

Combination of the underutilised legumes *Canavalia ensiformis* (L.) D.C. and *Canavalia ensiformis* (L.) D.C. with sorghum: integrated assessment of their potential as conserved ruminant feed¹

Combinación de sorgo con las leguminosas subutilizadas *Canavalia ensiformis* (L.) D.C. y *Mucuna pruriens* (L.) DC: evaluación integrada de sus potenciales como alimento conservado para rumiantes¹

R. Lima-Orozco^{1,2,3}, I. Van Daele³, U. Álvarez-Hernández^{2,4} and V. Fievez³

¹Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV), Department of Veterinary Medicine and Zootechny, Carretera a Camajuaní km 6 ½, 54830 Santa Clara, Cuba.

²UCLV, Centro de Investigaciones agropecuarias (CIAP), Carretera a Camajuaní km 6 ½, 54830 Santa Clara, Cuba.

³Ghent University, LANUPRO, Proefhoevestraat 10, 9090 Melle, Belgium.

⁴Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV), Department of Agronomy, Carretera a Camajuaní km 6 ½, 54830 Santa Clara, Cuba.

Email: raciello@uclv.edu.cu

The present research studied the integrated assessment of the potential as conserved ruminant feed of combined sorghum-Jack bean or Velvet bean. Data of whole plant sorghum silage supplemented with dry beans of Jack beans (JB) and whole plant sorghum-Jack beans silage or whole plant sorghum-Velvet bean (VB) silage from Lima-Orozco *et al.* (2014) were used to assess the integration of agronomic considerations in an overall evaluation including biomass production, nutritive value and conservation quality. The metabolisable energy (ME) content of the combined sorghum-JB silages was 1.26 times greater than the ME content of pure sorghum silage supplemented with dry beans from JB. Additionally a greater amount of protein digestible in the small intestine (dCPSI) was observed (62.9 vs 43.5 g/kg DM). It was concluded that the ME content and dCPSI of the sorghum-JB silages are 1.26 or 1.44 times higher than sorghum-JB silage or for pure sorghum silage supplemented with dry beans from JB. Moreover, a much larger surface is required for the sorghum silage and dry JB alternative. Hence, combined sorghum-JB silage seemed the best alternative studied here in terms of DM yield, dCPSI and ME supply.

Key words: sorghum, seasonal legumes, silage

In tropics, grasses have been, by tradition and for practical point of view, the most used forage for conservation. However, recently legumes (herbaceous and woody) become more important in ruminant feeding. Despite their importance, few studies have been carried out to assess their application in practice (Ojeda, 2000). In previous reports the potential of ensiled sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)-soybean (*Glycine max.* L. Merrill) (Lima-Orozco *et al.* 2013) and sorghum-Jack bean (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.) or sorghum-Velvet bean (*Mucuna pruriens* (L.) (Lima-Orozco *et al.* 2014) as a ruminant feed were shown. However, has not been reported an integration of agronomic considerations in an overall evaluation including biomass production, nutritive value and conservation quality. Hence, the aim of the present

Esta investigación estudió la evaluación integrada del potencial como alimento conservado para rumiantes de la combinación sorgo-canavalia o mucuna. Se utilizaron los datos del ensilaje de la planta entera de sorgo suplementada con granos secos de canavalia y el ensilaje de la planta entera de sorgo-canavalia o el ensilaje de la planta entera de sorgo con mucuna según Lima-Orozco *et al.* (2014) para evaluar la integración de las consideraciones agronómicas en la evaluación general que incluyó producción de biomasa, valor nutritivo y calidad de la conservación. La energía metabolizable (EM) de los ensilajes combinados de sorgo-canavalia fue 1.26 veces mayor que el contenido de EM del ensilaje de sorgo puro suplementado con granos secos de canavalia. Adicionalmente, se observó una mayor cantidad de proteína digerible en el intestino delgado (dPBID) (62.9 vs. 43.5 g/kg MS). Se concluye que el contenido de EM y dPBID de los ensilajes de sorgo-canavalia son 1.26 o 1.44 veces superiores que el ensilaje de sorgo-canavalia o para el ensilaje de sorgo puro con granos secos de canavalia. Por otra parte, se requiere una superficie mayor para el ensilaje de sorgo y la alternativa de granos secos de canavalia. Por tanto, la combinación del ensilaje de sorgo-canavalia pareció la mejor alternativa estudiada aquí en términos de MS, rendimiento, dPBID and suministro de EM.

Palabras claves: sorghum, leguminosas, ensilaje

En los trópicos, por tradición y desde un punto de vista práctico, los pastos han sido el forraje más utilizado para la conservación. Sin embargo, leguminosas recientes (herbáceas o leñosas) cada día son más importantes para la alimentación de rumiantes. A pesar de su importancia, se han realizado pocos estudios para evaluar su aplicación en la práctica (Ojeda 2000). En informes anteriores se ha mostrado el potencial del ensilaje de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)-soya (*Glycine max.* L. Merrill) (Lima-Orozco *et al.* 2013) y el sorgo-*Canavalia ensiformis* (L.) DC. o sorgo-*Mucuna pruriens* (L.) (Lima-Orozco *et al.* 2014) como alimento para rumiantes. Sin embargo, no se ha informado una integración de las consideraciones agronómicas en una evaluación general que incluya la producción de biomasa, el valor nutritivo y la calidad de conservación. Por tanto, el objetivo de la presente investigación fue estudiar la

¹Paper presented at the V Congreso de Producción Animal Tropical, La Habana, Cuba, 2015

research was to study the integrated assessment of the potential as conserved ruminant feed of combined sorghum-Jack bean or Velvet bean.

Materials and methods

Data of whole plant sorghum silage supplemented with dry beans of Jack beans (JB) and whole plant sorghum-Jack beans silage or whole plant sorghum-Velvet bean (VB) silage from Lima-Orozco *et al.* (2014) were used to assess the integration of agronomic considerations in an overall evaluation including biomass production, nutritive value and conservation quality.

The metabolisable energy (ME) and the digestible CP at the small intestine (dCPSI) of whole plant sorghum silage supplemented with dry beans of Jack beans, whole plant sorghum-Jack beans silage and whole plant sorghum-Velvet bean were calculated from data reported by Lima-Orozco *et al.* (2014) in both *in vitro* rumen degradability (12 h) and the *in vitro* small intestine digestibility as follows:

$ME = (ER + ESI)/0.62$, where ER is the net energy from acetate (874 kJ/mol), propionate (1535 kJ/mol) and butyrate (2192 kJ/mol) produced in the rumen; ESI is the net energy calculated from digestible OM in the small intestine as 16.7 kJ/g OM and 0.62 is the net energy to ME ratio for cows at maintenance.

$dCPSI_{(g/kg DM)} = MIN(dCPR) * 0.75 * 0.85 + dbpCPSI$, where dCPR (g/kg DM) is the microbial protein produced based on the supply of effectively rumen degradable CP (g/kg DM); dMP (g/kg DM) is the amount of microbial protein calculated based on apparently rumen degradable organic matter (ARDOM) as 187.5 g CP/kg ARDOM (with ARDOM calculated from the net production of acetate, propionate and butyrate as $162 * (\text{acetate}/2 + \text{propionate}/2 + \text{butyrate})$); *MIN* (dCPR) means that calculation of the microbial protein depends on whether the availability of rumen degradable protein (dCPR) or fermentable energy (dMP) is the limiting factor for microbial protein production (Tamminga *et al.* 1994); the factors 0.75 and 0.85 represent the amino acid contents of microbial protein and intestinal digestibility of microbial amino acids, respectively (Tamminga *et al.* 1994); dbpCPSI is the intestinal digestible bypass CP. In the current trial, dCPR always exceeded dMP and hence, the microbial protein was determined from the energy released during fermentation.

Differences of the ME and dCPSI between treatments (sorghum silage + dry beans of Jack beans and sorghum-Jack beans silage or sorghum-Velvet bean silage) were compared by a one way ANOVA by means of a non-parametric Wilcoxon rank sum test performed with jmp (jmp 9.0.2 copyright (c) 2010 SAS Institute Inc.).

Results and Discussion

JB showed higher forage and grain yield (table 1)

Cuban Journal of Agricultural Science, Volume 50, Number 1, 2016
evaluación integrada del potencial como alimento conservado para rumiantes de la combinación sorgo-canavalia o mucuna.

Materiales y Métodos

Se utilizaron los datos del ensilaje de la planta entera de sorgo suplementada con granos secos de canavalia y el ensilaje de la planta entera de sorgo-canavalia o el ensilaje de la planta entera de sorgo-mucuna de Lima-Orozco *et al.* (2014) para evaluar la integración de consideraciones agronómicas en una evaluación completa que incluyó producción de biomasa, valor nutritivo y calidad de conservación.

La energía metabolizable (EM) y la PB digerible en el intestino delgado (dPBID) del ensilaje de la planta completa de sorgo suplementada con granos secos de canavalia, el ensilaje de la planta entera de sorgo-canavalia y ensilaje de la planta entera de sorgo-mucuna fueron calculadas de los datos reportados por Lima-Orozco *et al.* (2014) en la degradabilidad *in vitro* en rumen (12 h) y la digestibilidad *in vitro* en el intestino delgado como sigue:

$EM = (ER + ESI)/0.62$, donde ER es la energía neta del acetato (874 kJ/mol), propionato (1535 kJ/mol) y butirato (2192 kJ/mol) producido en el rumen; ESI es la energía neta calculada de la MO digerible en el intestino delgado como 16.7 kJ/g MO y 0.62 es la energía neta para la proporción de EM para vacas en mantenimiento.

$dPBID_{(g/kg MS)} = MIN(dPBR; dMP) * 0.75 * 0.85 + dbpPBID$, donde dPBR (g/kg MS) es la proteína microbiana producida sobre la base del suministro de PB efectivamente degradable en rumen (g/kg MS); dMP (g/kg MS) es la cantidad de proteína microbiana calculada sobre la base de la materia orgánica aparentemente degradable en rumen (MOADR) como 187.5 g PB/kg MOADR (con MOADR calculada de la producción neta de acetato, propionato y butirato como $162 * (\text{acetato}/2 + \text{propionato}/2 + \text{butirato})$); *MIN* (dPBR) significa que el cálculo de la proteína microbiana depende de si la disponibilidad de proteína degradable en rumen (dPBR) o la energía fermentable (dMP) es el factor limitante para la producción de proteína microbiana (Tamminga *et al.* 1994); los factores 0.75 y 0.85 representan el contenido de aminoácidos de la proteína microbiana y la digestibilidad intestinal de los aminoácidos microbianos, respectivamente (Tamminga *et al.* 1994); dbpPBID (g/kg MS) es la PB de sobrepeso digerible en el intestino. En la presente prueba, la dPBR siempre excedió la dMP y, por tanto, la proteína microbiana fue determinada de la energía liberada durante la fermentación.

Las diferencias de la EM y la dPBID entre tratamientos (ensilaje de sorgo + granos secos de canavalia y ensilaje de sorgo-canavalia o ensilaje de sorgo-mucuna) fueron comparadas en una dirección por ANOVA mediante una prueba Wilcoxon de la suma de registros no paramétricos realizadas con jmp (jmp 9.0.2 derechos © 2010 Instituto SAS Inc.).

Resultados y Discusión

Canavalia mostró mayor rendimiento de forraje y

as compared with VB (grain yield; 1.24 t DM/ha). Assessment of ensiling quality showed that, with a proportion of 50:50 of fresh whole sorghum plants and fresh whole JB plants, a sufficient feed quality for ruminants could be reached (Lima-Orozco *et al.* 2014). When pure sorghum silage is supplemented with stored dry grains from JB, 88g of sorghum silage is required per 100 g of FM (78 g on DM basis) to reach a similar CP content as for the combined sorghum-legume silage. To obtain the equivalent ME supply from combined whole plant sorghum-JB silage and sorghum-VB silage or pure sorghum silage supplemented with JB dry grains, 6 and 26 % more DM is required, respectively (table 1). More importantly, this corresponds to a demand of 1.4 to 2.5 times the surface required to co-culture sorghum-JB forage. When sorghum silage is supplemented with dry beans from JB, an equivalent dCPSI supply as from sorghum-JB silages requires 44% more feed. Moreover, the area required to produce sorghum and JB as monocultures is 2.90 times the surface required for sorghum-JB intercropping. To supply similar dCPSI from combined sorghum-VB silages 1.65 times more surface is required.

Given the world's population growth, substantial increase of agriculture production while simultaneously decreasing its environmental footprint, is required. In their analysis for solutions to this dilemma Foley *et al.* (2011) indicated agriculture expansion should be halted and increasing food production should be reached by closing crop yield gaps on existing agricultural land. Hence, within this context, protein alternatives not only should be compared in terms of nutritive value but also the surface required for supply of comparable amounts of energy and digestible protein should be considered.

The grain and forage yield reached by JB in the current study is similar to what has been reported by Díaz (2000) and show the potential of this crop in ruminant feeding systems as yields are considerably greater than those of other legumes e.g. VB as reported in this work (Table 1) or soybean in previous reports (Lima-Orozco *et al.* 2013).

A dCPSI supply equal to that from mixed sorghum-JB silage requires 22 t DM extra from sorghum-VB silages or 44 t DM extra from sorghum silage supplemented with dry bean from JB. Similarly, 8 t DM extra is needed from whole plant sorghum and soybean silages (Lima-Orozco *et al.* 2013). In addition, more hectares are needed to produce sorghum silage supplemented with dry beans with the extra cost of sorghum fertilization (60 kg N/ha). Additionally, this amount of sorghum silage supplemented with dry beans would supply a lower amount of ME. Grains from VB were not considered here as an alternative given their lower yield and a longer growing period (180-200 d)

grano (tabla 1) comparada con la mucuna (rendimiento de grano; 1.24 t MS/ha). La evaluación de la calidad del ensilado reveló que con una proporción 50:50 de plantas enteras de sorgo frescas y plantas de canavalia frescas enteras se pudiera alcanzar suficiente calidad en el alimento para rumiantes (Lima-Orozco *et al.* 2014). Cuando el ensilaje puro de sorgo es suplementado con granos secos almacenados de canavalia, se requieren 88 g de ensilaje de sorgo por 100 g de MF (78 g en base MS) para alcanzar un contenido similar de PB respecto al ensilaje combinado sorgo-leguminosa. Para obtener el equivalente de suministro de EM del ensilaje combinado de la planta entera de sorgo-canavalia y el ensilaje de sorgo-mucuna o el ensilaje de sorgo puro suplementado con granos secos de canavalia, se necesitarían 6 y 26 % más de MS, respectivamente (tabla 1). Lo que es más importante, esto se corresponde con una demanda de 1.4 a 2.5 veces la superficie necesitada para cultivar conjuntamente el forraje de sorgo-canavalia. Cuando se suplementa el ensilaje de sorgo con granos secos de canavalia, un suministro equivalente de dPBID a partir de ensilajes de sorgo-canavalia requiere 44 % más alimento. Por otra parte, el área requerida para producir sorgo y canavalia como monocultivos es 2.90 veces la superficie requerida para la siembra intercalada de sorgo-canavalia. Para suministrar una dPBID similar de los ensilajes combinados de sorgo-mucuna se requieren 1.65 más superficie.

Dado el crecimiento poblacional mundial, se precisa un aumento sustancial de la producción agrícola en tanto simultáneamente se reduzca su huella en el ambiente. En sus análisis sobre soluciones a este dilema Foley *et al.* (2011) indicaron que debe ser detenida la expansión agrícola y la producción creciente de alimentos debe ser alcanzada mediante el cierre de las brechas del rendimiento de las cosechas en la tierra agrícola existente. Por tanto, dentro de ese contexto, las alternativas de proteína no solamente deben ser comparadas en términos de valor nutritivo sino que también debe ser considerada la superficie requerida para el suministro de cantidades comparables de energía y proteína digerible.

El rendimiento de grano y forraje alcanzado por la canavalia en este estudio es similar a lo reportado por Díaz (2000) y muestra el potencial de este cultivo para los sistemas de alimentación de rumiantes, ya que los rendimientos son considerablemente mayores que los de otras leguminosas e.g. mucuna según se informó en este trabajo (tabla 1) o soya en reportes anteriores (Lima-Orozco *et al.* 2013).

Un suministro de dPBID igual al del ensilaje de sorgo mezclado con canavalia requiere 22 t MS extra de ensilajes de sorgo-mucuna o 44 t extras de MS de ensilaje de sorgo suplementado con grano seco de canavalia. Similarmente, se requieren 8 t extras de MS de la planta de sorgo entera y los ensilajes de soya (Lima-Orozco *et al.* 2013). Además, se precisan más hectáreas para producir ensilaje de sorgo suplementado con granos secos con el costo extra de la fertilización del sorgo (60 kg N/ha). Adicionalmente, la cantidad de ensilaje de sorgo suplementada con granos secos

Table 1. Characteristics [yield (t DM/ha), dry matter (DM; g/kg fresh material) and crude protein (CP; g/kg DM) contents] of sorghum, Jack bean and Velvet bean. Based on these characteristics, the total quantity (t DM) and surface (ha) required to supply equivalent amounts of metabolizable energy (ME) or digestible CP at small intestine (dCPSI) as from 100 t of combined sorghum-JB silages were calculated.

	Whole plants			Dry beansjack bean	P Value ϕ
	Sorghum*	Jack bean	Velvet bean		
Yield	5.81	8.04	3.48	2.87	-
DM	445	338	228	843	-
CP	66.1	218	186	334	-
ME (MJ/kg DM) \dagger		10.4	9.78	8.24	0.077
dCPSI(g/kg DM) \dagger		62.9	51.6	43.6	0.081
					Total
Quantity (t DM)	61.0	39.0			100
Surface (ha)	10.5	4.85			10.5 \ddagger
	Similar ME supplementation as from sorghum-Jack bean silage				
Quantity (t DM)	53.7		52.6		106
Surface (ha)	9.2		15.1		15.1 \ddagger
Quantity (t DM)	98.6			27.6	126
Surface (ha)	17.0			9.63	26.6 \S
	Similar dCPSI supplementation as from sorghum-Jack bean silage				
Quantity (t DM)	61.5		60.3		122
Surface (ha)	10.6		17.3		17.3 \ddagger
Quantity (t DM)	113			31.6	144
Surface (ha)	19.4			11.0	30.4 \S

*assuming similar forage yield for both intercropped and monoculture sorghum, with fertilization of monoculture (60 kg N/ha).

ϕ P value: refers to non-parametric test (Wilcoxon rank sum test) performed to compare treatments Sorghum silage + dry beans of Jack beans and sorghum-Jack beans silage or sorghum-Velvet bean silage.

\dagger refers to the combined sorghum-legume silages.

\ddagger refers to the area needed with an intercropping system.

\S refers to the total area needed for both crops as monoculture.

as compared with JB or soybean for which only 120-140 d or 90-120 d (Díaz 2000) are needed, respectively. These harvesting times are similar to previous reports and are influenced among others by the legume species/cultivar and harvesting season (Díaz 2000; Lima-Orozco *et al.* 2013).

It was concluded that the ME content and dCPSI of the sorghum-JB silages are 1.26 or 1.44 times higher than sorghum-JB silage or for pure sorghum silage supplemented with dry beans from JB. Moreover, a much larger surface is required for the sorghum silage and dry JB grains alternative. Hence, combined sorghum-JB silage seemed the best alternative studied here in terms of DM yield, dCPSI and ME supply.

Acknowledgements

The authors would like to thank to VLIR-USO for a short research grant to R. Lima Orozco and to the commission of Scientific Research of the Faculty of Bioscience Engineering of UGent for travel grant of Inge Van Daele, to the staff of the Laboratory for

suministraría una cantidad menor de EM. Los granos de mucuna no fueron considerados aquí como una alternativa debido a su rendimiento más bajo y un período de crecimiento más largo (180-200 d) comparado con la canavalia o la soya para lo cual solamente necesitan 120-140 d o 90-120 d, respectivamente (Díaz 2000). Estos tiempos de cosecha son similares a los reportes anteriores y están influenciados entre otros por la especie de leguminosa/cultivar y la época de cosecha (Díaz 2000 y Lima-Orozco *et al.* 2013).

Se concluyó que el contenido de ME y dPBID de los ensilajes de sorgo-canavalia son 1.26 o 1.44 veces superiores que el ensilaje de sorgo-canavalia o para ensilaje puro de sorgo suplementado con granos secos de canavalia. También se requiere una superficie mucho mayor para el ensilaje de sorgo y la alternativa de granos secos de canavalia. Por tanto, el ensilaje combinado de sorgo-canavalia pareció la mejor alternativa estudiada aquí en términos de rendimiento de MS, dPBID y suministro de EM.

Agradecimientos

Los autores agradecen al VLIR-USO por una beca de investigación corta a R. Lima Orozco y a la comisión de

Animal Nutrition and Animal Product Quality of UGent and to the staff from the Experimental Stations in CIAP of UCLV for the technical assistance during this research.

investigación científica de la Facultad de la Ingeniería de Biociencia de UGent por la beca de viaje a Inge Van Daele, al personal del Laboratorio de Nutrición Animal y Calidad de Productos Animales de UGent y al personal de la estaciones experimentales en CIAP de UCLV por su asistencia técnica durante esta investigación.

References

- Díaz, M. F. 2003. "Producción y caracterización de forrajes y granos de leguminosas temporales para la alimentación animal". Cuban Journal of Agricultural Science, 37 (1), 65–71, ISSN: 2079-3480.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D. & Zaks, D. P. M. 2011. "Solutions for a cultivated planet". Nature, 478 (7369): 337–342, ISSN: 0028-0836, DOI: 10.1038/nature10452.
- Lima-Orozco, R., Castro, A. A. & Fievez, V. 2013. "Ensiled sorghum and soybean as ruminant feed in the tropics, with emphasis on Cuba". Grass and Forage Science, 68 (1), pp. 20–32, ISSN: 1365-2494, DOI: 10.1111/j.1365-2494.2012.00890.x.
- Lima-Orozco, R., Van Daele, I., Álvarez, H. U. & Fievez, V. 2014. "Combined conservation of jack bean and velvet bean with sorghum: evaluation of lab-scale silages and in vitro assessment of their nutritive value". The Journal of Agricultural Science, 152 (06): 967–980, ISSN: 1469-5146, DOI: 10.1017/S0021859614000148.
- Ojeda, F. 2000. "Harvesting and ensiling techniques". In: Silage Making in the Tropics with Particular Emphasis on Smallholders, Rome: FAO, ISBN: 978-92-5-104500-8.
- SAS Institute. 2010. Statistical Analysis Software SAS/STAT®. version 9.0.2, Cary, N.C., USA: SAS Institute Inc, ISBN: 978-1-60764-599-3, Available: <http://www.sas.com/en_us/software/analytics/stat.html#>.
- Tamminga, S. van Straalen, W. M., Subnel, A. P. I., Meijer, R. G. M., Steg, A., Waver, C. J. G. & Blok, M. C. 1994. The Dutch protein evaluation system: The DVEIOEB-system. Livestock Prod. Sci. 40: 134-153

Received: July 15, 2015