L methionine 99%	0.35	0.32	0.28	0.25
Canavalia meal	0.00	10.0	20.0	30.0
Mineral and vitamins supply	2.10	1.90	1.70	1.50
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

Table 4-2. Chemical composition of experimental diets to evaluate consumption and digestibility of Canavalia leave meal

	Control diet: Canavalia meal				Pig requirement
	100:0	90:10	80:20	70:30	
Crude protein, %	18.51	18.50	18.48	18.47	18.30
Gross energy, Kcal/kg	4368	4326	4283	4241	
NDF, %	26.5	28.4	30.4	32.3	
ADF, %	5.9	8.3	10.7	13.1	
Ash, %	5.4	5.7	6.0	6.4	
Crude fat, %	7.37	7.42	7.47	7.53	
DE calculated[1], Kcal/kg	3677	3607	3538	3468	3365
WWC[2]	2.4	2.7	3.2	3.8	

[1] $DE\ calculate\ =\ -174 + (0{,}848 * GE) + \left(2 * (100 - CP\% +\ Crude\ fat\% + ash\% + FDN\%)\right) - (16 * FDA\%)$, Ewan 1989 in (NRC, 1998). [2]WHC = water holding capacity

All feces were collected and weighed early during the 9 days of measurement. They were mixed manually and an aliquot of 10% was taken. Then were stored frozen until completion of sampling. Again the faces were mixed to take a sample of 500 g. In the laboratory were dried at 60 ° C for three days and processed in an electric mill, for further analysis.

Calculations of apparent digestibility were made according to the following equation:

$$Dx\ (\%) = \left[\frac{Xi - Xe}{Xi}\right] * 100 \qquad (4.1)$$

Where:

Dx = apparent digestibility of *X* in diet (DM, CP, GE).

Xi = consumption (DM, CP, GE).

Xe = excretion (DM, CP, GE).

Digestibility of Canavalia foliage alone was calculated by “Difference method”, according to following equation.

$$Dcm\ (\%) = \frac{[Dd - (D\ control \times \%\ control)]}{\%\ cm} \qquad (4.2)$$

Where:

$Dcm\ (\%)$ = apparent digestibility of the nutrients (DM, CP or E) of Canavalia meal.

Dd = apparent digestibility of the nutrients in the diet with Canavalia.

$D\ control$ = apparent digestibility of the nutrients in the control diet.

$\%\ control$ = inclusion of control in the diet with Canavalia.

$\%\ cm$ = inclusion of Canavalia meal in the diet.

- **Ileal digestibility experiment**

A second experiment was carried out with the objective to measure ileal digestibility of dry matter and crude protein. Completely randomised design was used, with two treatments and twelve growing pigs (112.4 ± 9.0 Kg LW). Animals were housed in individual pens (2 × 1.5m). Diets were Control, similar to Experiment one (Table 4-1), and a mixture composed of 75% control diet + 25% leaf meal Canavalia. Both diets were offered during 14 days. Chromium oxide ($Cr_2 0_3$) was used as internal marker at 2 g/Kg of the final diets,

during five days previous to slaughter. The animals were killed by electric shock. Digestive system was removed and departed the intestines. The sample corresponded to content ileal taken from 1 m before the ileum cecum valve.

Calculations of diets digestibility were made according to the following equation:

$$Dx\,(\%) = 100 - [100 * (\%Crdiet\,/\,\%Cr\,ileon) * (\%\,X\,ileon\,/\,\%\,X\,diet)] \qquad (4.3)$$

Where $Dx\,(\%)$ = ileal digestibility of nutrients (DM or N).

$\%Crdiet$ = Cr in the diet

$\%Cr\,ileon$ = Cr in the ileum content

$\%\,X\,ileon$ = % of X in the ileal content

$\%\,X\,diet$ = % of X in the diet

Digestibility of Canavalia foliage alone was calculated by “Difference method”, according to equation 4.2:

The statistical analysis was conducted according to the following model:

$$Yij = \mu + Ti + Eij$$

Where Yj_i is the ileal digestibility of nutrients in the diets (DM and CP), μ is the general mean, T_i is the effect of treatment i and E_{ij} is the effect of the experimental error.

Data were processed by Statistical Software SAS 9.1 using GLM Procedure and test Less Significant Difference LSD for ileal digestibility coefficients of diets and Canavalia meal alone (dry matter and crude protein).

- **In vitro digestibility**

Samples of diets for ileal digestibility experiment (control and a 75:25 Control: Canavalia), were processed in an electrical mill with a 1 mm diameter sieve. In vitro digestibility was determined utilizing porcine pepsin (2000 FIP-U $4g^{-1}$, MERK n°7190) and porcine pancreatin (Pancreatin 8 x USP specifications, Sigma n°P-1750) were used for the

enzymatic hydrolysis according to the method proposed by Boisen & Fernández, 1997, and adjusted by Leterme & Estrada, 2006. Of the sample, 0.5 g were mixed with a phosphate buffer, containing solutions of KH_2PO_4 (0.1 M, pH 6) and Na_2HPO_4 (0.1 M), and adjusted to pH 2, then pepsin and chloramphenicol solution (SIGMA No. C-0378) was added. This solution was left for 2 h in a water bath with gentle agitation at 39°C. Then a phosphate buffer solution containing KH_2PO_4 (0.2 M, pH 6.8) and Na_2HPO_4 (0.2 M) and NaOH 0.6M, was added. Then pH was adjusted to 6.8 with the help of NaOH 1M and HCL 1M, before adding the pancreatin. For another 4 h the flasks were left in the water bath. The solution then was filtered through a nylon bag and the residue washed twice with ethanol 96 % and twice with acetone 99.5 %. The bags were dried overnight in a cabinet dryer at 60°C and weighed. This process was repeated three times in three repetitions per sample.

Results and discussion

- **Chemical composition of Canavalia leaf meal CLM:**

In the Table 4-3 and 4-4 are showed the nutrients contents and amino acid concentration.

- **Table 4-3.** Chemical composition of *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009 foliage meal (% of DM, except for DM based on dry sun**)**

Dry matter, %	92.3
Crude protein, %	18.4
Ether extract, %	7.9
Ash, %	8.7
Gross energy, Kcal/kg	3945
Neutral detergent fibre, %	45.6
Acid detergent fibre, %	29.9
Lignin acid detergent, %	6.5
Hemicellulose, %[1]	15.8
Cellulose, %[2]	23.4
DE, Kcal/kg[3]	2982
Water holding capacity, g water/g DM	6,95

Canavalia brasiliensis leaf meal CLM has an acceptable nutritional value for growing pigs because of protein level is similar to animals requirement and amino acid balance is good, although the essential amino acids are low, specially lysine. In comparison with ten legumes foliage interesting for monogastric animals, the amino acid content in *Canavalia brasiliensis* is lower than the average (Heinritz *et al*., 2012). .

The chemical composition of these fibrous foods not reveals its potential nutritional value because it is limited by the presence of dietary fiber and anti-nutritional factors content (Savón, 2002). With 30% DM ADF, a fiber concentration of *Canavalia brasiliensis* foliage seems acceptable. This value was similar to that recorded by Heinritz *et al*., 2012, who noted that legume forages with lower fiber content 30% were low compared to others with an average of 45%. Heinritz, 2011.registered low levels of anti-nutritional factors in the foliage of *Canavalia brasiliensis*: only 0.97% of total phenols and 0.84% of total tannins in the fresh leaves

.

- **Table 4-4.** Amino acid concentration (%DM) in *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009 foliage meal[1]

	Canavalia foliage meal	Pig Requeriments[2]
Lis	**0.67 (100)[3]**	**1.17 (100)**
Met	**0.23**	**0.34**
Met + Cis	0.41 (61)	0.69 (59)
Treo	**0.57 (85)**	**0.81 (69)**
Asp	1.97	
Ser	0.56	
Glu	1.45	
Gli	0.63	
Ala	0.70	
Val	**0.72 (107)**	**(68-75)**
ILeu	**0.57 (85)**	**(55-72)**
Leu	**1.04 (155)**	**(100-111)**
Tir	0.32	
Fen	**0.67**	
His	**0.36 (54)**	**(23-32)**
Arg	**0.72**	
Pro	0.60	
Fen + Tir	0.99 (148)	(81-120)
Lis:Met+Cis	1.64	1.67
Lis:Treo	1.18	1.54 – 1.67

[1] Data measured by Sandra Hoedtke, Sonja Heinritz and Siriwan Martens, 2010 Amino acid pattern of legumes sampled in Valle del Cauca and Cauca/ Colombia, University of Rostock. [2](Rostagno *et al*., 2011). [3] In parenthesis amino acid content respect to 100 parts of lysine.

The water holding capacity WHC (g water/g DM) in CLM (7.0) was higher than maize (2.4) and soybean meal (4.1). This physical property is associated with a higher viscosity; may be advantageous because moisture facilitates hydrolysis by cellulase enzymes in the colon (Savón, 2002).

Voluntary feed intake in growing pigs:

The voluntary feed intake of treatments up 30% of inclusion of Canavalia leaf meal is showed in Table 4-5.

- **Table 4-5.** Consumption of diets with inclusion of *Canavalia brasiliensis* foliage meal in growing pigs

	Control	Canavalia %			SEM[1]	CV%[2]	*p* value[3]
		10	20	30			
Replicas	6	6	6	6			
Initial live weight, Kg	37.1	39.6	39.1	37.5	5.8	15.0	ns
No. of days	9	9	9	9			
Daily consumption							
· DM, g	1615	1505	1576	1436	204.6	13.3	ns
· DM, g/Kg $LW^{0.75}$	107.6	95.6	101.1	96.1	8.14	8.13	ns

[1] Media standard error. [2] Coefficient of variation. [3] *p* ($\alpha < 0.05$). ns = not statistical differences

All diets were well consumed by growing pigs ($p > 0.05$). Canavalia had major consumption than other foliage meal species evaluated in pigs as *Vigna unguiculata* (Sarria *et al*., 2010a), *Trichanthera gigantea* and *Xanthosoma sagittifolim* (Leterme *et al*., 2005). Possibly the pigs ate the diets containing CLM to maintain digestible energy intake (Henry, 1985). The WHC (Table 4-2) not appear affect intake these diets. This is not according to argue that food intake is restricted for high-bulk foods, due to physiological constraints for the animal (Kyriazakis & Emmans, 1995; Whittemore *et al*., 2002). The low content of anti-nutritional factors in CLM (Heinritz, 2011) could facilitate its consumption.

- **Apparent faecal digestibility in growing pigs:**

Apparent faecal digestibility of DM, CP and GE of the diets were lower when Canavalia meal inclusion level was over 20% ($p < 0.05$) (Table 4-6). These values were lower for energy, indicating that Canavalia affected most this nutrient.

In the Table 4-7 are showed the digestibility coefficients for alone CLM, calculated by difference method. Not significant differences ($p > 0.05$) were observed for DM, CP and GE, although the level of 20% showed lower values. The reason was because the digestibility values of treatments with 20 and 30% inclusion were very similar (Table 4-6), therefore the mathematical calculation of substitution (see equation 4-2), and the highest level of Canavalia has advantage.

- **Table 4-6.** Apparent total digestibility coefficient (%) of nutrients, DP and DE in diets with inclusion of *Canavalia brasiliensis* foliage meal in growing pigs

	Control	*Canavalia %*			SEM[1]	CV%[2]	*p* vaule[3]
		10	20	30			
Dry Matter	84.5 a	81.8 a	76.4 b	74.7 b	7.3	9.2	***
Crude Protein	83.1 a	81.9 ab	77.0 b	76.5 b	7.8	9.8	ns
Gross energy	85.7 a	81.5 a	70.0 b	66.8 b	10	13.1	***
DP of diet, %	14.8	14.7	13.9	13.9			
DE of diet, Kcal /Kg	4115	3989	3688	3602			

[1] Media standard error. [2] Coefficient of variation. [3] *p* (α < 0.05): ns = not significant differences (p=0.068), but it denoted a tendency; *** *p* < 0.01.

- **Table 4-7.** Apparent total digestibility coefficient (%) of nutrients, DP and DE of Canavalia foliage alone in diets for growing pigs

	Control Diet : Canavalia %			Media	SEM[1]	CV%[2]	*p* value[3]
	90:10	80:20	70:30				
Dry Matter	54,5	43.2	51.6	49.8	6.2	12.6	ns
Crude Protein	67.6	50.2	61.7	59.8	7.4	12.3	ns
Energy	57.4	28.2	53.1	46.2	6.4	13.9	ns
Digestible Protein %	12.4	9.2	11.4	11.0			
Digestible Energy, kcal/kg DM	2264	1112	2095	1823			

[1]Media standard error. [2]Coefficient of variation. [3]*p* (α < 0.05). ns = not statistical differences

The protein digestibility coefficient and digestible protein of Canavalia foliage alone (Table 4-7), are better than other foliage evaluated in pigs like cassava (Phuc *et al*., 2000), *Leucaena* (Ly *et al*., 1998 and Laswai *et al*., 1997), *Trichanthera*, *Morus* and *Xanthosoma* (Leterme *et al*., 2005). Although the fecal protein digestibility coefficient Canavalia foliage is acceptable, the final value is the ileal coefficient.

The digestibility protein coefficient (46%) and DE (1824 Kcal/kg) of Canavalia foliage was lower than other species like *Vigna* (Sarria *et al*., 2010a), *Trichanthera*, *Morus* and *Xanthosoma* (Leterme *et al*., 2005). Acid Detergent Fiber content showed a correlation coefficient of 64% and could explain this result.

- **Apparent ileal digestibility in growing pigs**

Despite *Canavalia brasiliensis* has less CP bounded to NDF, than other tropical legume forages and has low content of tannins (Heinritz *et al*., 2012 and Shayo & Uden, 1999), ileal apparent digestibility was lower in the diet with inclusion of Canavalia than control, for both dry matter and crude protein (Table 4-8).

Table 4-8. Ileal apparent digestibility of diets and foliage alone (calculated by the differential method), in finishing pigs receiving foliage of *Canavalia brasiliensis*

	Diets (inclusion of Canavalia %DM)		Foliage alone	SEM	CV%	*p* value
	0	25				
Dry Matter	90.6[a]	86.9[b]	75.8	2.0	2.3	**
Crude Protein	81.6[a]	65.3[b]	16.4	5.6	8.1	***

[1] Media Standard error. [2]Coefficient of variation. [3]Probability value: values with different letters in the same line differ significantly a p ($\alpha < 0.05$). ** p ($\alpha < 0.05$); *** p ($\alpha < 0.01$)

The *in vitro* protein digestibility of the diet with 25% Canavalia inclusion was 84.8% vs. 65.3% in vivo ileal, thus in vitro measure overestimated the digestibility in pigs, and so in vivo method is recommendable.

Ileal digestibility of protein of Canavalia was lower than Vigna (Table 2-10). This can explain, because the fiber would behave as a "trap" for amino acids and peptides, reducing intestinal absorption (Michelangeli *et al*., 2004). Also certain types of dietary fiber increase the viscosity of the diet and intestinal contents and increase endogenous nitrogen secretion composed of protein and DNA, suggesting an exfoliation of the cells of the intestinal mucosa due to mechanical erosion (Savón, 2002).

Conclusion

Canavalia brasiliensis meal until 10% of inclusion in the diet has an acceptable nutritional quality for growing pigs because of its good consumption and acceptable digestibility of protein. It is restricted by the lysine amino acid content and very low energy digestibility.

Maximum 10% of *Canavalia brasiliensis* meal inclusion in the diet is recommended. However a performance experiment is necessary to confirm this hypothesis.

Capítulo 5

Productive performance of finishing pigs with foliage of *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009 as source of protein

Patricia Sarria[1], Duvan Torres[1], Gloria López[1] Y Siriwan Martens[2]

[1] *Universidad Nacional de Colombia (UNAL) Sede Palmira, Departmentof animal Science,, Colombia.*

[2] *International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Tropical Forages, Colombia*

El estudiante de pregrado en Zootecnia Duván Torres se vinculó a esta investigación bajo la modalidad participación en trabajos de investigación de la asignatura Trabajo de grado de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira.

Abstract

Eight commercial fattening male pigs were used to evaluate the inclusion of *Canavalia brasiliensis* leaf meal (CBLM) accession CIAT 17009, on growth performance during the final phase (87-116 kg live weight LW). A double Latin square crossover design was used with four periods and four treatments: Control, Canavalia inclusion at 8, 16 and 24%, in isonutricional balanced diets. Each one of the four periods took fourteen days and animals were weighed at start and the final of each. Consumption of food was monitored daily and diet was offered according to metabolic weight of the pigs (90 g DM/kg $LW^{0.75}$), and was distributed in three daily rations. The results showed no differences for consumption ($p>0.05$), while for daily weight gain and feed conversion showed significant differences ($p<0.01$). It was concluded that CBLM may replace 16% of diet, without adverse effects in growth performance of pigs.

Keywords: Foliage meal, tropical legumes, finishing growing pigs.

Introduction

Almost one billion people worldwide suffer from hunger. Another billion are malnourished. This is an unacceptable situation. By 2050, we will probably have to feed nine billion people while taking care not to overstretch our planet's ecological capacity. Small farmers are vulnerable due to risk such as drought, floods, erosion, plant disease and pests. But if small farmers' capacity is enhanced in line with needs, there are many ways in which they can deal effectively with such risks. Development-oriented agricultural research can contribute decisively to enhanced resilience, for example through the breeding of drought-tolerant plant varieties (Niebel, 2012).

Increasing meat demand in the tropics could be a market chance for smallholder pig farmers in the tropics. In last fourteen years, China doubled pork consumption (from 15 to over 30 Kg per capita) and significant increases have occurred in Latin-American countries as Honduras, Nicaragua and Colombia (FAO, 2012). However, access is limited because of increase and fluctuating costs of maize and soybean meal (PIC, 2012) (FENAVI, 2012).

10% of the crude protein of the diet in growing pigs can be derived from forages (Sarria, 2005). Some selected legumes as *Vigna unguiculata* CIAT 4555, can be include to 30% of protein in growing pig diets (Sarria *et al*., 2010a), although it has some agronomic constrain because is not perennial and farmers obtain a single crop per planting.

Canavalia brasiliensis Mart. Ex. Benth, is a legume selected by tropical farmers for its high productivity of foliage, good soil cover and outstanding level of draught tolerance (Peters *et al*., 2004; Kahle *et al*., 2012; Katunga *et al*., 2012). It is a weak perennial legume and can be ground in a wide range of soil pH (4.3-8.0) on low fertile soils up to height 1800 masl and has a good regrowth up to second year. In Palmira, Colombia,

Canavalia brasiliensis accession CIAT 17009 yields 6.1 t ha^{-1} dry matter DM at 16 weeks, with 19% of crude protein content and is acceptable foliage for ruminants with 59-65% in vitro DM digestibility (Martens *et al*., 2008).

In monogastric animals *Canavalia brasiliensis* has been evaluated in cavies and is good alternative compared to concentrate that farmers need to purchase (Katunga *et al.* 2012). In growing pigs, Sarria *et al*. 2012 evaluated nutritional value and faecal digestibility of Canavalia *brasiliensis* leaf meal and they concluded that it has an acceptable nutritional quality because it was well consumed by pigs, the digestibility of protein was acceptable, has less CP bounded to NDF than other tropical legume forages and contents low quantity of tannins (Heinritz *et al*., 2012; Shayo & Uden, 1999), but it is restricted by the low amino acid content and low energy digestibility (Sarria *et al*., 2012).

The present study aimed to evaluate the productive behaviour of pigs during the final phase, receiving diets with inclusion of *Canavalia brasiliensis* leaf meal (CBLM) accession CIAT 17009.

Material and methods

The trial took place on the experimental farm of Universidad Nacional de Colombia in Palmira (03°32’22” latitude N and 72°18’13” longitude W). The experiment was made between October to November of 2010, and average temperature was 27.7 ºC. The aerial part of *Canavalia brasiliensis* was harvested at the experimental station of CIAT in Santander de Quilichao (Cauca, Colombia), between 15 and 16 weeks of growth, before florescence. It was sun-dried for 4 days and milled to 3 mm.

Eight commercial fattening male pigs with the initial average weight of 77.6 ± 3.7 kg were used for the experiment. They were kept in individual metabolic pens (1.5 m^2), with feeder and automatic water dispenser (Figure 10).

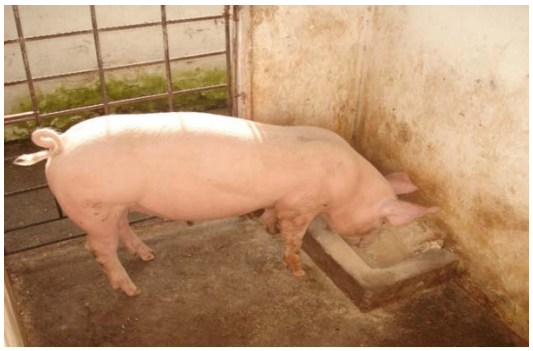


Figure 10. Individual pen and commercial fattening pig used in experiment.

Four treatments were applied: Control, 8, 16 and 24% of inclusion of Canavalia. The foliage provided 0, 7, 14 and 21% of the crude protein, replacing protein contribution of soy bean meal and wheat bran. The last one used to equilibrate the fibre content in the diets. Figure 11 shows the contributions of the protein from the different ingredients used in the four experimental diets. Diets were balanced according to the Brazilian nutritional recommendations (Rostagno *et al*., 2011). Composition and nutrients of diets are showed in Tables 5-1 and 5-2.

- **Table 5-1.** Composition of the diets for growing pigs in finalization phase fed with different levels of Canavalia foliage meal as protein source (%)

Ingredient	Control	Canavalia contribution to PC% in the diet, %		
		7	14	21
Yellow corn	59.9	55.0	55.0	56.0
Wheat bran	31.1	23.3	15.6	5.8
Soybean meal	11.5	11.0	10.5	10.0
L-Lysine HCL 78%	0.40	0.45	0.50	0.50
D-L methionine 99%	0.03	0.10	0.10	0.20
Canavalia meal	0.00	8.00	16.0	24.0
Mineral and vitamins supply	2.10	2.2	2.3	2.50
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

- **Table 5-2.** Chemical composition of the diets for growing pigs in finalization phase fed with different levels of Canavalia foliage meal as protein source (%)

Nutritional composition	Control	Canavalia contribution to CP in the diet, %		
		7	14	21
Dry matter, %	88.6	87.7	87.4	88.2
Crude protein, %	13.5	13.2	13.0	13.2
Gross energy, Kcal/Kg	4346	4055	4139	3939
NDF, %	28.3	32.1	37.0	30.6
ADF, %	7.7	10.4	14.4	11.8
LIGNIN, %	3.1	2.8	3.8	3.1
Ash, %	5.5	5,7	5.5	7.4
Ether extract, %	2.6	3.5	3.5	3.6
DE calculated[1], Kcal/Kg	3365	3355	3373	3234
WHC, water g/DM g	3.3	3.5	3.6	3.7

[1] $DE\ calculate\ =\ -174 + (0{,}848 * GE) + \left(2 * (100 - CP\% +\ Crude\ fat\% + ash\% + FDN\%)\right) - (16 * FDA\%)$, Ewan 1989 in (NRC, 1998). [2]WHC = water holding capacity

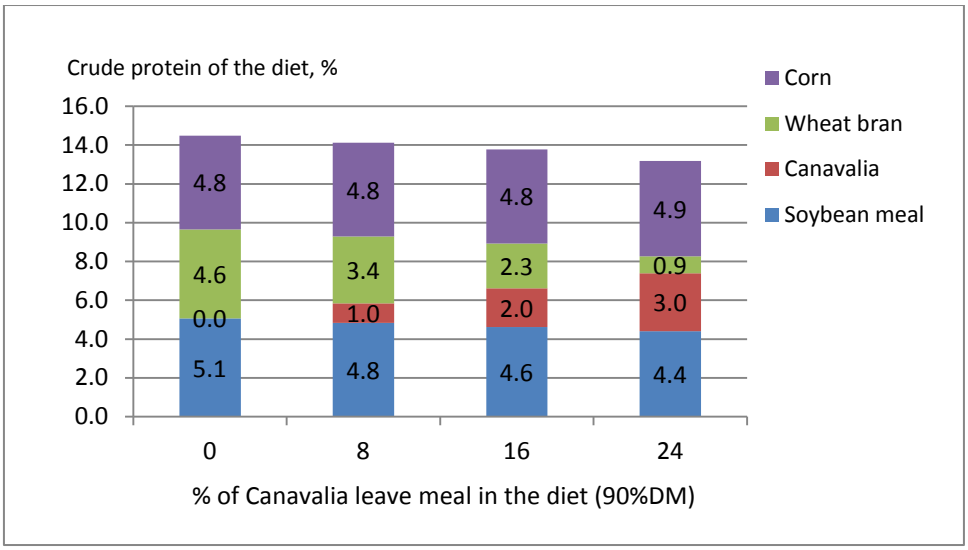


Figure 11. Contribution of protein to the diet (%), from different ingredients used in the four experimental Canavalia levels

A crossover design with duplicated was applied, with four periods, four treatments and four sequences in which the eight pigs received the treatments, as is showed in the Table 5-3.

- **Table 5-3.** Crossover for evaluations of diets with four levels of Canavalia foliage as protein source (%)

PERIOD	PIGS			
	1 y 5	7 y 8	2 y 6	3 y 4
1	7	0	21	14
2	14	7	0	21
3	0	21	14	7
4	21	14	7	0
Sequence of treatments[1]	2-3-1-4	1-2-3-4	4-1-3-2	3-4-2-1

[1] Treatments 1 = 0%; 2 = 7%; 3 = 14% and 4 = 21% of contribution of Canavalia leaf meal to protein of the diet

Calculations and statistical analysis:

The variables were calculated as follows:

- Daily gain (g/day) = Final LW – Initial LW/14 days × 1000
- Daily consumption = g DM offered – g DM rejected/pig/day
- Daily metabolic consumption = g DM consumed per day/LW $^{0.75}$

Where: LW = live weight Kg

DM = Dry matter

The differences in the variables were determined by analysis of variance using the GLM procedure followed by the multiple comparison test of Duncan (p=0.05), of the SAS version 9.1 for Windows (© 2002−2003 by SAS Institute Inc., NC, USA), using the following statistic model (Kuehl, 2000):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + b_{ij} + \gamma_k + \tau_{d(t,k)} + \lambda_{c(t,k-1)} + e_{ijk}$$

Where:

Y	: Daily gain, daily consumption, daily metabolic consumption or feed conversion.
μ	: The general mean.
α_i	: The effect of I sequence.
b_{ij}	: Random effect with variance σ^2_b for the j-nth animal in the i-nth sequence of treatment
γ_k	: Effect of the period
$\tau_{d(i,k)}$	: Direct effect of the Treatment supplied in the period k of the sequences group i.
$\lambda_{c(t,k-1)}$	: Hauled effect of the Treatment supplied in the period *k-1* of the sequences group i.
e_{ijk}	: Experimental error.

Each one of the four periods took fourteen days and animals were weighed at start and final of each. The diets were offered in three daily rations: 8:00, 12:00 and 16:00 hours, according to metabolic weight of the pigs (90 g DM/ kg $LW^{0.75}$). Refusal was collected one hour after and the consumption of food was monitored daily.

Composition of Canavalia brasiliensis CIAT 17000 was evaluated in Chapter 4. It has 18.4% of crude protein, similar to growing pigs requirement and amino acid balance is good, although the essential amino acids content are low, specially lysine. Quantity of NDF and ADF (46% and 30%) are high for pigs but is less than other foliage from legumes species, and tannins are non-significant.

Data were processed by Statistical Software SAS 9.1 using GLM and regression procedures and test of multiple range of Duncan. Dispersion Graphics were realized using software Microsoft Excel 2010.

Results and discussion

Productive behaviour of pigs receiving foliage of Canavalia as protein source is showed in the Table 5-4.

The daily consumption was similar in all treatments, so that the inclusion of *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009 leaf meal did not affect the intake in balanced diets. This result was similar to previous studies that used unbalanced diets, when Canavalia was included until 20% of diet. Analogous tendencies were observed by other authors, who utilized other foliage species as cassava, and *Manihot sculenta* (Trompiz *et al*., 2000), *Leucaena leucocephala* (Ly, 2005), *Trichanthera gigantea* (Sarria *et al*., 1991).

- **Table 5-4.** Productive behavior of final phase growing pigs, receiving *Canavalia brasiliensis* leaf meal (CBLM) accession CIAT 17009, as protein source

	Contribution of Canavalia to CP in the diet, %						
	0	7	14%	21%	CV %[1]	SEM[2]	Valor de *p*[3]
Days of experiment	56	56	56	56			
Pigs	8	8	8	8			
Daily consumption							
·DM, g	2559	2655	2580	2595	4.5	118	ns
·DM, g/Kg LW0.75	79.5	83.1	81.8	81.3	4.3	3.5	ns
Daily gain, g	730.4a	681.3ab	651.8ab	593.8b	14,1	93.7	**
Conversion	3.6a	4.0ab	4.1ab	4.6b	14.8	0.60	**

[1] Coeficiente de variación. [2]Error estándar de la media. [3]Valores con diferente letra en la misma fila difieren a *p* (α < 0.05). ** *p* (α < 0.05). ns = no hubo diferencias estadísticas significativas.

The water-holding-capacity WHC is a recent recognised indicator of the bulkiness of meals (Kyriazakis & Emmans, 1995). It is likely that a depression in feeding motivation occurs as the level of gastrointestinal distension increases when a meal absorbs water in the stomach (Smith & Gibbs, 1979). Despite Canavalia leaf meal increased WHC in the diet (Table 5-2), did not affect the diet consumption (R^2= 0.177), (Table 5-4). Possibly the pectin content is low in soluble fiber fraction of Canavalia, which are the most related to increase the viscosity of the diet and decrease the consumption.

The daily gain weight and feed conversion were statistically similar to the control until 16% of Canavalia inclusion. However, both parameters tended to deteriorate to the extent that the inclusion of Canavalia increased. When Canavalia leaf meal provided 20% of dietary protein in the 24% inclusion treatment, its quality was low; because of affecting the productive performance of the animals, despite the replacement of soybean meal protein, was only 10%.

The results were explained because Canavalia foliage increased levels of fiber (NDF, ADF), and could to decrease the total digestibility of the diets. This negative effect of the fibre was studied by several authors (Kass *et al*., 1980; Noblet & Le Goff, 2001; Wilfart *et al*., 2007). Previous estudies showed that digestibility of Canavalia leaf in pigs, was acceptable until 10% of inclusion because the digestibility of GE, DM, CP started to be affected negatively (Sarria *et al*., 2012).

the warm environmental temperature in Palmira (25.6°C) in the period of essay could explain the less daily gain of the pigs, when the level of fibre in the diet increased, according to Coffey *et al*. 1982 and Stahy & Cromwell, 1986 cited by Santomá, 1997. These authors observed that the diet containing 10% of alfalfa depressed growth in only 1% at 10 °C, while the decrease was 3% and 5% to 22.5 and 35°C, respectively. They attributed this effect to further increase heat caused by cecal fermentation of the fiber and recommended only 5% of inclusion of alfalfa hay or 10% of grass hay in growing pigs

In comparison to another foliage of legume as Vigna meal, studied in Chapters 2 and 3, Canavalia showed less potential to feed growing pigs. While cowpea could replace up to 29% of protein in the diets without affecting weight gain and feed conversion, the Canavalia affected them negatively in finishing pigs, decreasing daily gain and increasing feed conversion, in quadratic form:

$$\text{Daily gain (g)} = 727.9 - 5.65x - 0.02x^2;\ R^2 = 0{,}99$$

$$\text{Feed conversion} = 3.64 + 0.0035x + 0.0003x^2;\ R^2 = 0.95$$

Althoug both resources have similar content of FDN, Canavalia has major cellulose and less hemicellulose. Other authors registered major FDN in the foliage of *Canavalia*

brasiliensis than *Vigna unguiculata* (Martens *et al*., 2008) and N-FDN (Heinritz *et al*., 2012), while tanins and phenols were low in both (Heinritz, 2011). Canavalia showed a very low coefficient of ileal digestibility of the protein (16.4%) while Vigna was high (94%).

Table 5-5 presents the partial financial analysis of production of finishing pigs according feed conversion obtained with four levels of *Canavalia brasiliensis* foliage as source of protein. The cost of the ration was performed with the prices of the raw materials used in the experimental diets for 2013. The estimate value of foliage was $ 250/kg, according to a personal conversation with Nelson Vivas, the professional who accompanied to producers for the establishment of banks foliage in the Department of Cauca, Colombia, with tropical forages program CIAT.

- **Table 5-5.** Partial Margin per kg of live weight produced (USD $) with *Canavalia brasiliensis* leaf meal as partial source of crude protein (CP) for finishing pigs

	Contribution of Canavalia to the protein of the diet (%)			
	0	7	14	21
Feed conversion	3,6	4	4,1	4,6
Price per Kg of ration, USD$	0,467	0,457	0,442	0,445
Production Price per kg live weight	1,681	1,829	1,813	2,046
Sale Price per kg live weight	2,407	2,407	2,407	2,407
Partial Margin per Kg live weight	0,726	0,579	0,594	0,362
Relation benefit : cost %	0,432	0,316	0,327	0,177

The diets with Canavalia showed a minor partial margen than control. It was decreasing while the inclusion of Canavalia was higher in the diets. The main reason was the deterioration on feed conversion while the price of the diet decreased relatively little with the inclusion of the foliage. In this way the financial viability of including Canavalia in commercial diets for finishing pigs is relatively low.

Conclusion

The Canavalia leaf meal may be replace until 14% of soybean protein in the growing pig diets, with daily gain and feed conversion comparable to maiz and soybean meal diets. Its nutritional quality is acepTable but inferior to Vigna foliage. Financial viability to use Canavalia in diets for pigs is low.

Capítulo 6

The voluntary intake in growing pigs of four ensiled forage species

Patricia Sarria B.[1] and Siriwan Martens[2]

[1]Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, carrera 32 No. 12-100, AA 237 Palmira, Colombia.

[2]International Centre for Tropical Agriculture, CIAT, Tropical Forages Program, recta Cali-Palmira km 17, Colombia.

Resumen publicado en: Patricia Sarria B., Siriwan Martens, Giselle Hernández and María del Mar Méndez. Consumption pattern of pigs supplemented with ensiled tropical forages. XVI International Silage Conference, 2 - 4 July 2012, Hämeenlinna, Finland. **(Ganador del Primer lugar en modalidad poster).**

Nota editorial publicada en: Patricia I. Sarria B. and Siriwan D. Martens. The voluntary intake in growing pigs of four ensiled forage species. *Agricultural and Food Science*. 22: 201-206, 2013.

Las estudiantes de pregrado en Zootecnia Giselle Hernández y María del Mar Méndez se vincularon a esta investigación bajo la modalidad participación en trabajos de investigación de la asignatura Trabajo de grado de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira.

Short running title: Consumption of four ensiled tropical forages by pigs.

Abstract

Forage can potentially be food sources for pig feeding in the tropics. The palatability of silages by pigs may be better than that of fresh forage. Foliage silage contains more dry matter than green forage and has a pleasant smell. Thirty commercial pigs (47.0 ± 4.7 kg live weight LW), were used to assess the silage intake capacity of pigs when feeding the legumes *Clitoria ternatea*, *Centrosema brasilianum*, *Cratylia argentea* and the *Brachiaria* grass hybrid Mulato II. The silages were offered ad libitum as a supplement to a normal balanced diet based on maize and soy bean meal. A completely random design was applied comprising five treatments, Control and the four silage supplements respectively. Daily consumption of dry matter -expressed in g of DM kg-1 metabolic LW- were similar ($p>0.05$) for diets containing C. argentea, C. ternatea and the Control. Daily consumption of *C. brasilianum* and *Brachiaria* was significantly lower ($p<0.001$). In conclusion, *C. argentea and C. ternatea* silages have the potential to serve as feed supplement in pig diets.

Keywords: Dry matter intake, tropical forages, fibre, monogastric animals, silage.

Introduction

In the tropics, conventional feed concentrates are mostly imported, often hardly available and quite expensive for smallholders; therefore, locally available alternatives are needed. Improved grasses and forage legumes integrated into smallholder tropical feeding systems can increase the benefits of livestock, for cattle, small ruminants, pigs, and/or poultry (Peters, 2009). The humid and sub-humid tropics offer almost year-round growing conditions (Ly, 2005), with seasonal water deficits and excesses; however these constraints are usually manageable (Martens *et al*., 2012).

Forage crops like *Vigna unguiculata*, *Xanthosoma sagittifolium*, *Morus alba*, *Trichanthera gigantea*, among other examples, may offer an additional feed source for pigs due to their high protein content (particularly legumes), and yields of biomass (Leterme *et al*., 2005; Ly, 2005 and Sarria *et al*. 2010b). Though, the effect of the inclusion of these fibrous feed into the diets of growing pigs needs to be studied

The results of growing pigs receiving foliage as part of the diet, to date are highly variable according to different authors (Sarria *et al*., 1991; Leterme *et al*., 2005, Ly, 2005; Sarria *et al*., 2010b and Sarria *et al*., 2011). Some food like forages, with elevated levels of fibre may have negative effects on food intake, digestibility and weight gain (Santomá, 1997). Creative approaches are required to fit forage-based feed solutions for monogastric animals into existing smallholder systems. Furthermore, systematic research is required to define the actual value of some less-common forage species for different animal species (Martens *et al*., 2012)..

Ensiling forages allows the crops to be harvested at the optimal time and additionally preserve its nutritional quality. Moreover, in pigs, the palatability of ensiled forage may be better than that of fresh foliage (Artiles O *et al*., 2012). In addition, wilting helps to reduce the volume and concentrate the nutrients. The higher the dry matter (DM) content, the better the consumption of forage by pigs: for instance pigs of around 100 kg LW consume 0.5 kg DM in the form of fresh foliage but one kg as dried foliage (Leterme *et al*., 2005). Silage making requires less energy and time with a target DM content of around 35% DM, in contrast to the production of foliage meal which comprises ≥ 90% DM. In a smallholder

context in the sub-humid tropics this fact alone, along with the lack of a powerful mill, can make ensiling the preferred method of choice.

The objective of our study was to assess the palatability of ensiled foliage for its use in the fattening of pigs. Four species of forage silage were evaluated in this experiment (Table 5-1). Forage species and accessions with a high potential for feeding monogastric animals were selected based on the information available in the SoFT database (Cook *et al*., 2005) in the literature, in pilot experiments and expert knowledge.

Material and methods

Forages were grown in Southwest of Colombia: Herbaceous legumes *C. ternatea* (12 weeks growth, flowering) and *C. brasilianum* (17 weeks, pre-flowering) at CIAT Palmira (03°31'42" latitude N and 76°27'14" longitude W), the shrub legume C. argentea in Santander de Quilichao, (03°00'34" latitude N and 76°29'06" longitude W), and the *Brachiaria* sp. grass hybrid Mulato II (regrowth with high percentage of dead material) from Popayan (02°26'18" latitude N and 76°'47" longitude W). A general description of species is showed in the Table 6-1.

The forages were dried to a target DM of 350 g kg^{-1} fresh matter (FM) and chopped in a forage chopper. Subsequently, sucrose was applied at 20 g kg^{-1} FM and lactic acid bacteria were added (105 colony forming units CFU) g^{-1} FM of a strain of *Lactobacillus plantarum* (DSM 24624, CIAT S66.7). The material was compacted in 18.9 l plastic buckets (Figure 12), which were closed tightly using lids with a rubber gasket. The foliage were ensiled between April and May, 2010, and stored at an ambient temperature of 22−33 °C, until February of 2011. Silage quality was determined considering DM, pH, NH3-N and organic acids. The pH was determined by preparing an extract of 10 g FM with 100 ml distilled water and measured using a pH meter (MP 120 pH meter, Mettler-Toledo,

Greifensee, Switzerland). After 2 h, DM was determined in duplicate at 105°C for 24 h (DIN, 1985). Ammonia was determined according to Voight & Steger, 1967. VFA, alcohols and lactic acid were detected by High Performance Liquid Chromatography (HPLC), column Rezex ROH-Organic Acid H+ (Phenomenex Ltd., Torrance, CA, USA), according to Siegfried *et al*., 1984. The standards used were lactic acid (LA) (Sigma, L-1750), acetic acid (Chem Service O-4), propionic acid (Chem Service O-25), isobutyric acid (Chem Service O-6), butyric acid (Chem Service O-5), valeric acid (Aldrich 240370), 1,2 propanediol (Emeral BioSystems, EBS-250), 2,3 butanediol (MP Biomedicals, 203774), and ethanol (absolute, Merck, 100983).

Figure 12. Preparing of silages

In February 2011, 30 commercial pigs (Landrace*Large white 47.0 ± 4.7 kg live weight (LW)), were housed in individual pens (2 × 1.5m), with cement floors, and open feeder and automatic water dispenser. They were used to evaluate the consumption of forage silage species. The experiment was carried out at the experimental farm of the National University in Palmira (Colombia) (03°32’22” latitude N and 72°18’13” longitude W). A completely random experimental design was utilized including five treatments, three replicates and two periods of 14 days each, seven days for adaptation and seven for measurements.

The treatments were: Control, *Cratylia argentea*, *Centrosema brasilianum*, *Clitoria ternatea* and *Brachiaria* hybrid Mulato II silage supplement, respectively. The control consisted of a balanced diet of maize and soybean meal (Table 6-2). Four other diets were prepared.

They were composed of the Control diet supplemented with ad libitum access to silages of *C. argentea*, *C. brasilianum*, *C. ternatea* or *Brachiaria* sp. as specified below.

The animals were fed five times a day (8:00, 10:00, 12:00, 14:00 and 16:00 hours) in order to ensure a better consumption. Pigs of Control treatment received initially 80 g DM kg-1 $LW^{0.75}$/day. The animals of silage treatments receiving 50 g DM kg-1 LW0.75/day of the

- **Table 6-1.** American tropical species of foliage silage evaluated in the present experiment

		Clitoria ternatea L. CIAT 20692	*Centrosema brasilianum* (L.) Benth. CIAT 5234	Cratylia argentea (Desv.) Kuntze CIAT 18516/18668	*Brachiaria* grass hybrid Mulato II CIAT 36087
Management and production	Continuity of production	Medium	Medium	Superior	Superior
	Altitude, m above sea level	1600-2000	0-1000	0-1200	0-1800
	Rain precipitation, mm/year	400-2500	600-3000	1000-4000	≥ 700
	Adapted to low fertility soils	Medium	Superior	Superior	Superior
	Yield leaf, dry matter/hectare/year	3-10	3-10	13-32	25
Nutritional value	Crude protein, %	17-20	12-20	18-30	12-15
	Anti-nutritive compounds	Medium	Superior	Superior	
	Ruminant digestibility, %	80	50-70	60-65	55-62
	Ruminant voluntary intake	Medium	Medium	Medium	Superior
Countries were species are reported		Australia, Kenya, The Philippines and Mexico[1], Honduras, Mexico[2], East Africa, Uganda, India[3]	Colombia, Australia[2], Venezuela, Nigeria,	Costa Rica, Colombia and Nicaragua[2]	China, Thailand, Mexico, Central America countries, Panama, Colombia, Venezuela, Bolivia, Uruguay y Brasil[2]

[1] (Villanueva *et al*., 2004), [2] (Peters *et al*., 2011)

Control diet and the silages ad libitum, starting with 20 g DM kg-1 LW0.75/day. Silages and Control diet were mixed before being offered to the animals (Figure 13). In order to reduce refusal, the amount of silage distributed was adjusted every day according to the animal's appetite. Pigs were weighed each week to adjust the amount of food to provide. Refusals were collected after each feeding, and samples were stored at -20 °C, until analysis. The foods were analysed for dry matter content using an oven at 105°C for 12 h, crude protein (Kjeldahl method) (AOAC, 1990). The neutral acid detergent fibre (NDF and ADF) and acid detergent lignin were determined by means of an ANKOM fibre analyzer (Ankom Technology, Madecon, NY, USA) using nylon bags.

- **Table 6-2.** Composition of the Control diet (g kg^{-1})

Yellow maize	593
Wheat bran	150
Soybean meal 46% crude protein	230
L-Lysine HCL 78%	2.5
D-L methionine 99%	3.5
Calcium carbonate	12.0
Bi-calcium phosphate	4.0
Salt (NaCl)	4.0
Mineral and vitamin supplement	1.0

Figure 13. Pig eating foliage silage mixed with control diet

Calculations and statistical analysis:

The daily consumption was calculated as g DM offered – g DM rejected / pig / day.

The daily metabolic consumption was calculated as g DM consumed per day / kg LW0.75.

The differences in both consumption variables were determined by analysis of variance using the GLM procedure followed by the multiple comparison test of Duncan, of the SAS version 9.1 for Windows (© 2002−2003 by SAS Institute Inc., NC, USA), using the following model:

$$Y_{ijk} = U + P_i + D_j + P_i \times D_j + E_{k(j)}$$

Where Y_{ijk} is the daily consumption or daily metabolic consumption, U the general mean, P_i the effect of the i period, D_j the effect of the j diet, $P_i \times D_j$ the interaction of the period i × diet j, $E_{k(j)}$ the effect of pig k within diet j as an error term.

Results and discussion

Chemical composition of the Control diet and the four silages is shown in Table 6-3. The pH of all 4 silages ranged between 4.0 and 4.3 with DM contents > 370 g kg^{-1} FM. The ammonia-N of total silage nitrogen was lowest in *C. brasilianum* and *C. ternatea* silages (44 and 45 g kg^{-1} N respectively) and slightly higher in *C. argentea* and *Brachiaria sp* silages (60 and 74 g kg^{-1} N respectively). All silages were butyric acid free and the sum of acetic and propionic acid ranged between 4 and 11 g kg^{-1} DM.

The consumption of experimental diets is shown in Table 6-4. Pigs receiving *C. argentea* or *C. ternatea* silage consumed the same amount of dry matter as those fed only on the Control diet. In these feeding regimes, *C. argentea* and *C. ternatea* silage corresponded to 55 and 50% of total DM consumption respectively, the rest was Control diet. The consumption of *Brachiaria* sp. and *C. brasillianum* diets was lower than *C. argentea* and *C. ternatea*, possibly due to their poorer nutritional quality. The dry matter content was lower in the silages of *Brachiaria* sp. and *C. brasilianum* compared to the other two forage legume silages (*C. argentea* and *C. ternatea*) (Table 6-3).

- **Table 6-3.** Composition of the Control diet, three legume silages and one grass silage (g kg-1 DM) and fermentation quality

Parameter	Control diet	*Cratylia argentea*	*Clitoria ternatea*	*Centrosema brasilianum*	*Brachiaria* sp.
Dry matter	887	438	526	370	379
Crude protein	202	192	198	129	59
Neutral detergent fibre	188	476	490	463	732
Acid detergent fibre	74	349	380	349	468
Acid detergent lignin	29	157	109	113	200
NH_3-N (g kg^{-1} N)		60.4	45.1	43.6	74.1
Lactic acid		43.8	34.5	59.5	27.1
Acetic+propionic acid		10.5	7.4	4.7	4.0
Butyric acid		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
pH		4.3	4.5	4.0	4.1

n.d. not detected

The consumption of the pigs on the Control diet (890 g DM kg-1 FM) was not significantly different from those on the *C. argentea* and *C. ternatea* silage diets, which had half of the DM content. The dry matter content of the silages was the factor that perhaps best explained the consumption by pigs, with a correlation coefficient of r=0.83 among silage treatments. Possibly growing pigs (≥ 45 kg LW), can ingest bulk food when the DM concentration is ≥440 g DM kg-1 FM without presenting physiological constraints for the animal. A review by (Pérez, 1997), indicates that the large intestine of pigs matures slowly; this explains why the pig tends to digest fibrous feeds better in direct relation to its age.

Previous studies showed that the inclusion of a *C. argentea* and *Brachiaria* sp mixture as foliage meal of up to 33% of the total diet is regarded as a viable option for pigs in the final growing phase (Sarria *et al*., 2011). It confirms the interesting potential of C. argentea for growing pigs. Possibly a better quality of foliage *Brachiaria* can be show better outcomes in growing pigs.

- **Table 6-4.** Consumption of the diets including tropical legumes or grass silage, by growing pigs

Parameter	Control	*Cratylia argentea*[1]	*Clitoria ternatea*[1]	*Centrosema brasilianum*[1]	*Brachiaria* sp.[1]	CV%[2]	SEM[3]	*p* value[4]
Initial live weight (Kg)	48.78	45.70	48.40	45.35	45.17	10.1	4.7	ns
Consumption (g DM/ pig*day)	1752[a]	1642[a]	1710[a]	1395[b]	1358[b]	9.70	152	***
Consumption (g DM Kg^{-1} $LW^{0.75}$)	94.67[a]	93.83[a]	90.00[a]	80.00[b]	78.18[b]	3.68	3.4	***

[1]50g DM kg^{-1} $LW^{0.75}$ of Control diet supplemented *ad libitum* with the respective forage silage; [2] Coefficient of variation. [3] Media standard error. [4] *p* (α<0.05). ns = not statistical differences. *** *p* < 0.01. Different letters within rows indicate significant differences between treatments.

Results similar to those obtained in the present study were recorded by (Leterme *et al*., 2005), who compared the intake of *Trichanthera gigantea* foliage in two forms: chopped and fresh or dried and ground. They reported twice the intake when forage was supplied in dry form. Most authors correlate the intake capacity of pigs with the fiber content of the feed. Campbell & Taverner, 1986 observed less consumption in diets with high levels of fiber (120 g acid-detergent fibre (ADF) per kg DM) compared to those with low fiber (62 g ADF kg^{-1} DM), which decreased productive performance of the growing pigs. Díaz *et al*., 2004 recorded that the intake capacity of diets containing *Gliricidia sepium* foliage meal was correlated with the NDF content (r = -0.68). In the present experiment NDF, ADF and lignin contents of *Brachiaria* sp. were higher than of *C. argentea*, *C. ternatea* and *C. brasilianum*. Correlation coefficients between metabolic DM consumption and diet fibre content over all treatments were −0.73, −0.65 and −0.58 for NDF, ADF and acid detergent lignin (ADL), respectively.

However, Kyriazakis & Emmans, 1995 registered that crude fibre or NDF content could not account for the effects on feed intake, with three bulky foods: wheat bran, citrus pulp and grass. They recommended using the water-holding capacity (WHC), which explained partially the effects on intake of feeds such as grass which appeared to limit intake through their bulk. Díaz *et al*., 2004 registered a high correlation between foliage meal WHC and consumption, digest flow and low digestibility, although this correlation does not occur in other types of fibres as cereal.

Here, WHC was higher in *Brachiaria* sp. silage (5.7 g of water g^{-1} DM) than in *C. argentea* (5.1), *C. brasilianum* (4.5) and *C. ternatea* silage (4.1 g g^{-1}). Correlation coefficient between WHC and intake in our experiment was −0.61 among all treatments. Therefore, in this study, the factor that best explained the differences in consumption between the different species of silages by the pigs was the dry matter content.

Heinritz 2011, studied the effect of silage on the contents of antinutritional factors in 8 species of tropical legume forages, including three accessions evaluated in this study (*Cratyilia*, *Centrosema* and Mulato II).

The content of condensed tannins was important for *Centrosema* (7.91% DM in fresh leaves), which was significantly reduced in silage (1.3%), while phenols increased from 1.4 to 4.2% post-ensiling (Heinritz S, data unpublished).

In the legume *Cratylia* the Trypsin inhibitor activity TIA was negligible while it was found in *Centrosema* as well as in the grass Mulato II. HEINRITZ, 2011 reported that for so far undefined reasons, after several independent analyses within the method, there were detected significant higher values in the silages for *Centrosema* and Mulato II (8.9 and 5.6 mg trypsin inhibited/g DM) compared to the fresh plant (27.1 and 8.0 mg, respectively. According to these values, pigs receiving *Centrosema* or Mulato II silage consumed 10.1 and 2.9 mg of trypsin inhibited TI/g of diet dry matter DM. Those values would still surpass the limits given in literature for TIA tolerated by pigs without showing negative effects on growth, feed intake or feed conversion. They range from a maximum of about 0.5 mg TI/g diet (Huisman & Tolman, 2001) recommended for fattening pigs, to 3.2 mg TI/g for young pigs (Gabert *et al*., 1996, cited by Jezierny *et al*., 2010) and 4.7 mg TI/g in growing pigs (Batterham *et al*., 1993).

TIA increase in *Centrosema* and Mulato was contrary to that shown by silages of *Flemingia* and *Leucaena*, which showed 55% and 49% of reduction (Heinritz, 2011). Other studies confirm the decrease in TIA; Granito *et al*., 2002 observed 58 to 71 % reduction after fermentation of beans (*Phaseolus vulgaris*), Tabera *et al*., 1995, cited by Granito *et al*., 2002, described losses of 46 to 63 % after fermenting lentils, and Azeke *et al*., 2005 analysed African yambean and found no or only little TIA remaining after fermentation.

Conclusion

It is concluded that *C. argentea* and *C. ternatea* silages of high DM and good quality have the potential to serve as feed supplement in growing pig diets. Inclusion rates up to 500 g kg-1 diet DM do not affect dry matter intake. Growth performance studies have to reveal the effect on live weight gain. Dry matter content, NDF and Trypsin inhibitor activity were the factors that best explained the capacity of metabolic consumption of forage silages in growing pigs.

Capítulo 7

Growth response of pigs supplemented with two contrasting tropical legume silages in Colombia

Patricia Sarria B.[1], Siriwan Martens[2], María Adenis Cando C.[1] and Jhon Jairo Pastas C.[1]

[1]Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, carrera 32 No. 12-100, AA 237 Palmira, Colombia.

[2]International Centre for Tropical Agriculture, CIAT, Tropical Forages Program, recta Cali-Palmira km 17, Colombia.

Resumen publicado en: Patricia Sarria B., Siriwan Martens, María Adenis Candó and John Pastas. Growth response of pigs supplemented with two contrasting tropical legume silages in Colombia. XVI International Silage Conference, 2 - 4 July 2012, Hämeenlinna, Finland (seleccionado para presentación modalidad poster).

Las estudiantes de pregrado en Zootecnia María Adenis Cando y Jhon Jairo Pastas se vincularon a esta investigación bajo la modalidad participación en trabajos de investigación de la asignatura Trabajo de grado de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

Short running title: Productive behaviour by pigs receiving ensiled tropical forages.

Abstract

Silage may offer an option to improve the utilization of forage legumes in pig diets because allow inclusion rates up to 500 g kg-1 diet DM do not affect dry matter intake. 12 commercial pigs (43.0 ± 1.6 kg live weight LW), were utilized to evaluate growth performance using two contrasting nutritional species of forage legume silages, *Vigna unguiculata* CIAT 4555 or *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009, as one portion of protein in balanced diets. The objective was to assess the growth potential of pigs when part of the soybean meal of the diet was replaced by silage of improved forage legumes. A crossover design was utilized that included three treatments: Control and the two diets with *C. brasiliensis* or *V. unguiculata* foliage ensiled as protein supplement. Daily gain, consumption and feed conversion on diets including *V. unguiculata* was no statistically different to Control, while *C. brasiliensis* was lower than the other two treatments ($p<0.001$). It is concluded that improved silage legumes offered results from acceptable to good, when they were include as partial protein source in growing pig diets.

Keywords: Growth performance, silage quality, *Canavalia brasiliensis, Vigna unguiculata*

Introduction

The pig production in the tropics is based on soybean meal as main protein source. Some difficulties such as its scarce local production and the high cost are serious limiting, especially by the smallholders. Tropical forage legumes can be an alternative protein supplement for pigs because of their high protein content and good biomass yield

(Martens *et al*., 2012), although the fibre and some anti-nutritional metabolites contents restrict its utilization (Savón, 2005).

The International Centre for Tropical Agriculture CIAT had identified around ten foliage improved accessions of different species with potential to supply partially the protein in pig diets. In the present study two species of them were selected because they have low quantity of anti-nutritional facts, but contrasting in their crude protein CP and Acid Detergent Fibre ADF contents: the high quality annual *Vigna unguiculata* CIAT 4555 (24% CP and 24% ADF) and the more fibrous biennial *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009 (18% CP and 37% ADF), (Heinritz *et al*., 2012):

Previous studies indicated that *V. unguiculata* is palatable for pigs and showed 53% of the CP total digestibility (Sarria *et al*., 2010a), and could be included up to 33% of the diet and replace 30% of protein with daily gain and conversion similar to a control diet based on corn and soybean meal (Sarria *et al*., 2010b). In the other hand, *C. brasiliensis* foliage meal presented 56% of crude protein digestibility in vivo (Sarria *et al*., 2012) and can replace until 15% of protein in diets for growing pigs with an inclusion of 16% DM in the diet (87 Kg LW).

Ensiling forages allows to harvest the crop at the optimal point of time and to preserve its nutritional quality. Moreover smell and taste might be more appetizing than fresh foliage in pigs (Artiles O, *et al*., 2012), and wilting helps to reduce volume and concentrate nutrients. Some legume foliage ensiled like *Clitoria ternatea* and *Cratylia argentea* of high DM and good quality have the potential to serve as feed supplement in growing pig diets. Inclusion rates up to 500 g kg-1 diet DM do not affect dry matter intake (Sarria & Martens, 2013) in Chapter 5.

In the present study the objective was to determine the range of productive behaviour expected in growing pigs receiving two contrasted foliage legumes ensiled: *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009 and *Vigna unguiculata* CIAT 4555, as partial replace of soybean protein.

Material and methods

The annual herbaceous legume *Vigna unguiculata* CIAT 4555 was harvested in December 2009 at around 7 weeks at CIAT Palmira, Valle del Cauca, Colombia (03°31'42" latitude N and 76°27'14" longitude W), and wilted for 2 days to achieve a dry matter (DM) of 300 g/kg fresh matter (FM). It was chopped, 20 g sucrose per kg FM were added, and inoculated with 105 cfu g^{-1} FM of a tropical *Lactobacillus plantarum* strain (CIAT S66.7). The material was compacted manually in 18.9 l plastic buckets to about 10 kg FM/bucket. They were tightly closed by a lid with rubber gasket.

The annual to biannual creeping *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009 was harvested with 3 months regrowth on two different days in February 2011 at Popayan, Cauca, Colombia (02°26'18" latitude N and 76°'47" longitude W). The material was chopped and wilted overnight to approx. 300 g DM Kg^{-1} FM before preparing the silages in buckets with the mentioned inoculant in open cattle stable which was temporarily disengaged.

The forages were dried to a target DM of 350 g kg^{-1} fresh matter (FM) and chopped in a forage chopper. Subsequently, sucrose was applied at 20 g kg^{-1} FM and lactic acid bacteria were added (105 colony forming units CFU) g^{-1} FM of a strain of *Lactobacillus plantarum* (DSM 24624, CIAT S66.7). The material was compacted in 18.9 l plastic buckets (Figure 6-1), which were closed tightly using lids with a rubber gasket. The foliages were ensiled between April and May, 2010, and stored at an ambient temperature of 22−33 °C, until February of 2011. Silage quality was determined considering DM, pH, NH3-N and organic acids. The pH was determined by preparing an extract of 10 g FM with 100 ml distilled water and measured using a pH meter (MP 120 pH meter, Mettler-Toledo, Greifensee, Switzerland). After 2 h, DM was determined in duplicate at 105°C for 24 h (DIN, 1985). Ammonia was determined according to Voigt & Steger, 1967. VFA, alcohols and lactic acid were detected by High Performance Liquid Chromatography (HPLC), column Rezex ROH-Organic Acid H+ (Phenomenex Ltd., Torrance, CA, USA), according to Siegfried *et al*., 1984. The standards used were lactic acid (LA) (Sigma, L-1750), acetic acid (Chem Service O-4), propionic acid (Chem Service O-25), isobutyric acid (Chem Service O-6), butyric acid (Chem Service O-5), valeric acid (Aldrich 240370), 1,2 propanediol (Emeral BioSystems, EBS-250), 2,3 butanediol (MP Biomedicals, 203774), and ethanol (absolute, Merck, 100983).

In June 2011, 12 commercial pigs Landrace*Large white, with an initial live weight (LW) of 43.0 ±1.6 kg, were housed in individual pens (2 × 1.5 m), with cement floors, open feeder and automatic water dispenser. They were used to evaluate the growth performance using forage legume silages as one protein source in balanced diets.

The experiment was carried out at the experimental farm of the National University in Palmira (Colombia) (03°32'22" latitude N and 72°18'13" longitude W).

The treatments were: Control, *V. unguiculata* and *C. brasiliensis* silage supplement respectively, replacing 200 g kg^{-1} CP soybean meal in the diet.

The Control consisted of a balanced diet of maize and soybean meal (Table 7-1). The foods were analysed for dry matter content using an oven at 105°C for 12 h, and the ash by burning the sample in a muffle furnace for 5 h at 600 °C, crude protein (Kjeldahl method) (AOAC, 1990). Neutral and acid detergent fiber (NDF, ADF) and acid detergent lignin were analysed by the method of van Soest *et al*., 1991. For measuring the *in vitro* digestibility, enzymatic digestion, Porcine pepsin (2000 FIP-U g-1, Roth) and porcine pancreatin (Pancreatin 8 x USP specifications, Sigma n°P-7545) were used for the enzymatic hydrolysis (three test runs in triplicates each) according to the method of Boisen & Fernández, 1997.

- **Table 7-1.** Composition of the experimental diets for growing pigs using silage of forage legumes as partial source of protein (g kg-1)

	Control	Canavalia	Vigna
Yellow corn	587	555	596
Wheat bran	153	0	0
Soybean meal	240	200	200
Palm oil	---	30	30
L-Lysine HCL 78%	0.3	3	2
Silage	---	190	150
Vitamin and mineral	20	22	22

V. unguiculata silage made up 150 g kg^{-1} of the total diet (DM base) and *Canavalia* silage 190 g kg^{-1} DM respectively. The reason for this difference was the lower CP concentration

in *Canavalia* foliage. The silage was mixed with the basal diets before feeding. The diet for each animal changed every period of three weeks, for a total of 9 weeks. Food was offered ad libitum twice a day and quantity adjusted every week, starting with 80 g DM kg^{-1} LW $^{0.75}$*d.

A crossover design with duplicated was applied, with three treatments and six sequences in which the animals received the treatments, as is showed in the Table 7-2:

- **Table 7-2.** Crossover for evaluations of diets with inclusion of foliage silage

PERIOD	SQUARE 1			SQUARE 2		
	PIGS			PIGS		
	1 y 7	2 y 8	3 y 9	4 y 10	5 y 11	6 y 12
1	Control	Cowpea	Canavalia	Control	Cowpea	Canavalia
2	Cowpea	Canavalia	Control	Canavalia	Control	Cowpea
3	Canavalia	Control	Cowpea	Cowpea	Canavalia	Control
Sequence of treatments[1]	123	231	312	132	213	321

[1]1 = Control, 2 = Cowpea silage and 3 = Canavalia silage

- **Calculations and statistical analysis:**

The variables were calculated as follows:

- Daily gain (g/day) = Final LW – Initial LW/21 days × 1000
- Daily consumption = g DM offered – g DM rejected/pig/day
- Daily metabolic consumption = g DM consumed per day/LW $^{0.75}$

Where: LW = live weight Kg

DM = Dry matter

The differences in the variables were determined by analysis of variance using the GLM procedure followed by the multiple comparison test of Duncan (p = 0.05), of the SAS version 9.1 for Windows (© 2002−2003 by SAS Institute Inc., NC, USA), using the following statistic model (Kuehl, 2000):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + b_{ij} + \gamma_k + \tau_{d(t,k)} + \lambda_{c(t,k-1)} + e_{ijk}$$

Where:

Y	: Daily gain, daily consumption, daily metabolic consumption or feed conversion.
μ	: the general mean.
α_i	: the effect of I sequence.
b_{ij}	: Random effect with variance σ^2_b for the j-nth animal in the i-nth sequence of treatment
γ_k	: Effect of the period
$\tau_{d(i,k)}$	: Direct effect of the Treatment supplied in the period k of the sequences group i.
$\lambda_{c(t,k-1)}$	: Hauled effect of the Treatment supplied in the period *k-1* of the sequences group i.
e_{ijk}	: Experimental error.

Results and discussion

In the Table 7-3 the chemical composition of the diets is exposed.

- **Table 7-3.** Chemical composition of the experimental diets for growing pigs using silage of forage legumes as partial source of protein (g kg-1)

	Diets		Silages	

	Control	Canavalia	Vigna	Canavalia	Vigna
Dry Matter DM	877	765	792	261	297
Ash	63	64	59	99	146
Crude protein	168	160	163	123	189
NDF	271	240	207	412	187
ADF	75	101	65	298	122
Lignin	23	28	22	75	38
Crude Energy, kcal/kg	3781	3836	3698	4170	3994

Table 7-4 shows live performance parameters of growing pigs fed with control or including the forage silages into the diets. Performance on Canavalia was lower than on the other two treatments (P<0.001). The good productive performance of growing pigs receiving cowpea silage as part of the diet was corroborated by Artiles *et al*., 2012, who registered the highest live weight gain achieved with silage of Vigna followed by silage of *Lablab* and *Cajanus*, the latter showing also best feed conversion ratio best (p>0.05).

Although the Canavalia diet contained a higher percentage of silage because of assumed less CP concentration, the protein intake was highly correlated with live weight gain (r=0.98). While animals receiving Control diet consumed a total of 300 g CP/day, it was 234 g with *Canavalia* and 276 with Vigna, whereby part of it was ammonia-N, with higher concentrations in *Canavalia.*

- **Table 7-4.** Performance parameters of growing pigs fed with diets containing or not tropical legume silages

Parameter	Control	Canavalia	Vigna	CV%[1]	SEM[2]	*p* [3]
Daily gain (g pig^{-1})	877.6^{a}	618.2^{b}	831.6^{a}	15.6	121	***
Daily consumption (g DM pig^{-1})	1791^{a}	1511^{b}	1701^{a}	7.3	122	***
Daily consumption (g DM / kg $LW^{0.75}$)	100.8^{a}	87.26^{b}	95.97^{a}	6.0	5.73	***
Daily Feed : LW gain	2.00^{a}	2.47^{b}	2.06^{a}	14.3	0.31	**

[1] CV coefficient of variation; [2] SEM Media standard error. [3] *p* (α < 0.05); ** *p* <0.01; *** *p* < 0.001, Different letters within rows indicate significant differences between treatments.

Respect to lower consumption of the Canavalia diet, it was correlated with DM content (r=0.90) and ADF (r=0.81). Also in the Chapter 6 where the consumption of other legume silages was evaluated in growing pigs, the high influence of the dry matter content on the

feed intake was observed (r=0.83) followed by NDF (r= −0.73), ADF (r= −0.65) and ADL (r= −0.58).

The lowest consumption of pigs given *C. brasiliensis* silage in the diet was not related to Water-holding capacity (WHC) (r=0.06). Previous studies neither indicate a relationship between the WHC and the intake of diets containing legume herbage ensiled (Sarria & Martens, 2013).

In vitro digestibility was carried for the three diets. It was a very interesting relation with the daily gain and conversion values of the pigs (Table 7-5). In other studies, silage of *V. unguiculata* was highly degradable in-vitro compared to other forages because it had less CP linked to the FDA, major content of water-soluble carbohydrates and less tannins and trypsin inhibitor activity (Heinritz, 2011).

Sarria *et al*. 2012 found no effect (p>0.05) of increasing *C.brasiliensis* meal inclusion (0, 100, 200 or 300 g/kg basal diet) on consumption by pigs. Yet, it decreased digestibility of DM, CP and energy, when more than 200 g kg^{-1} DM was included in the diet (p<0.05). *Vigna unguiculata* meal had a good consumption and medium digestibility coefficient (534 g Kg^{-1} crude protein) (Sarria *et al*., 2010a) very near to Canavalia (559 g Kg^{-1}) (Sarria *et al*., 2012).

The fermentation quality of these two silages was very distinct (Figure 14): while the Vigna silage (pH 4.4) was butyric acid free, Canavalia silage (pH 5.3) contained on average 15 g Kg^{-1} DM butyric acid, which might have depressed intake. Acetic and propionic acid summed up to 24 and 45 g Kg^{-1} DM for Vigna and Canavalia respectively. While the total nitrogen content was similar in both silages (crude protein 224-228 g kg DM, calculated as N x 6.25), ammonia-N accounted for 67 g Kg^{-1} of the nitrogen in Vigna and 122 g Kg^{-1}N in Canavalia. It is assumed that Canavalia was contaminated by *clostridial* spores while ensiling under farm conditions. Indeed Canavalia showed a daily weight gain closer to control when was included as meal foliage (Chapter 4), than as silage in the present study.

- **Table 7-5.** Coefficients (%) of digestibility *in vitro* for diets including legume foliage silage

	Control	*C. brasilliensis*	*V. unguiculata*	Correlation coefficient	
				Daily gain	Conversion
Digestibility of DM	65.5	59.1	65.4	0.988	−0.995
Digestibility of CP	82.5	79.2	84.0	0.888	−0.909

Heinritz 2011 studied the effect of silage on the contents of anti-nutritional factors in 8 species of tropical legume forages, including *Canavalia brasiliensis* and *Vigna unguiculata* evaluated in the present study. Trypsin inhibitor activity TIA was negligible in both species, before and after of ensiled. *Vigna* had the lowest content in total tannins with 0.18% of DM and 0.54% of total phenols, while *Canavalia* showed 0.84 and 0.97% respectively. Although, these values were low in comparison to *Flemingia* (5.5 and 5.2%) and *Leucaena* (5.9 and 4.9%), It is possible that tannins may have interfered in the results of productive behaviour of growing pigs, since they are known to block digestion in monogastric animals also by the inhibition of digestive enzymes, as it is mentioned in literature for trypsin (Feeny, 1969; Kumar and Singh, 1984; Ahmed *et al*., 1991, cited by Getachew, 1999 and amylase (Ahmed *et al*., 1991, Longstaff and McNab, 1991, cited by Getachew, 1999).

Heinritz, 2011 made a gas test as indicator for the bacterial fermentation in the colon and thus possible energy gain for the pig, Vigna had the most fermentable substance with a gas production of 87 ml/g DM while Canavalia was 53. This may be due to its relatively high water soluble carbohydrates content, which was possibly not completely degraded by enzymes before, and/or a low content in lignin, which is not fermentable. This is an additional reason why pigs receiving cowpea silage showed a better daily gain and feed conversion than those who consumed Canavalia silage.

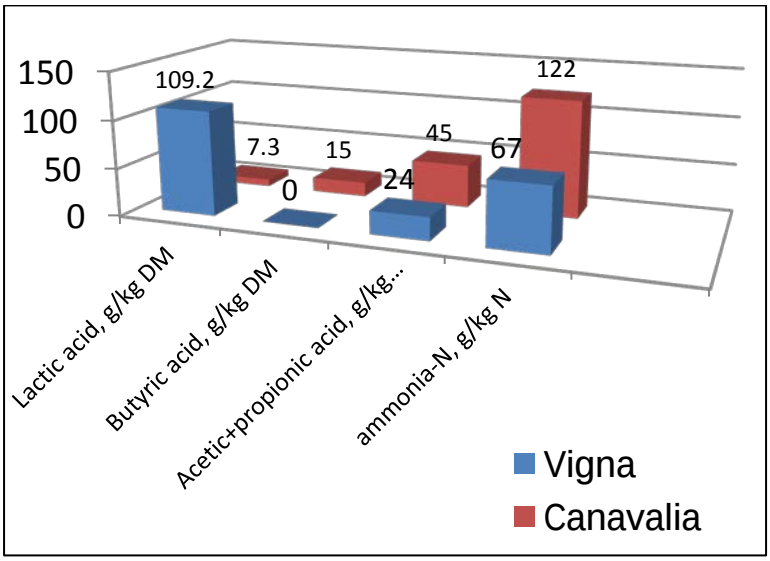


Figure 14. Fermentation quality of two species of legume silage

Table 7-6 presents the partial financial analysis of production of finishing pigs according the feed conversion obtained with the diets. The cost of the ration was performed with the prices of the raw materials used in the experimental diets for 2013. Silages value was estimated at $ 250/kg (base in dry matter), according to a personal conversation with Nelson Vivas, who accompanied the producers the establishment of banks foliage in the Department of Cauca, Colombia, with tropical forages program of CIAT.

The Vigna silage diet showed the best margin because the price was lower than the control and feed conversion was similar. Canavalia was below the control diet, indicating that the financial viability for the production of fattening pigs under Colombian conditions was lower.

- **Table 7-6.** Partial Margin per kg of live weight produced (USD $) with silages of *Canavalia brasiliensis* or *Vigna unguiculata* leaf as partial source of crude protein (CP) for growing pigs

	Control	Vigna 20% CP	Canavalia 20% CP
Feed conversion	2.00	2.07	2,47
Price per Kg of ration, USD$	0,521	0,512	0,502
Production Price per kg live weight	1,042	1,023	1,239
Sale Price per kg live weight	2,407	2,407	2,407
Partial Margin per Kg live weight	1,365	1,384	1,168
Relation benefit : cost %	1,310	1,352	0,943

.

Conclusion

Good quality forage silage of *Vigna unguiculata* offers a promising option to be included in balanced diets for growing-finishing pigs, while live weight gain with *Canavalia brasiliensis* silage was still within an acceptable range.

These results lead to the silage did not improve in vitro digestibility of Canavalia foliage, but Vigna was better than the previous study using foliage meal.

Vigna silage showed a better financial viability than Canavalia.

Capítulo 8

Conclusiones y recomendaciones finales

Considerando que casi un billón de personas sufre hambre y otro billón está malnutrido y se proyecta una población mundial de 9 billones de personas para el 2050, la búsqueda de plantas menos exigentes en fertilidad y más resistentes a plagas para alimentación porcina, en un planeta seriamente amenazado por la destrucción de sus recursos naturales, es una investigación científica justificable (Niebel, 2012). El incremento del precio del petróleo necesario para la producción de muchos cultivos amenaza la disponibilidad de recursos alimenticios y señala la prioridad de desarrollar fuentes alternativas de alimentación animal. Es también importante que estos alimentos sean producidos en las mismas granjas de los granjeros pobres, quienes no tienen dinero para comprar suplementos en el mercado y además pagar el transporte para llevarlos hasta su finca (Preston, 2006).

El interés en reemplazar la proteína derivada de la harina de soya en las dietas de cerdos fue además su alta dependencia de la importación en Colombia y en general en los países tropicales. Venezuela, Colombia, Perú y Ecuador exhibieron los precios más altos de la leguminosa en Latinoamérica, entre los años 2008 a 2012 (PIC, 2012). Su acceso a esta materia prima está limitado por el incremento y la fluctuación en los precios, debido a la fuerte demanda de los países asiáticos que han aumentado el consumo de carne a un ritmo de 4% anual (FAO, 2012) y a la disminución de la oferta de los productores a nivel mundial (Brasil, Argentina y Estados Unidos), por condiciones climáticas extremas (FENAVI, 2012) (PIC, 2012) (Fondo Nacional de la Porcicultura, 2013).

Interesante productividad en condiciones tropicales

Del banco de germoplasma de forrajes tropicales del CIAT, se estudiaron las accesiones *Vigna unguiculata* 4555 y *Canavalia brasiliensis* 17009, contrastantes en su calidad

nutricional, pero interesantes desde el punto de vista de la productividad de follaje. Son especies que responden a condiciones de suelos de mediana a baja fertilidad en el trópico, y se comparan con especies tan productivas como el bore (*Alocasia macrorrhiza* o *Xanthosoma sagitifolium* (Tabla 1-2, Capítulo 1). La Vigna supera en 5 veces la soya, en cantidades de proteína por unidad de área cultivada (Díaz, 2000) y la Canavalia tiene potencial para cosecharse hasta por dos años y es más resistente a condiciones de baja fertilidad, humedad y sequía.

Aceptable composición química limitada por el contenido de fibra

Uno de los factores más limitantes para la inclusión de cantidades importantes de follajes en las dietas de cerdos es su contenido de fibra, por su menor digestibilidad frente a otros nutrientes (Noblet & Le Goff, 2001). En la Tabla 8-1 se resume la información de composición química de los follajes de *V. unguiculata* CIAT 4555 y *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009 evaluados en el presente estudio. Los valores de FDN fueron similares mientras que la FDA fue un poco mayor en la Canavalia, de tal manera que el contenido de la fracción más degradable de la fibra llamada hemicelulosa (KASS *et al*., 1980) fue mayor en Vigna y la celulosa que es poco digestible, fue mayor en Canavalia. Algunos autores han registrado valores de FDA similares a los de este estudio para el follaje de *Vigna unguiculata* (24-30%) y un poco mayores para *Canavalia brasiliensis* (35-40%) (Martens *et al*., 2008) (Heinritz *et al*., 2012).

El ensilaje de Vigna mostró menos FDN y FDA que la harina de la misma especie (60% y 54% respectivamente), mientras que la Canavalia prácticamente no varió su composición con este proceso fermentativo. Esto podría ser un indicador de la mayor degradabilidad de la fibra de la Vigna frente a aquella de la Canavalia. Al respecto Savón *et al*., 2005

observaron disminución del contenido de FDN en la harina del follaje de la leguminosa *Lablab purupureus* fermentado en estado sólido con el hongo celulolítico *Trichoderma viride.*

- **Tabla 8-1.** Composición química (g/Kg) y características físicas de follajes y ensilajes de *Vigna unguiculata* CIAT 4555 y *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009

	Follaje de Vigna		Follaje de Canavalia		Requerimientos del cerdo[1]
	Harina	Ensilaje	Harina	Ensilaje	
Materia seca	90	30	92	26	
Proteína cruda	16-27	19	18	12	12-18
Energía bruta, Kcal/Kg	4301	3994	3945	4170	3230 EM
FDN	48	19	46	42	7-10[2]
FDA	26	12	30	29	
LDA	7	4	7	8	
Hemicelulosa	21	7	16	12	
Celulosa	19	8	23	22	
Capacidad de adsorción de agua CAA, g agua/g MS	5	2.6	5	3.6	

[1]Rostagno H. S. *et al*, 2011.[2]OGLE B 2006.

El contenido de proteína bruta en general fue mayor en Vigna que en Canavalia, aunque se encontraron fluctuaciones importantes sobre todo en la primera, debido posiblemente a la edad del cultivo (Martens *et al*., 2008). El contenido de proteína verdadera fue mayor en la accesión estudiada de *V. unguiculata* que en *C. brasiliensis* (14,6% Vs 11%) (Heinritz *et al*., 2012). Los valores de proteína y aminoácidos limitantes para cerdos, en los follajes de leguminosas es aproximadamente la tercera parte de la torta de soya, lo que restringe realizar inclusiones más allá del 33% MS en las dietas balanceadas de cerdos en crecimiento. Ambas especies parecen tener un adecuado balance de lisina con respecto a metionina + cistina (Heinritz, 2011), superior a otros siete follajes de leguminosas y a la torta de soya. Sin embargo su contenido total de proteína es la tercera parte de la torta de soya lo que limita realizar inclusiones mayores a las aquí presentadas.

En cuanto a la composición química se puede concluir que *V. unguiculata* superó a *C. brasiliensis*

Buenos consumos voluntarios

Los consumos en los cerdos que recibían dietas hasta con 30% de harinas de follajes de *V. unguiculata* o *C. brasiliensis*, fueron similares o mejores a los obtenidos para la dieta control de maíz y soya, lo que facilitaría su inclusión en cantidades importantes como ingredientes de las dietas balanceadas para cerdos en crecimiento.

El mayor consumo de dietas con harina de Vigna se relacionó con la menor concentración de energía al reemplazar parte de los granos por el follaje (Henry, 1985; Smith *et al*., 1999 y Torrallardona & Roura, 2009).

El buen consumo voluntario de las harinas de follaje de Vigna y Canavalia, posiblemente se debió a su sabor simple (Leterme & Buldgen, 2007), diferente a lo que sucede con follajes amargos como *Tithonia diversifolia* (Sarria, 2000) o de olor y sabor fuerte como *Gliricidia sepium* (Díaz *et al*., 2004). Generalmente los sabores y olores fuertes se relacionan con el contenido de factores antinutricionales FAN (Makkar, 2007).

Otros autores también han registrado bajos contenidos de FAN en las especies evaluadas en el presente estudio. Heinritz, 2011 señaló que esta misma accesión de *Vigna unguiculata* mostró los menores contenidos de factores antinutricionales entre nueve especies de follajes de leguminosas, con valores indetectables de anti-tripsinas, 0.18 y 0.54% MS de taninos y fenoles totales respectivamente, seguido por *Canavalia brasiliensis* con valores de 0, 0.84 y 0.97% para las tres sustancias, en contraste con *Flemingia macrophylla* (199mg/g, 5.5% y 5.2%) y *Leucaena diversifolia* (65 mg/g, 5.9% y 4.9%), respectivamente. En evaluaciones de follajes disponibles en Cuba para alimentación animal, DÍAZ 2000 también registró a la *Vigna unguiculata* como la especie de menor contenido de factores antinutricionales entre varias leguminosas; la *Canavalia ensiformis* la igualó con bajos contenidos de antitripsina y quimotripsina y ausencia de inhibidores de alfa amilasa, aunque registró valores altos de actividad hemoaglutinante

En cuanto al consumo de follajes ensilados, los contenidos de FAN también estuvieron relacionados con las respuestas de los cerdos. *Cratylia argentea* fue mejor consumida que *Centrosema brasilianum (93.8 Vs 80 g MS kg-1 PV$^{0.75}$,* p<0,001*)*. Según (Heinritz, 2011), el ensilaje de *Centrosema brasilianum* mostró valores de 8.9 mg/g MS de inhibidor de tripsina, 1,4% de fenoles y 1,3% de taninos condensados insolubles, mientras que no se detectaron en el ensilaje de *Cratyilia argentea*.

Cuando los follajes se brindaron con mayor contenido de humedad como sucedió con los cuatro ensilajes evaluados en el Capítulo 6, el mayor coeficiente de correlación con los parámetros de consumo, lo registró el contenido de materia seca (r=0.83), seguido por %FDN (−0.73), %FDA (−0.65) y %LDA (−0.58). Igualmente cuando se comparó el desempeño productivo con ensilajes de follajes de Vigna y Canavalia en el Capítulo 7, el consumo fue mayor para la dieta con Vigna frente a Canavalia (96 Vs 87 g MS/kg PV$^{0.75}$) y estuvo altamente relacionado con el contenido de humedad de la dieta (r=0.90), seguido por el contenido de FDA (r=0.81). Aunque la ingestión de raciones líquidas o húmedas es más rápida que las secas (LY, 2008), cuando se trata de follajes el mayor contenido de humedad parece limitar el consumo voluntario (Figueroa, 1996 y Leterme *et al*., 2005).

La teoría de la voluminosidad medido por la capacidad de adsorción de agua CAA como uno de los principales limitantes para el consumo voluntario en cerdos (Kyriazakis & Emmans, 1995; Whittemore *et al*., 2002) y sugeridos como uno de los principales retos en el estudio de follajes para cerdos en el trópico (Ly, 2004), no tuvo una relación con los follajes en harina ni ensilados de Vigna y Canavalia en el presente estudio (r=0.06). Cuando se evaluó el consumo de cuatro follajes ensilados y la dieta control el coeficiente fue mayor (-0.61), aunque mejor explicado por el contenido de MS de los ensilajes (r=0.83).

Fue interesante observar que la CAA fue similar en las dos especies en forma de harina y ambas presentaron valores más bajos cuando fueron ensiladas (Tabla 8-1). Debido a que este factor ha sido relacionado inversamente con la motivación para consumir alimento (Day *et al*., 1996), el ensilaje pudiera mejorar algunas características nutricionales como la capacidad de ingestión. La disminución fue más notoria en Vigna que en Canavalia, posiblemente relacionado con la reducción de los contenidos de fibra.

El buen consumo de ambas especies indicó que el tipo de fibra que contienen posiblemente no causó problemas de lento vaciado del estómago o prolongada sensación de saciedad en el animal (Wenk, 2001). Los valores de CAA estuvieron entre 5-6 g agua/g MS y los animales consumieron con avidez el alimento brindado en 5 raciones diarias con una frecuencia de 2 horas, aunque se observó que la dieta control fue consumida más rápidamente y su CAA fue ligeramente menor (4.8 g agua/g MS). Posiblemente los valores de CAA no fueron lo suficientemente contrastantes para marcar diferencias, debido a la también inclusión de una fuente fibrosa (salvado de trigo), en la dieta control. De esta manera los follajes de Canavalia y Vigna podrían reducir la sensación de hambre en los animales sin limitar el consumo voluntario, útil especialmente para hembras gestantes y machos reproductores, señalado por algunos autores (Day *et al*., 1996 y Machin, 2000).

De esta manera se recomienda que para garantizar un buen consumo de las dietas que incluyan follajes, los contenidos de MS totales deben ser superiores al 44% para cerdos de 45 kg de peso vivo, y posiblemente más secos en el caso de animales más pequeños. Los contenidos de FDN y FDA deben ser considerados porque tuvieron relación con la capacidad de consumo. Un bajo consumo puede estar relacionado también con contenidos importantes de factores antinutricionales, los cuales deben ser estudiados. No se recomienda tener en cuenta la capacidad de adsorción de agua por su baja relación mostrada en este estudio.

Mejor rendimiento productivo y digestibilidad de la harina de follaje de *Vigna* que la de *Canavalia*

El follaje de Vigna superó a la Canavalia en el rendimiento productivo de los cerdos en crecimiento (Figura 15). Fue incluido hasta el 33% (contenido en base de MS) contribuyendo con el 30% de la PC en las dietas balanceadas para cerdos durante la fase de levante, sin deteriorar la ganancia de peso ni la conversión alimenticia (Tabla 3-5). Estos resultados estuvieron relacionados con el buen consumo voluntario (Tabla 2-7), buena digestibilidad fecal de la MS, EB, FDN y FDA (Tabla 2-8) y aceptable digestibilidad ileal de la PC (Tablas 2-8 y 2-9).

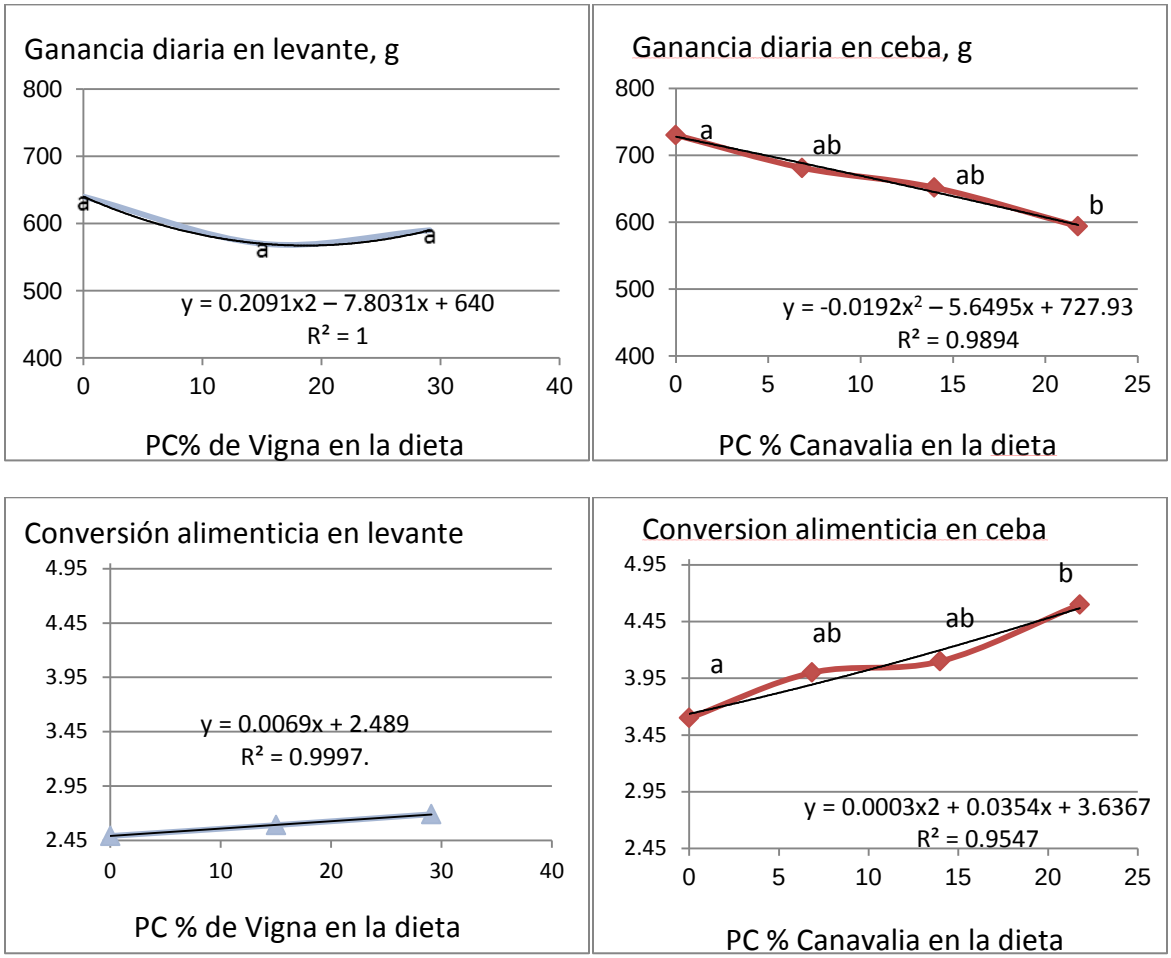


Figura 15. Comportamiento productivo de cerdos en levante o ceba recibiendo dos follajes de leguminosas como fuente parcial de proteína

La Canavalia fue inferior a la Vigna, señalando una tendencia a deteriorar la ganancia de peso y la conversión alimenticia a partir del 7% de contribución a la proteína con 8% MS de inclusión en la dieta (Figura 15), aunque las diferencias estadísticas se observaron a partir del 24% de Canavalia en la dieta ($p<0.05$) (Tabla 5-4). La ingesta voluntaria fue similar en todos los tratamientos ratificando la aceptabilidad de la harina de Canavalia por parte de los cerdos (Tablas 5-4 y 4-5). El menor rendimiento productivo de los cerdos se explicó por la tendencia de la Canavalia a deteriorar los coeficientes de digestibilidad fecal de la MS, PC y EB (Figura 4-1), especialmente a partir del 20% de inclusión (Tabla 4-6). Afectó sustancialmente la digestibilidad ileal de la proteína, con un coeficiente de 16.4% considerado bastante bajo (Tabla 4-8).

Aunque los coeficientes de digestibilidad fecal aparente de la PC y EB, fueron cercanos en las dos especies estudiadas: 53 y 42% para *V.unguiculata* frente a 56% y 41% de la *C. brasiliensis*, con una diferencia apreciable en el valor para materia seca 57 Vs 47%, la medición de las digestibilidades ileales de la proteína fueron definitivas para explicar las diferencias alimenticias de las dos especies.

Las causas por las diferencias en los valores de digestibilidad ileal de la proteína entre los dos follajes pueden estar relacionadas con los mayores contenidos de FDA y celulosa de la *Canavalia brasiliensis* (Tabla 8-1) y menor de proteína disponible (ligada a la FDN) con valores de 14.8 frente a 18.5 % para Vigna (Heinritz, 2011).

De acuerdo con Noblet & Le Goff, 2001, la fibra es parcialmente digerida por los cerdos en crecimiento pero siempre es significativamente menor a la digestión de otros nutrientes como la proteína, almidones, azúcares y grasas. También puede disminuir el tiempo de retención tanto en el intestino delgado como grueso (Wilfart *et al*., 2007) y reducir la digestibilidad de otros nutrientes posiblemente porque el tiempo de exposición a las enzimas se acorta (Castle and Castle 1956, citados por Kass *et al*., 1980)..

Además se ha demostrado que los cerdos se adaptan tanto con el cambio en la flora intestinal como en el mayor desarrollo del intestino grueso, con las dietas altas en fibra e incrementan la digestión con el tiempo (Martínez-Puig *et al*., 2003). Esto fue observado con los cerdos que recibieron Vigna en la dieta durante 38 días (Tabla 2-11).

Algunas fibras causan mayores pérdidas endógenas relacionadas tanto por el contenido de FDN como por la capacidad de adsorción de agua (Leterme *et al*., 1996) y reducen la digestibilidad fecal aparente de la proteína debido al incremento de la excreción fecal de N por el crecimiento de bacterias (Martínez-Puig *et al*., 2003). Para el caso de los follajes evaluados un mayor FDN en la Canavalia pudo contribuir a una mayor excreción de N y menor digestibilidad, pero la capacidad de adsorción de agua fue similar en las dos especies, con valores de 5.02 y 5.17 g agua/g MS para Vigna y Canavalia, respectivamente.

Los compuestos fenólicos más problemáticos son los taninos, que tienen una alta afinidad para encapsular proteínas (Makkar, 2007), sin embargo no han sido registrados

en Canavalia brasiliensis (Heinritz, 2011), razón por la cual no se consideró que hubieran causado los menores rendimientos productivos en los cerdos.

De acuerdo al consumo de la dieta con Canavalia (2,3 Kg diarios/cerdo), los animales recibieron 190 ppm de compuestos fenólicos; una cantidad baja ya que se ha considerado un máximo de 500 ppm como dosis terapéutica para controlar bacterias patógenas en heces de cerdos (Zaffarano, 2003). De esta manera los contenidos de fenoles en Canavalia parecen ser bajos para causar efectos adversos o positivos.

Valoración nutricional de los follajes en cerdos

Si bien los follajes (hojas + peciolo), son una fuente interesante de proteína para cerdos de engorde, corresponden a una parte de las plantas con abundantes tejidos estructurales y por ello, mayores contenidos de fibra que los hallados en los granos o torta de soya. Esta condición natural los limita para reemplazar más del 30% de las fuentes convencionales de proteína. Mejores resultados se pueden esperar con dietas basales bajas en fibra y pobres en proteína; es el caso del jugo de caña, harina de yuca, aceites de palma, plátanos y batatas (Preston, 2006).

Uno de los objetivos trazados al iniciar este estudio fue avanzar en las metodologías para predecir, de manera ágil y económica la calidad de los follajes de leguminosas para la alimentación de cerdos.

El uso de técnicas *in vitro* que permitan la valoración digestiva de los alimentos para cerdos, ha merecido la atención de diversos equipos de investigación a nivel mundial. Entre estos se destaca el estudio realizado por Ly *et al*., 2004 en follajes arbóreos y arbustivos de especies leguminosas y no leguminosas disponibles en Cuba. Dicha evaluación se basó en la metodología propuesta por Dierick *et al*. durante 1985-1986 y que consiste en simular la digestión en condiciones *in vitro* de los procesos digestivos que tienen lugar en el estómago y el intestino delgado del cerdo; implica la incubación en dos etapas sucesivas con pepsina en medio ácido y pancreatina en medio ligeramente alcalino.

Debido a que este mismo procedimiento se realizó en la presente investigación, en el cuadro 8-2 se presenta la comparación entre los coeficientes de digestibilidad *in vivo*, *in vitro* y el valor de predicción para follajes en la alimentación de cerdos propuesto por Ly *et al*., 2004.

- **Tabla 8-2.**Coeficientes de digestibilidad del N (%) del follaje de dos leguminosas en cerdos

	D *in vitro*	**D *in vivo* calculado[1]**	**D ileal *in vivo***	**D fecal *in vivo***
Vigna unguiculata	99	88	94	53
Canavalia brasiliensis	82	75	16	56
D *in vivo* del N(%) = 12.967 + 0.756 D *in vitro* del N(%).(R^2 0.978; $p < 0.001$), (Ly *et al*., 2004)				

La digestibilidad *in vitro* DIV, señaló tendencias interesantes para la valoración nutricional de follajes en cerdos. El coeficiente de correlación entre estos y aquellos *in vivo* ileal para PC fue de 73%, aunque las diferencias en Canavalia fueron apreciables. Con respecto a las variables productivas la DIV PC se relacionó en un 67% con la conversión alimenticia y 68% fue la correlación entre la DIV de la MS y la ganancia de peso. Correlaciones por encima de 89% se observaron entre la DIV tanto de MS como de PC con las variables crecimiento y conversión alimenticia de cerdos recibiendo follaje de Canavalia o Vigna ensilados, como fuente parcial de proteína (Capítulo 7).

Debido a la alta complejidad y costos de la metodología para medir la digestibilidad ileal utilizada en este estudio, con reactivos como el óxido de cromo, sacrificio temprano de un número importante de animales y medición por digestión y espectrofotómetro del contenido de cromo en las dietas y contenidos ileales, la DIV con pepsina y pancreatina porcina, parece ofrecer una aproximación del valor nutricional de follajes para cerdos. Una ventaja adicional es que se puede complementar con una simulación de la digestión cecal; un método que consiste en medir la producción de gases a través de la fermentación de las dietas a evaluar, previamente inoculadas con excretas de cerdos, de acuerdo con la metodología descrita por Heinritz, 2011 a partir del protocolo de Menke & Steingass 1988, adaptado para cerdos por Bindelle *et al*. 2007.

En la Tabla 8-3 se listan las especies en un orden descendente sugerido por la autora, de acuerdo con los parámetros *in vivo* de digestión y comportamiento productivo, coeficientes de DIV complementados con los valores de producción de gas y contenidos de FANs registrados por Heinritz 2011. Los más bajos parámetros entre las leguminosas los registraron *Flemingia* y *Leucaena* y estuvieron relacionados con altos contenidos de taninos y fenoles. La *Brachiaria* Mulato II aunque no registró cantidades importantes de factores antinutricionales, mostró muy baja DIV y producción de gas, posiblemente porque contiene 57% más de FDN y 30% más de FDA, en comparación con las especies *Cratylia*, *Clitoria* y *Centrosema* cuyos ensilajes fueron evaluados en este estudio (Tabla 6-3, Capitulo 6).

Algunos parámetros de los follajes con mayor potencial para la alimentación de cerdos en crecimiento serían: contenidos menores de 50% de FDN y 25% de FDA, mayores de 19% de PC y al menos 14% de PV con un balance de aminoácidos cercano al ideal para cerdos. Entre las leguminosas preseleccionadas por CIAT, *V. unguiculata* 4055 es la de mejor composición química, seguida por *C. brasiliensis* y *Cratylia argentea.* Esta última fue registrada con menos fermentación *in vitro* que Canavalia (Heinritz, 2011), por lo que se presume un posible menor aprovechamiento por los cerdos.

- **Tabla 8-3.** Algunos parámetros para la valoración nutricional de follajes tropicales en cerdos de engorde

Especie	Coeficientes Dig. Ileal dietas in vivo, %		Coeficientes DIV dietas, %		Hojas solas[1]		Ganancia diaria, g/día	Conversión alimenticia	Consumo, g/Kg $PV^{0.75}$
	MS	PC	MS	PC	DIV %	Producción de gas, ml/g MS			
Vigna unguiculata,	80.7	89.0	67.3	89.2	53.8	87.0	595	2.7	85.1
V unguiculata, ensilaje	na	na	65.4	84	52.8	67.2	831	2.0	96.0
Canavalia brasiliensis	86.9	65.3	62.7	84.8	40.0	53.4	594	4.6	81.3
C brasiliensis, ensilaje	na	na	59.1	79.2	na[2]	na	618	2.5	87.3
Cratylia argentea	na	na	na	na	40.5	35.7	na	na	93.8
Clitoria ternatea	na	na	na	na	na	na	na	na	90.0
Stylosanthes guianensis	na	na	na	na	30.6	41.0	na	na	
Centrosema brasilianum	na	na	na	na	32.2	30.0	na	na	80.0
Desmodium velotinum	na	na	na	na	39.3	26.1	na	na	
Leucaena diversifolia	na	na	na	na	41.9	15.0	na	na	
Flamingia macrophyilla	na	na	na	na	24.2	2.1	na	na	
Mulato II	na	na	na	na	22.1	10.7	na	na	78.2

Realizado por la autora con apoyo de algunos datos de [1] HEINRITZ, 2011. [2] na = no analizado.

El follaje de *Vigna unguiculata* CIAT 4555 fue bien aprovechado por los cerdos y su utilización es recomendable. Con este resultado se demuestra que algunas leguminosas

tienen un buen potencial, contrario a lo analizado por Ly 2004, quien concluyó que los árboles y arbustos tropicales no leguminosos parecen aventajar a los leguminosos en el aprovechamiento de los nutrientes por parte de los cerdos, especialmente el N, y presentan mejores rasgos de comportamiento y reproductivos; argumentó el poco valor de digestibilidad rectal y balance de N de *Fleminigia macrophyla* y *Desmenthus virgatus* o de digestibilidad ileal y rectal de *Leucaena leucocephala* y guandul (C*ajanus cajan*), registrados por autores camboyanos y cubanos, frente a los buenos valores de follajes no leguminosos como Morera (*Morus alba*) y yuca amarga evaluados en Venezuela,

Ensilaje de follajes como opción a las harinas para su inclusión en las dietas de cerdos

El follaje de Vigna respondió muy bien al ensilado y los cerdos crecieron igual que con una dieta control cuando fue incluido a razón de 15% de la MS y 20% del aporte de la proteína de la soya. La calidad de la fermentación para el follaje de Canavalia fue baja y además mostró mayores contenidos de FDA que el ensilaje de Vigna, lo que afectó el consumo y por ende la respuesta productiva de la dieta ($p<0.001$).

Los menores contenidos de FDN y FDA de la Vigna ensilada frente a la harina de la misma y relativamente ningún cambio en la Canavalia pudo estar relacionado con una mayor degradabilidad de la fibra de la Vigna durante el proceso de fermentación que provocó un mayor coeficiente de digestibilidad enzimática *in vitro* (Tabla 7-5).

El follaje de Vigna ensilado superó los resultados con respecto a la harina del mismo, lo que abre puertas para que este tipo de procesamiento de los follajes de leguminosas pueda ser utilizado en la alimentación porcina. Así, los pequeños porcicultores que no dispongan de molinos y sistemas de secado (hasta 90% de contenido de MS), para la producción de harinas de follajes, puedan deshidratar hasta aproximadamente 35% de

MS el follaje, picarlo y compactarlo para la fermentación y conservación. Una ventaja adicional es que almacenado en recipientes plásticos a temperatura ambiente, se conservó por más de un año sin deteriorar su valor nutritivo, lo que no sucedió con la harina.

Otros follajes ensilados como *Cratylia argentea* y *Clitoria ternatea* fueron bien consumidos por los cerdos en crecimiento, a diferencia de *Brachiaria* sp y *Centrosema brasilianum* (Capítulo 6); resultados relacionados con el mayor contenido de materia seca de los primeros.

Posibilidades de aplicación de los resultados

Desde el punto de vista de la aplicación productiva de los resultados de esta investigación Peters *et al*., 2012 en el reporte final del proyecto macro se concluyó que la accesión *Vigna unguiculata* CIAT 4555 demostró ser un recurso competitivo para la alimentación de cerdos. El dilema es cómo producir grandes cantidades para que pueda ser accesible a otros productores. Hasta ahora ha habido poco interés por parte de empresas de piensos concentrados comerciales para comprar harina de follaje de leguminosas de los pequeños productores, porque ellos requieren un flujo constante a través del año de un producto uniforme en términos de calidad nutricional. El ensilaje puede ser una oportunidad de mercado para los pequeños productores a manera de autoconsumo y abastecimiento a otros productores pequeños dentro de las comunidades rurales.

El proyecto “Follajes mejorados para la producción de animales monogástricos por parte de pequeños productores” desarrollado por el CIAT entre 2009 y 2012 (Peters *et al*., 2012) logró vincular en sus primeras etapas a 400 productores entre el departamento del Cauca en Colombia (Suramérica), las provincias de León, Chinandega y Nueva Segovia de Nicaragua (Centro América) y Kamanyola, Mulungu, Nyangezi y Tubimbi entre otros en la República Democrática del Congo (Este de África tropical). Ellos han señalado a la

Vigna unguiculata y *Canavalia brasiliensis*, como promisorias pero todavía no se ha logrado vincularlas a una cadena de valor para su comercialización. El interés del sector de la producción de piensos por el uso de alimentos alternativos sigue siendo limitado, lo que deja pocas oportunidades para la agricultura por contrato de alimentos a base de proteínas de forraje alternativo. Tanto en Colombia como en Nicaragua, la demanda por este conocimiento nace de los pequeños productores rurales que requieren disminuir costos de producción a cambio de fuerza de trabajo. Los cerdos sirven para aumentar sus ingresos, se alimentan con los recursos y subproductos de la finca y eventualmente con pequeñas cantidades de alimento comercial. Las dietas son imbalanceadas y carecen principalmente de una fuente de proteína. En Nicaragua, 19 pequeños agricultores obtuvieron las mismas ganancias diarias en cerdos (alrededor de 140 g/día), alimentados con 50% de forrajes que con solo maíz como dieta tradicional, disminuyendo los costos aunque la familia invirtió una hora diaria de trabajo para la producción del forraje. Otros 15 productores reemplazaron 30% de sorgo o maíz por follaje ensilado de *Vigna unguiculata* y obtuvieron ganancias de peso en los cerdos de 250 g/día y algunos lograron 400 en promedio. En República Democrática del Congo se avanzó en la evaluación participativa de diferentes especies de forrajes, allí los productores prefirieron aquellas que pueden producir granos y follaje como la *Vigna unguiculata* y el *Lablab purpureus*, para complementar las necesidades de alimento humano prioritariamente.

De esta manera se aporta al conocimiento de recursos tropicales como fuentes de proteína para una producción porcina más sostenible que busca presentar opciones para reemplazar la soya importada, por lo menos parcialmente.

Conclusiones

1. El follaje de la accesión de la leguminosa tropical *Vigna unguiculata* CIAT 4555 tiene potencial como fuente de proteína para cerdos en crecimiento. Inclusiones hasta 33% MS son recomendadas.
2. El follaje de la accesión *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009 mostró menos potencial para reemplazar la soya en las dietas de cerdos por su baja digestibilidad ileal de la proteína. Se recomienda incluirla hasta el 16% MS de la dieta.
3. El ensilaje mejoró el comportamiento productivo frente a las harinas de los follajes de Vigna y Canavalia. El ensilaje de Vigna reemplazó el 20% de la PC de la soya y mostró 60% menos FDN con respecto a la harina de la misma, por lo que se recomienda su implementación en la alimentación de cerdos. La canavalia fue inferior.
4. Contenidos de MS de los ensilajes por encima de 44% estuvieron relacionados con altos consumos de los follajes de las leguminosas *Vigna unguiculata*, *Cratylia argentea* y *Clitoria ternatea*. Se recomienda brindar a los cerdos en crecimiento follajes ensilados de estas leguminosas, llevándolos a este nivel de MS para una mejor respuesta productiva.

BIBLIOGRAFÍA

Abreu, R. I., 1984. Utilización de proteínas foliares: lino criollo *Leucaena leucocephala* y yuca *Manihot sculenta,* en sustitución parcial (15%) de harina de soya en dietas a base de caña de azúcar para cerdos en finalización. República Dominicana: Tesis de grado. Universidad Central del Este.

Álvarez, D., 2001. Evaluación *in vitro* de leguminosas tropicales como fuente de proteína para rumiantes. Tesis de grado Maestría en Ciencias Agrarias ed. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.

AOAC, 1990. Official method of analysis of the association of official analytical Chemist*.* Virginia USA: 15th Ed. Arlington .

Artiles O, E., 2012. Evaluación de alimentos fibrosos tropicales para la alimentación de cerdos en crecimiento en Nicaragua. Santa Clara (Cuba): Tesis de maestría en Salud Animal Avanzada. Universidad Central Martha Abreu de las Villas.

Artiles O, E., van der Hoek, R., Lima, O. R. & Rodríguez, C., 2012. Performance of pigs fed with fresh & ensiled forage of *Vigna unguiculata* CIAT 4555*, Lablab purpureus* CIAT 22759 and *Cajanus cajan.* Hämeenlinna, Finland, Published by MTT Agrifood Research Finland and University of Helsinki.

Azeke, A., Fretzdorff, B., Buening-Pfaule, H. & Holzalpfel, W., 2005. Nutritional value of African yambean *(Sphenostylis stenocarpa L)*: Improvement by lactic acid fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture,* Volumen 85, pp. 963-970.

Baldi, G. & Salamini, F., 1973. Variability of essential amino acid content in seeds of 22 Phaseolus species. *Theoretical and Applied genetics,* Volumen 43, pp. 75-78.

Batterham, E. S., Saini, H. S. & Andersen, L. M., 1993. Tolerance of growing pigs to trypsin and chymotrypsin inhibitors in chickpeas (*Cicer arietinum*) and

pigeonpeas (*Cajanus cajan*). *Journal of the Science of Food Agriculture ,* Volumen 61, pp. 211-216.

Beltrán S, L. S., 2005. Manual de Porcicultura*.* Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Bindelle, J., Buldgen, A. & Leterme, P., 2008. Nutritional and environmental consequences of dietary fibre in pig nutrition: a review. *Biotechnologie, Agronomie,Société et Environnement,* 12(1), pp. 69-80.

Boisen, S. & Fernández, J. A., 1997. Prediction of the total tract digestibility of energy in feedstuffs and pig diets by in vitro analyses. *Animal Feed Science and Technology,* 68(3-4), pp. 277-286.

Brumm, M. C. & Miller, P. S., 1994. Response of pigs to space allocation and diets varying in nutrient density. *Journal of Animal Science,* Volumen 74, pp. 2730-2737.

Campbell, R. G. & Taverner, M. L., 1986. The effects of dietary fibre, source of fat and dietary energy concentration on the voluntary food intake and performance of growing pigs. *Animal Production,* 43(02), pp. 327-333.

Carranco, M. E., Arellano, G., Pérez, G. & Mercado, I., 1994. Nota sobre la composición química de *Vigna unguiculata* (l) Walp, como posible recurso forrajero. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas,* Volumen 28, p. 355.

Choct, M., 1997. Feed Non-Starch Polysaccharides: Chemical Structures and Nutritional Significance. *Feed Milling International,* Issue June, pp. 13-26.

Cook, B. G., Pengelly, B. C., Brown, S. D. & Donnelly, J. L., 2005. *Tropical Forages: an interactive selection tool. CD-ROM.* Brisbane Australia: CSIRO, DP&F (Qld), CIAT and ILRI.

Day, J. E. L., Kyriasakis, I. & lawrence, A. B., 1996. The use of a second-order schedule to assess the effect of food bulk on the feeding motivation of growing pigs. *Animal Science,* Volumen 63, pp. 447-455.

Díaz, C., Domínguez, H., Macías, M. & Ramírez, M., 2004. Aceptabilidad y patrón de consumo en cerdos alimentados con miel de caña B en mezcla con niveles variables de forraje de *Gliricidia sepium*. *Revista computarizada de producción porcina,* 11(1), pp. 6-8.

Díaz, M. F., 2000. Producción y caracterización de forrajes y granos de leguminosas temporales para la alimentación animal*. Tesis de Grado de Doctor en Ciencia Agrícola.* La Habana Cuba: Instituto de Ciencia Animal Ministerio de Educación Superior.

DIN, 3.-S., 1985. Bestimmung des Wassergehaltes und des Trockenrückstandes bzw. der Trockensubstanz. Beuth-Verlag, Berlin.

Donzele, 2005. Níveis de Energia Metabolizável e Relação Lisina Digestível por Caloria em Rações para Suínos Machos Castrados. *Ajinomoto Relatorio de pesquisa. Biolatina Ind.Com.Ltda,* Volumen 45, p. 7.

Estrella, J. F., Uen, B. & Mena, A., 1985. Evaluación de diferentes niveles de harina de hojas de leucaena como sustituto de concentrado con dietas a base de jugo de caña para cerdos en crecimiento y engorde, República Dominicana: Centro de Investigaciones Pecuarias.

FAO, 2010. *FAOSTAT.* [En línea] Available at: (http://faostat.fao.org/site/569/DesktopDefault.aspx?PageID=569#ancor) [Último acceso: 15 JULIO 2012].

FAO, 2012. Statistical Year Book. Rome: PDF version.

FENAVI, 2012. Federación Nacional de Avicultores. [En línea] Available at: http://www.fenavi.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1897&Itemid=1079
[Último acceso: NOVIEMBRE 2012].

Figueroa, V., 1996. Producción Porcina con Cultivos Tropicales y Reciclaje de Nutrientes. Ciudad de la Habana, Cuba: Fundación CIPAV.

Fondo Nacional de la Porcicultura, 2013. Análisis de coyuntura del sector porcícola, año 2012. *Porcicultura colombiana,* 2(2), pp. 11-24.

Furukawa, A. & Tsukahara, H., 1966. On the acid digestion method for the determination of cromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries,* 32(6), pp. 502-506.

Getachew, G., 1999. Tannins in tropical multipurpose tree species: Localization and quantification of tannins using histochemical approaches and the effect of tannins on in vitro rumen fermentation. Grauer, Stuttgart: Dissertation Universität Hohenheim. Verlag Ulrich E..

Gómez, M. E., 2001. Una revisión sobre el bore (*Alocasia macrorrhiza*). En: *Agroforestería para la producción animal en América Latina - II.* Roma: FAO, pp. 203-212.

Gómez, M. E. & Murgueitio, E., 1991. Efecto de la altura de corte sobre la producción de biomasa del nacedero (*Trichanthera gigantea*). *Livestock research for rural development,* 3(3).

Granito, M., Frías, R., Doblado, R. & Guerra, M., 2002. Nutritional improvement of beans (*Phaseolus vulgaris*) by natural fermentation. European Food Research and Technology. *European Food Research and Technology,* Volumen 214, pp. 226-231.

Heinritz, S., 2011. *Ensiling suitability of high protein tropical forages and their nutritional value for feeding pigs,* Stuttgart, Germany: University of Hohenheim and University of Rostock Diploma Thesis.

Heinritz, S., Hoedtke, S., Martens, S. & Peters, M., 2012. Evaluation of ten tropical legume forages for their potential as pig feed supplement. *Livestock research for rural development,* 24(1).

Henry, Y., 1985. Dietary factors involved in feed intake regulation in growing pigs: A review. *Livestock Production Science,* 12(4), pp. 339-354.

Huisman, J. & Tolman, G. H., 2001. Antinutritional factors in the plant proteins of diets for non-ruminants. Recent developments in pig nutrition. *Recent developments in pig nutrition,* Volumen 3, pp. 261-322.

Humphreys, L. R., 1991. *Tropical pasture utilization.* Cambridge, Great Britain: Cambridge University Press.

Janky, D. M., Damron, B. L., Francis, C. & Fletcher, D. L., 1986. Evaluation of Florigraze Rhizoma Peanut (*Arachis glabrata*) as a pigment source for laying hens. *Poultry Science,* 65(2253-2257p).

Jezierny, D., Mosenthin, R. & Bauer, E., 2010. The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review.. *Animal Feed Science and Technology,* Volumen 157, pp. 111-128.

Kahle, R., Rao, I. & Cadisch, 2012. Responses of different tropical forage legumes under stress factors of acid soil drought. International Research on food security, Natural resource management and rural development. Gottingen, Germany, TROPENTAG: Resilience of Agriculture systems against crises. Book of abstracts.

Kass, M. L., van Soest, P. J., Pond, W. G. & Lewis, B., 1980. Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. I. Apparent digestibility of diet components of

the specific segments of the gastrointestinal tract. *Journal of Animal Sience,* Volumen 50, pp. 150-171.

Katunga, M. D., Bacigale, B. S., Balemirwe, K. F. & Maass, B., 2012. Feeding rabbits and cavies with improved forage legumes in South Kivu, DR Congo.International Research on food security, Natural resource management and rural development. Gottingen, Germany, TROPENTAG: Resilience of Agriculture systems against crises. Book of abstracts.

Kuehl, R. O., 2000. Diseño de Experimentos: Principios básicos para el diseño y análisis de investigaciones*.* México DF: Thompson Learning Editores.

Kyriazakis, I. & Emmans, G. C., 1995. The voluntary feed intake of pigs given feeds based on wheat bran, dried citrus pulp and grass meal, in relation to measurements of feed bulk. *British Journal of Nutrition,* Volumen 73, pp. 191-207.

Laswai, G., Ocran, J., Lekule, F. & Sunstol, F., 1997. Effects of dietary inclusion of leucaena leaf meal with and without ferrous sulphate on the digestibility of dietary components and growth of pigs over the weight range 20–60 kg. *Animal Feed Science and Technology,* 65(1), pp. 45-57.

Leterme, P., Botero, M., Londoño, A. M. & Bidelle, J., 2006. Nutritive value of tropical tree leaf meals in adult sows. *Animal Science,* 82(2), pp. 175-182.

Leterme, P. & Buldgen, A., 2007. Nutritional value of tree leaves in pigs. En: B. A. M. E. a. C. C. Leterme P, ed. *Fodder banks for sustainable pig production systems.* Cali Colombia: CIPAV Foundation, pp. 35-65.

Leterme, P. & Estrada, F., 2006. Análisis de los alimentos y forrajes destinados a los animales*. Notas de laboratorio.* 1 ed. Palmira: Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Departamento de Producción Animal.

Leterme, P., Londoño, A., Estrada, F. & Souffrant, W., 2005. Chemical composition, nutritive value and voluntary intake of tropical tree foliage and cocoyam in pigs. *Journal of the science and of food and agriculture,* 85(10), pp. 1725-1732.

Leterme, P., Monmart, T., Morandi, P. & Théwis, A., 1996. Chemical composition of pea fiber isolates and their effect on the endogenous amino acid flow at the ileum of the pig. *Journal of the Science of Food and Agriculture,* Volumen 72, pp. 127-134.

Liu, G., Jiasou, Z., Changjun, B. & Caixiang, H., 2002. Evaluation of *Stylosanthes* species for resistance toanthracnose and suitability for leaf meal production.. CIAT Working Document(188. 167-172p.).

Ly, J., 2004. Uso del follaje de arboles tropicales en la alimentacion porcina. *Revista Computarizada de Producción Porcina,* 11(2), pp. 5-27.

Ly, J., 2005. *Uso del follaje de árboles tropicales en la alimentación porcina Pastos y forrajes.* [En línea] Available at: http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=269121628002 [Último acceso: 4 ENERO 2013].

Ly, J., 2008. Fisiología nutricional del cerdo*.* México, Universidad Autónoma de Nayarit -Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias UAN- e Instituto de Investigaciones Porcinas de Cuba, p. 164.

LY, J., 2008. Predicción de la digestibilidad ileal. *Revista Computarizada de Producción Porcina,* Volumen 15, pp. 329-333.

Ly, J., Macías, M., Díaz, C. & Reyes, J. L., 2004. Estudios del potencial de árboles y arbustos tropicales como fuentes forrajeras de proteína para cerdos. Métodos de evaluación*. Propuesta a premio academia.* La Habana: Instituto de Investigaciones Porcinas Ministerio de la Agricultura.

Ly, J., Reyes, J., Macías, M. & Martínez, V., 1998. Ileal and total tract digestibility of leucaena meal in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology,* 70(3), pp. 265-273.

Machin, D. H., 2000. El uso potencial del ensilaje para la producción animal en la zona tropical, especialmente como una opción para los pequeños campesinos. En: L. '. Mannetje, ed. *Uso del Ensilaje en el Trópico Privilegiando Opciones para Pequeños Campesinos.* Roma, Italia: FAO.

Makkar, H. P. S., 2007. Plant secondary metabolites as antinutrients in monogastric nutrition. En: B. A. M. E. a. C. C. Leterme P, ed. *Fodder banks for sustainable pig production systems.* Cali: CIPAV Foundation, pp. 67-85.

Malmlöf, K., Hellberg, S., Grajewski, J. & Cortova, Z., 1990. *Lucerne in pig feeding. 2. Nutritive value of dried and ensiled lucerne leaves in growing pigs,* Sweden: Rapport - Institutionen för Husdjurens Utfodring.

Martens, S., Ávila, P., Franco, L. H. & Peters, M., 2008. *Canavalia brasiliensis and Vigna unguiculata at different growth stages.* [En línea] Available at: http://www.tropentagde/2008/proceedings/proceedings.pdf [Último acceso: 2 ABRIL 2009].

Martens, S., Tiemann, T., Bindelle, J. & Peters, M., 2012. Alternative plant protein sources for pigs and chickens in the tropics - nutritional value and constraints: a review. *Journal of Agricultural and Rural Development in the tropics and subtropics,* 113(2), pp. 101-123.

Martínez-Puig, D., Castillo, M., Pérez, J. F. & Andaluz, A., 2003. Consumption of raw potato starch increases colon length and fecal excretion of purine bases in growing pigs.. *Journal of Nutrition 133,* Volumen 133, pp. 134-139.

Mera, M., 2004. Efecto de leguminosas tropicales ricas en taninos sobre la fermentación ruminal y la producción de metano en un sistema in vitro (RUSITEC). Palmira: Universidad Nacional de Colombia y Centro internacional de agricultura tropical, CIAT.

Michelangeli, C., Pérez, G., Méndez, A. & Sívoli, L., 2004. Digestibilidades ileal y fecal en cerdos, del nitrógeno, aminoácidos, energía y componentes de la pared celular, de granos tostados de Canavalia ensiformis (L.). *Zootecnia Tropical,* 22(1).

Niebel, D., 2012. Message for International Research on food security, Natural resource management and rural development TROPENTAG: Resilience of Agriculture systems against crises. Issue 586p.

Noblet, J. & Le Goff, G., 2001. Effect of dietary fiber on the energy value of feeds for pigs. *Animal Feed Science and technology,* 90(1), pp. 35-52.

NRC, 1998. National Research Council. Nutrient Requirements of Swine*..* Washington, United States of America: s.n.

Odunsi, A., Ogunleke, M., Alagbe, O. & Ajani, T., 2002. Effect of feeding Gliricidia sepium leaf meal on the performance and egg quality of layers. *International Journal of Poultry Science,* 1(1), pp. 26-28.

Ogle, R. B., 2006. Forages for pigs: nutritional, physiological and practical implications. Workshop-seminar*, 21-24 August 2006, Mekarn-cel Agrid. Workshop on forages for pigs and rabbits..* Phnom Penh, Cambodia, Article 1. Retrieved May 12, 110, from http://www.mekarn.org/pro.

Pardo R, N. A., 2007. *Manual de nutrición animal.* 1 ed. Bogotá Colombia: Grupo Latino Editores Ltda..

Pérez, R., 1997. Feeding pig in the tropics. [En línea] Available at: http://www.fao.org/docrep/003/w3647e/W3647E00.htm#TOC [Último acceso: 8 ENERO 2013].

Peters, M., 2003. Participatory selection and strategic use of multipurpose forages in hillsides of Central America. En: Barry Pound, ed. *Managing Natural Resources for sustainable liverhoods.* London: Earthscan, pp. 205-207.

Peters, M., 2009. Tropical Forages Program. AGBIO4 Annual Report. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Peters, M., Churi, W., Martens, S. & van der Hoek, R., 2012. More chicken and pork in the pot, and money in pocket: Improving forages for monogastric animals with low-income farmers, Palmira: International centre of Tropical Agriculture CIAT.

Peters, M., Franco, L. H. & Oberthür, T., 2006a. Caupí *(Vigna unguiculata)* una leguminosa multipropósito. Palmira: Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT.

Peters, M., Franco, L. H., Schimdt, A. & Hincapié, B., 2011. Especies forrajeras multipropósito: opciones para productores del trópico americano*. Cali Colombia. 212 p. (in Spanish).* Cali, Colombia: International Centre of Tropical Agriculture (CIAT), BMZ, GIZ and Semillano@,.

Peters, M. & Hincapié, B., 2007. Jump-Starting Smallholder Farmer Participation in Markets: Forage-Based Protein Feeds from Marginal Environments for High-Value Monogastric Products. Palmira,Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Peters, M., Lascano, C. E., Schmidt, A. & Barrios, E. C., 2004. Farmer participatory research: selection and strategic use of multipurpose forage germplasm by smallholders in production systems in hillsides of Central America, Tropical grasses and legumes. Cali, Colombia: Annual Report CIAT.

Peters, M., White, D., Fujisaka, S. & Lentes, P., 2006b. High-protein forages for smallholder monogastric production: Contrasting the challenges and opportunities in Colombia, Nicaragua and Honduras. Palmira: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Peters, M., White, D., Holman, F. & Njuki, J., 2008. Proposal Project "More chicken and pork in the pot and money in pocket: improving forages for monogastric animals with low-income farmers". Palmira: CIAT.

Phuc, B., Ogle, B. & Lindbeerg, J., 2000. Effect of replacing soybean protein with cassava leaf protein in cassava root meal based diets for growing pigs on

digestibility and N retention. *Animal Feed Science and Technology,* 83(3), pp. 223-235.

PIC, 2012. Análisis de la industria porcina en Latinoamérica. *BENCHMARK LATAM,* Agosto(10), p. 30.

Piloto, J. L., Mederos, C. M. & Vinent, E., 1994. Uso del kenaf (*Hibiscus cannabinus* L) en la alimentación de cerdos en crecimiento. *Revista Computarizada de Producción Porcina,* 1(1).

Preston, T. R., 2006. Forages as protein sources for pigs in the tropics. Workshop-seminar "Forages for Pigs and Rabbits" *MEKARN-CelAgrid..* [En línea] Available at: http://www.mekarn.org/proprf/preston.htm [Último acceso: 21 Junio 2013].

Preston, T. R. & Leng, R. A., 1989. Ajustando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles, aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición de rumiantes en el trópico. Primera ed. Cali: CONDRIT LTDA.

Ravindran, V. & Blair, R., 1992. Feed resources for poultry production in Asia and the Pacific. II Plant protein sources. *World´s Poultry Science Journal,* 48(3), pp. 205-231.

Rodríguez, L., Gómez, M. E., Murgueitio, E. & Ríos, C. I., 2002. Árboles y arbustos forrajeros utilizados en la alimentación animal como fuente proteica. 3 ed. Cali: Centro para la investigación en sistemas sostenibles para la producción agropecuaria.

Rodríguez, M. & Figueroa, V., 1996. Evaluación de la fracción nitrogenada de diferentes alimentos fibrosos y su efecto sobre la digestibilidad *in vitro*. *Revista computarizada de producción porcina,* 2(1), pp. 45-52.

Rostagno, H. S., Albino, L. F., Lopes, D. & Gomes, P. C., 2011. Tabelas Brasileiras para Aves e Suinos: Composicao de Alimentos e Exigencias Nutricionais. Vicosa (Brasil): Universidade Federal de Vicosa.

Santomá, G., 1997. ¿Máximo de fibra en cerdos en cebo? Factores que influyen sobre el rendimiento de la canal. , España. 29 p. (in Spanish). España: XIII curso de especialización FEDNA.

Sarria, P., 1994. Efecto del nacedero (*Trichanthera gigantea*) como reemplazo parcial de la soya en cerdas en gestación y lactancia recibiendo una dieta básica de jugo de caña. *Livestock Research for Rural Development,* 6(1).

Sarria, P., 2000. Forrajes arbóreos en la alimentación de monogástricos. Seminario "Agroforestería para la Producción Animal en América Latina" - Memorias de Conferencias. Medellín, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Sarria, P., 2005. Valor nutricional de algunas forrajeras para la alimentación de monogástricos. VIII Encuentro de Nutrición de Animales Monogástricos, Guanare, Venezuela: Universidad Ezequiel Zamora.

Sarria, P., Buitrón, D. A., Rendón, A. & Torres, L. J., 2012. Nutritional value of Canavalia brasiliensis CIAT 17009 herbage meal in growing pigs. Göttingen, Germany, Tropentag “Resilience of agricultural systems against crises”.

Sarria, P., Buitrón, D. A., Rendón, A. & Torres, L. J., 2012. Nutritional value of *Canavalia brasiliensis* CIAT 17009 herbage meal in growing pigs. Göttingen, Germany, Tropentag “Resilience of agricultural systems against crises”.

Sarria, P. & Martens, S., 2013. The voluntary intake in growing pigs of four ensiled forage species. *Agricultural and food sience,* Volumen 22, pp. 201-206.

Sarria, P., Montoya, C., Yusti, L. M. & Otros, 2010a. Valor nutricional de la harina de hoja de caupí Vigna unguiculata (l) Walp en cerdos en crecimiento. *Livestock Research for Rural Development,* 22(6).

Sarria, P., Rebolledo, A., Salázar, B. & Martens, S., 2011. *Growth of Pigs Fed with Brachiaria Hybrid Mulato II × Cratylia.* Bonn, German, Tropentag.

Sarria, P., Rivera, F., Martens, S. & Peters, M., 2010b. Follaje de caupí (*Vigna unguiculata*) como fuente de proteína para cerdos en crecimiento. *Revista Computarizada de Producción Porcina,* 17(3), pp. 229-233.

Sarria, P., Villaviencio, E. & Orejuela, L. E., 1991. Utilización de follaje de nacedero (*Trichathera gigantea*) en la alimentación de cerdos de engorde. *Livestock Research for Rural Development,* 2(2), pp. 1-10.

Savón, L., 1999. Producción y utilización de recursos foliares en la alimentación porcina. Instituto de Ciencia Animal. V encuentro sobre Nutrición y producción de animales monogástricos Maracay, Venezuela.. [En línea] Available at: http:/sian.info.ve/porcinos/publicaciones/producerdos/ar [Último acceso: 15 ENERO 2012].

Savón, L., 2002. Alimentos altos en fibra para especies monogástricas.Caracterización de la matriz fibrosa y sus efectos en la fisiología digestiva. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola,* 36(2), pp. 91-102.

Savón, L., 2005. Alimentación no convencional de especies monogástricas: utilización de alimentos altos en fibra. Alimentación no convencional para monogástricos en el trópico.. [En línea] Available at: http:/sian.info.ve/porcinos/publicaciones/producerdos/articulo4.htm. [Último acceso: 12 MAYO 2012].

Savón, L. & Gutiérrez, O., 1999. Manual teórico práctico para la caracterización físico química de alimentos fibrosos para especies monogástricas*.* La Habana, Cuba: EDICA.

Savón, L., Ibarra, A., Orta, M. & Albelo, N., 2005. Propiedades físico-químicas de la fracción fibrosa de las harinas de follaje de *Stizolobium aterrimun* (mucuna) y *lablab purpureus* (dólicho), fermentadas con *Trichoderma viride* M5-2. *Revista cubana de Ciencia Agrícola,* 39(3), pp. 327-331.

Scull, I. & Savón, L., 2003. Determinación de polifenoles totales y taninos condensados en harina de forraje de cuatro variedades de *Vigna unguiculata*. *Revista cubana de ciencia agrícola,* 37(4).

Shayo, C. & Uden, P., 1999. Nutritional uniformity of crude protein fractions in some tropical browse plants estimated by two in vitro methods. *Animal Feed Science and Technology,* 78(1), pp. 141-151.

Siegfried, R., Rückemann, H. & Stumpf, G., 1984. An HPLC method for determining organic acids in silage. *Landwirtscafliche Forschung Sonderdruck,* 37(3-4), pp. 298-304.

Smith, G. P. & Gibbs, J., 1979. Pospandrial Saciety. 8(179-242p).

Smith, J. W., Tokach, M. D., O´Quinn, P. R. & Nelssen, J. L., 1999. Effects of dietary energy density and lysine:calorie ratio on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *Jounal of Animal Science,* Volumen 77, pp. 3007-3015.

Steel, R. G., 1980. Bioestadística.

Syrjälä-Qvist, L., Pekkarinen, E., Setälä, J. & Kangasmäk, T., 1984. Effect of red clover /timothy ratio on the protein feeding value and the quality of silage. *Journal of Agricultural Science in Finland,* 56(3), pp. 183-191.

Tangendjaja, B., Rachardjo, Y. C. & Lowrt, J. B., 1990. Leucaena leaf meal in the diet of growing rabbits: evaluation and effect of a low-mimosine treatment. *Animal Feed Science and Technology,* Volumen 29, pp. 63-72.

Tarawali, S. A., Singh, B. B., Gupta, S. C. & Tabo, R., 2000. Cowpea as a key factor for a new approach to integrated crop-livestock systems research in the dry savannas of West Africa. [En línea] Available at: http://www.iita.org/info/cowpea.pdf. [Último acceso: Agosto 18 2012].

Tarawali, S. A., Singh, B. B., Peters, M. & Blade, S. K., 1995. Cowpea haulms as fodder. In: Proceedings of the second wrold cowpea research conference. Ibadan, Nigeria, Singh B.B., Mohan Raj D.R.,Dashiell K.E. and Jackai L.E.N (eds.) Advances in cowpea research. Co-publication of the International Institute of Tropical Agriculture IITA and Japan International Research Center for Agricultural Sciences JIRCAS.

Torrallardona, D. & Roura, E., 2009. Voluntary feed intake in pigs. 1 ed. The Netherlands: Wageningen academic publishers.

Trompiz, J., Ventura, M., Esparza, D. & del Villar, A., 2000. Utilización de la harina de follaje de yuca (*Manihot sculenta* Crantz) en cerdos en crecimiento. *Revista científica FCV Luz,* 10(4), pp. 315-320.

van Soest, P. J., Robertson, J. B. & Lewis, B. A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science,* 74(10), pp. 3583-3597.

Villanueva, A. J., Bonilla, C. J., Rubio, C. J. & Bustamante, G. J., 2004. Agrotechnics and use of Clitoria ternatea in beef and milk production systems. *Tecnica Pecuaria Mexicana,* 42(1), pp. 79-96.

Voight, J. & Steger, H., 1967. Zur quantitativen Bestimmung von Ammoniak, Harnstoff und Ketokörpern in biologischem Material mit Hilfe eines modifizierten Mikrodiffusionsgefässes. *Archiv Tierernaehrung,* Volumen 17, pp. 289-293.

Wecke, C., Jeroch, H. & Gebhardt, G., 1990. Studies of the feed value of mixed silages of maize-cob-mix and home-produced high-protein feeds for fattening pigs. *Journal Tierernährung und Fütterung,* Volumen 16, pp. 96-104.

Wenk, C., 2001. The role of dietary fibre in the digestive phisiology of the pig. *Animal Feed Science and Technology,* 90(1-2), pp. 21-33.

Whittemore, E., Kyriasakis, I., Tolkamp, B. & Emmans, 2002. The short-term feeding behavior of growing pigs fed foods differing in bulk content. *Physiology behaviour,* Volumen 76, pp. 131-141.

Wiesemüller, W. & Poppe, S., 1990. Lucerne silage as a feedstuff for sows. *World Review of Animal Production,* 25(4), pp. 47-53.

Wilfart, A., Montagne, L., Simmins, H. & Noblet, J., 2007. Effect of fiber content in the diet on the mean retention time in different segments of the digestive tract in growing pigs. *Livestock Science,* 109(1-3), pp. 27-29.

Winrock International, 1992. Assessment of Animal Agriculture in Sub-Saharan Africa. Morrilton, Arkansas: Winrock International Institute for Agricultural Development.

Winters, A. L., Fychan, R. & Jones, R., 2001. Effect of formic acid and a bacterial inoculant on the amino acid composition of grass silage and on animal performance. *Journal Grass and Forage Science,* 56(2), pp. 181-192.

Zaffarano, J., 2003. Minimum inhibitory concentration of two common food phenolic compounds and their effect on the microbial ecology of swine faces in vitro. Master´s Theses ed. Kentucky, USA: University of Kentucky.

9. ANEXO

CUARADOS MEDIOS DE LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EN LA TESIS

TABLA 9-1. CUADRADOS MEDIOS PARA LOS COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDAD ILEAL DE LAS DIETAS BALANCEADAS CON INCLUSIÓN DE HARINA DE VIGNA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

coeficientes de digestibilidad ileal MS, PB y EB de las dietas

3 niveles 0, 12.5 y 25% MS en la dieta (0, 15 y 30% PB) con 4-5 repetec

Diseño completamente al azar. P (α < 0.05)

FUENTE VARIACIÓN	GL	MATERIA SECA	PROTEÍNA BRUTA	ENERGÍA BRUTA
NIVEL DE VIGNA	2	315.039	153.528	498.068
ERROR	6	19.722	28.835	62.318
MEDIA		75.243	82.923	73.302
COEFICIENTE DE VARIACIÓN, %		5.902	6.475	10.769
Valor de probabilidad		0.004	0.033	0.016

TABLA 9-2. CUADRADOS MEDIOS PARA CRECIMIENTO DE CERDOS CON HARINA DE HOJA DE VIGNA EXPERIMENTO SOBRE NIVELES DE VIGNA EN LEVANTE (%PC)

3 NIVELES 0. 15. 30 -- CON 5 REPETEC

DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR

FUENTE VARIACIÓN	GL	Ganancia diaria, Kg	Consumo diario, g	Conversión alimenticia	Consumo, g/kg $PV^{0.75}$
MODELO	2	0.00673008	16734.10230	0.04162786	1.38782250
ERROR	11	0.00466414	5784.39274	0.04570727	3.19546864
MEDIA		0.604857	1549.554	2.582143	84.64000
DESVIACIÓN		0.068295	76.05520	0.213793	1.787587
COEFICIENTE DE VARIACIÓN, %		11.29102	4.908200	8.279658	2.111989
PROBABILIDAD		0.2777	0.0978[1]	0.4305	0.6584

TABLA 9-3. CUADRADOS MEDIOS PARA CAPACIDAD DE INGESTA DE HARINA DE HOJA DE CANAVALIA EN CERDOS DURANTE EL CRECIMIENTO

4 NIVELES 0, 10, 20 Y 30 CON 2 BLOQUES Y 3 REPETECIONES

DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR

FUENTE VARIACIÓN	GL	Consumo diario, g MS	Consumo, g/kg $PV^{0.75}$
BLOQUE	1	12347.5921	896.1984454
NIVEL DE CANAVALIA	3	33700.3194	171.0709300
BLOQUE (CANAVALIA)	3	106593.0490	321.0504957
ERROR	14	41874.711	66.170337
MEDIA		1533.350	99.95500
DESVIACIÓN		204.6331	8.134515
COEFICIENTE DE VARIACIÓN, %		13.34549	8.138177
PROBABILIDAD PARA NIVEL DE CANAVALIA Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para BLOQUE(CANAVALIA) como un término de error		0.8152	0.6910

TABLA 9-4. CUADRADOS MEDIOS PARA LOS COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDAD (%) DE LAS DIETAS CON HARINA DE HOJA DE CANAVALIA EN CERDOS EN CRECIMIENTO Efecto de Canavalia sobre la digestibilidad MS y PB de la dieta 4 NIVELES 0, 10, 20 Y 30 CON DOS BLOQUES Y 3 REPETECIONES DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR				
FUENTE VARIACIÓN	GL	MATERIA SECA	PROTEÍNA BRUTA	ENERGÍA BRUTA
NIVEL DE CANAVALIA	3	127.0492042	68.7207611	488.520133
CERDO (NIVEL CANAVALIA)	8	10.1919000	19.4576833	33.904542
BLOQUE	1	44.3632042	31.6480667	134.237400
BLOQUE * NIVEL CANAVALIA	3	19.3486375	20.6341222	91.755156
ERROR	8	52.8832417	60.4828833	99.209292
MEDIA		79.36875	79.61750	76.02833
DESVIACIÓN		7.272086	7.777074	9.960386
COEFICIENTE DE VARIACIÓN, %		9.162405	9.768046	13.10089
PROBABILIDAD Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para CERDO (NIVEL CANAVALIA) como un término de error		0.0022	0.0682	0.0014

TABLA 9-5. CUADRADOS MEDIOS PARA LOS COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDAD DE LA HARINA DE CANAVALIA SOLA EN CERDOS EN CRECIMIENTO

coeficientes de digestibilidad MS y PB de la Canavalia

3 NIVELES 10, 20 Y 30 CON DOS BLOQUES Y 3 REPETICIONES

DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR (VALORES TRANSFORMADOS PARA ANÁLISIS)

FUENTE VARIACIÓN	GL	MATERIA SECA	PROTEÍNA BRUTA	ENERGÍA BRUTA
NIVEL DE CANAVALIA	2	0.00341924	0.00506185	0.01826878
CERDO (NIVEL CANAVALIA)	6	0.00372651	0.01051188	0.01189430
BLOQUE	1	0.01976806	0.00648539	0.04408384
BLOQUE * NIVEL CANAVALIA	2	0.00594994	0.01281792	0.03098474
ERROR	6	0.03174572	0.03170358	0.03779276
MEDIA		1.414136	1.450020	1.399783
DESVIACIÓN		0.178173	0.178055	0.194404
COEFICIENTE DE VARIACIÓN, %		12.59944	12.27948	13.88812
PROBABILIDAD Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para CERDO (NIVEL CANAVALIA) como un término de error		0.4491	0.6398	0.2893

TABLA 9-6. CUADRADOS MEDIOS PARA CRECIMIENTO DE CERDOS CON HARINA DE HOJA DE CANAVALIA EXPERIMENTO SOBRE NIVELES DE CANAVALIA EN FINALIZACIÓN (%PC)

4 NIVELES 0. 7, 14 y 21% de aporte de proteína

DISEÑO SOBRECAMBIO doble con 4 periodos y 8 cerdos

FUENTE VARIACIÓN	GL	Ganancia diaria, Kg	Consumo diario, g	Conversión alimenticia	Consumo, g/kg $PV^{0.75}$
SECUENCIA	3	98517.1212	141953.003	2.11951614	66.6108677
CERDO (SECUENCIA)	4	25474.3980	118264.459	0.79873125	123.9992437
PERÍODO	3	9724.6020	402637.002	1.07079754	9.2503809
NIVEL DE PB A PARTIR DE CANAVALIA	3	26843.0737	8201.569	1.29838280	13.0460707
ACARREO	3	1452.2322	24515.748	0.15058583	5.4105608
ERROR	15	8776.5629	13899.862	0.36532283	12.5251162
MEDIA		664.2953	2602.027	4.071875	81.42688
DESVIACIÓN		93.68331	117.8977	0.604419	3.539084
COEFICIENTE DE VARIACIÓN, %		14.10266	4.530994	14.84376	4.346334
PROBABILIDAD		0.0607	0.6309	0.0401	0.4027

TABLA 9-7. CUADRADOS MEDIOS PARA CAPACIDAD DE INGESTA DE ENSILAJES DE CUATRO FOLLAJES DE LEGUMINOSAS EN CERDOS DURANTE EL CRECIMIENTO

5 DIETAS CONTROL, CRATYLIA, CLITORIA, CENTROSEMA Y MULATO II. 2 PERIODOS X 3 REPETICIONES

DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR

FUENTE VARIACIÓN	GL	Consumo diario, g MS	Consumo, g/kg $PV^{0.75}$
DIETA	4	200484.768	405.556105
REPETICIÓN (DIETA)	10	12009.189	30.981697
PERIODO	1	37093.097	764.166270
PERIODO*DIETA	4	263068.635	764.166270
ERROR	10	23047.073	11.816730
MEDIA		1571.155	88.14767
DESVIACIÓN		151.8126	3.437547
COEFICIENTE DE VARIACIÓN, %		9.662486	3.899760
PROBABILIDAD PARA NIVEL DE CANAVALIA Tests de hipótesis usando el MS Tipo III para BLOQUE(CANAVALIA) como un término de error		0.0002	0.0006

TABLA9- 8. CUADRADOS MEDIOS PARA CRECIMIENTO DE CERDOS CON ENSILAJES DE HOJA DE VIGNA Y CANAVALIA

EXPERIMENTO SOBRE NIVELES DE CANAVALIA EN LEVANTE (%PC)

3 TRATAMIENTOS CONTROL, VIGNA Y CANAVALIA

DISEÑO SOBRECAMBIO doble con 3 periodos y 12 cerdos

FUENTE VARIACIÓN	GL	Ganancia diaria, Kg	Consumo diario, g	Conversión alimenticia	Consumo, g/kg $PV^{0.75}$
SECUENCIA	5	28192.5209	42581.458	0.18065383	76.4882712
CERDO (SECUENCIA)	6	15302.9342	74026.127	0.04569167	55.9598611
PERÍODO	2	79186.7840	2516288.656	1.66953750	601.9015042
DIETA	2	183882.8615	195689.785	0.62599542	453.9140029
ACARREO	2	2294.5983	3987.074	0.09448819	43.0116896
ERROR	17	14580.681	14846.072	0.09701921	32.926501
MEDIA		775.7936	1667.744	2.175278	94.68833
DESVIACIÓN		120.7505	121.8445	0.311479	5.738162
COEFICIENTE DE VARIACIÓN, %		15.56477	7.305943	14.31905	6.060052
PROBABILIDAD		0.0004	14846.072	0.0077	0.0002