

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL GRANO DE SORGO. RELACIÓN CON LA DEGRADACIÓN RUMINAL EN BOVINOS

PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SORGHUM GRAIN. RELATIONSHIP WITH RUMINAL DEGRADATION IN CATTLE

Montiel, M.D.^{1*}, Elizalde, J.C.^{1A}, Santini, F.^{1B} y Giorda, L.²

¹Unidad Integrada EEA-INTA Balcarce. Facultad de Ciencias Agrarias. UNMdP. Buenos Aires. Argentina. *dmontiel@balcarce.inta.gov.ar; ^Ajelizalde@arnet.com.ar; ^Bfsantini@balcarce.inta.gov.ar
²EEA-INTA Manfredi. Manfredi. Córdoba. Argentina. sorgosmanfredi@gmail.com

PALABRAS CLAVES ADICIONALES

Taninos.

ADDITIONAL KEYWORDS

Tannins.

RESUMEN

Se estudió la relación entre las características físicas y químicas de diferentes híbridos de granos de sorgo y la degradabilidad *in situ* de la materia seca (MS), proteína bruta (PB) y almidón. Las características físicas (peso hectólitro, relación de molienda, porcentaje de flotación, densidad aparente) y químicas (taninos, PB y kafirinas) fueron relacionadas con la degradabilidad ruminal de los granos de sorgo para identificarlas como posibles predictoras de la misma. Se detectaron diferencias entre los híbridos en la degradabilidad *in situ* de la MS, PB y almidón tras 16 horas de incubación en el rumen. Las características físicas de los granos no se relacionaron con la degradabilidad *in situ* de los mismos. Sin embargo, los contenidos de taninos y de kafirinas de los granos estuvieron relacionados con la degradabilidad *in situ* de la MS, PB y almidón. La degradabilidad del grano de sorgo fue altamente dependiente del genotipo y el contenido de taninos fue el mejor predictor de la degradabilidad de la MS.

SUMMARY

We studied the relationship between physical or chemical characteristics of different sorghum grain hybrids on *in situ* dry matter (DM), crude protein (CP) and starch degradability. Physical (bulk density, milling ratio, percentage of floating grains, apparent density) and chemical (tannins, CP and kafirins contents) characteristics were related to ruminal degradability of sorghum grains in order to identify predictors for ruminal

degradation. Differences in DM, CP and starch degradability *in situ* between sorghum hybrids were found after 16 h of incubation. Physical characteristics were not related to *in situ* DM, CP and starch degradability. However, tannins and kafirins contents were related to DM, CP and starch degradability. Degradability of sorghum grain was highly dependent on genotype and tannin contents were the most reliable predictor of DM degradability.

INTRODUCCIÓN

El grano de sorgo es uno de los cereales más cultivados en el mundo y constituye una parte importante de las dietas de bovinos en muchas regiones de Argentina. Dicho cereal presenta ventajas agronómicas en cuanto a su rusticidad y plasticidad que lo hace adaptable a un amplio rango de condiciones medioambientales, siendo más eficiente que el maíz en el uso del agua edáfica.

El valor alimenticio del grano de sorgo puede ser afectado por las características del endospermo y el contenido de taninos. Se han hallado amplias diferencias en la degradabilidad entre híbridos de sorgo (Cabral Filho *et al.*, 2005), debidas a variaciones en el contenido y la digestibilidad del almidón y a las cantidades y tipos de

Recibido: 24-10-08. Aceptado: 26-11-09.

Arch. Zootec. 60 (231): 533-541. 2011.

proteínas presentes en el grano (Salina *et al.*, 2006).

Las relaciones entre las propiedades físicas de los granos y la dureza o la digestión han sido extensamente evaluadas en el grano de maíz (Correa *et al.*, 2002), pero para el grano de sorgo, solo se conocen relaciones entre la dureza del grano y las propiedades físicas. Ha sido documentado que los genotipos que contienen una alta proporción de endospermo harinoso presentan una menor densidad aparente (Pedersen *et al.*, 2000). Además, el porcentaje de granos de sorgo que flotan en una solución de densidad conocida es menor cuando poseen altas proporciones de endospermo vítreo (Jambunathan *et al.*, 1992).

Varios tipos de proteínas (prolaminas, glutelinas, albúminas y globulinas) que exhiben diferencias respecto a sus propiedades físicas, actividad biológica y calidad nutricional están presentes en el grano de sorgo. Las predominantes son las prolaminas, también llamadas kafirinas, constituyen entre el 70 a 80% de la proteínas totales, se encuentran principalmente en el endospermo presentando la particularidad de ser solubles sólo en alcohol (van Barneveld, 1999). La disponibilidad de almidón a nivel ruminal se encuentra fuertemente influenciada por la solubilidad y fermentación de las proteínas. Las kafirinas al ser insolubles en licor ruminal afectarían en forma negativa la disponibilidad de almidón para la degradación bacteriana.

Los taninos del grano de sorgo pueden disminuir el ataque por pájaros e inhibir el desarrollo de hongos previo a la cosecha, pero también reducen la digestión *in vitro* (Reina *et al.*, 2007) e *in vivo* de la proteína (Cabral Filho, 2004). Sin embargo, Hibberd *et al.* (1985) y Streeter *et al.* (1990) no hallaron diferencias en la degradación ruminal de la materia orgánica, almidón y proteína entre sorgos con y sin taninos. Esos resultados sugieren que no es claro el efecto negativo de los taninos sobre la degradación ruminal.

Debido a la escasa y contradictoria in-

formación existente acerca de la relación entre las características físicas y químicas de los granos de sorgo y su degradabilidad a nivel ruminal, se plantea como objetivo del presente estudio relacionar las características físicas y químicas de varios genotipos de sorgo con la degradabilidad ruminal *in situ* en bovinos, para identificarlas como posibles predictoras de la misma.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue conducido en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (Buenos Aires, Argentina). Los híbridos de sorgos evaluados fueron: Telén, DA48, A9904, Relámpago 55R, DA49, ACA 550, MS3, P8586, ProINTA 341, MS2, P8232, P8118, ProINTA Blanco y ProINTA 351.

Las características físicas de los granos fueron evaluadas a través las mediciones de:

- Peso hectólitro: se empleó una balanza de peso hectólitro tipo Schlopper de cuarto litro, y al valor de peso obtenido se multiplicó por el factor 0,4 para expresar los resultados en kg/hl (Maxson *et al.*, 1971).

- Relación de molienda: se molieron 50 g de muestra en un molino Stein, luego se tamizaron durante un minuto sobre tamices de 1 y 0,5 mm. El material que quedó en el tamiz de 1 mm fue considerado fracción gruesa (G) y el que atravesó el tamiz de 0,5 mm y quedó en el ciego fue la fracción fina (F). La relación de molienda fue calculada como: G/F (de Dios *et al.*, 1992).

- Porcentaje de flotación: se determinó el porcentaje de granos que flotan en dos soluciones de tetracloruro de carbono y keroseno de densidades conocidas (1,28 g/cm³ y 1,35 g/cm³). Los datos se expresaron como porcentajes de granos que flotan, promediando ambas soluciones y con una muestra de 100 semillas repetido tres veces (Lepes *et al.*, 1976).

- Densidad aparente: se determinó por el desplazamiento de volumen en una probeta

DEGRADACIÓN RUMINAL EN BOVINOS DEL GRANO DE SORGO

que contenía 40 cm³ de xileno (volumen inicial) a la que se agregaron 100 semillas previamente pesadas. La densidad media aparente se calculó como: densidad (g/cm³) = peso de semillas / (volumen final - volumen inicial) (Chandrashekar y Kirleis, 1998; de Dios *et al.*, 1992).

La caracterización química incluyó PB (Horneck y Miller, 1998), kafirinas por el método de Wallace (Hamaker *et al.*, 1995) y taninos por el test de blanqueo (Earp *et al.*, 1981) y el método de Folin-Denis (Magalhães *et al.*, 2001).

La degradabilidad ruminal del grano fue estudiada usando la técnica *in situ* (Nocek y English, 1986) con bolsas de dacrón incubadas en el rumen. Se utilizaron tres vacas Holando-Argentino no preñadas (peso promedio 703±55,3 kg), las cuales poseían una cánula ruminal (11 cm de diámetro interno).

Durante el experimento, los animales permanecieron alojados en corrales individuales (25 m²) con piso de cemento y libre acceso al agua fresca. Diariamente se higienizaban los corrales para sacar restos de orina y materia fecal, y se reciclaba completamente el agua de bebida. La dieta estuvo compuesta por 48% de heno de alfalfa, 24% de grano de maíz molido, 19% de grano de avena entero y 9% de afrechillo de trigo, urea y sales minerales en base a la materia seca. La ración fue ofrecida a un nivel de consumo del 2% del peso vivo, suministrándose dividida en partes iguales a las 8:00 y 20:00 horas.

Las bolsas de dacrón (10x23 cm, con un tamaño de poro promedio de 50 µm, Ankom®) fueron llenadas con 5 g de cada material molido a 2 mm, con el objeto de obtener una relación entre la cantidad de muestra y el tamaño de la bolsa de 20 mg/cm². Los tratamientos fueron representados por triplicado y las bolsas se colocaron dentro de una malla de nylon (30x45 cm, con un tamaño de poro de 2 cm²) para situarlas en similar posición dentro del rumen y facilitar su posterior localización. Previamente a la introducción dentro del rumen, las bol-

sas fueron remojadas en agua a 39°C durante 15 min (Nocek y English, 1986) para simular parcialmente la insalivación. Transcurrido el período de incubación (16 horas), las bolsas fueron retiradas del rumen e inmediatamente lavadas con agua fría para interrumpir la degradación bacteriana, secándose posteriormente en estufa a 55°C durante 48 h hasta peso constante. El residuo de incubación se pesó y se analizaron los contenidos de almidón y proteína. La degradabilidad ruminal (Dr) *in situ* fue expresada como el porcentaje de MS, almidón o PB desaparecido, calculado como:

$$Dr = [(incubado(g) - residuo(g)) / incubado(g)] * 100$$

El análisis de la degradabilidad ruminal *in situ* de los diferentes híbridos se realizó según un diseño en bloques completos al azar, utilizando el animal como factor de bloqueo. Dicho análisis estadístico se efectuó usando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (1998), y las medias mínimas cuadráticas fueron comparadas con el test de Tukey-Kramer (nivel de significación aceptado p≤0,05). Las correlaciones entre las propiedades físicas y químicas con la degradabilidad *in situ* fueron analizadas mediante un análisis de correlación utilizando el procedimiento CORR de SAS (1998). Con el procedimiento REG de SAS (1998) se realizaron las regresiones entre el contenido de taninos y la degradabilidad ruminal.

El efecto del nivel de taninos sobre la degradación ruminal fue evaluado agrupando los sorgos en diferentes categorías: alto contenido de taninos (>300 mg de ácido tánico/100 g de muestra; híbridos: Telén, DA48, A9904, Relámpago 55R, DA49), medio contenido de taninos (entre 100 y 300 mg de ácido tánico/100 g de muestra; híbridos: ACA 550, MS3, P8586, ProINTA 341, MS2) y bajo contenido de taninos (≤100 mg de ácido tánico/100 g de muestra; híbridos: P8232, P8118, ProINTA Blanco y ProINTA 352). Los datos de la degradabilidad ruminal fueron analizados usando un diseño en blo-

Tabla I. Características físicas y composición química de los híbridos de sorgo. (Physical characteristics and chemical composition of sorghum hybrids).

Híbridos	2DA (g/cm ³)	PF (%)	PH (kg/hl)	RM	PB (%)	Kafirinas ¹ (%)	Taninos TB	FD(mg/g)
ProINTA Blanco	1,64	12,1	79,0	3,2	8,6	25,7	-	55
ProINTA 352	1,50	17,8	80,4	2,7	7,9	16,9	-	100
ProINTA 341	1,40	20,4	79,9	2,3	7,2	26,4	-	130
P8118	1,44	22,8	78,7	1,9	7,7	14,7	-	35
A9904	1,21	38,1	76,8	2,0	9,9	38,0	+	365
P8586	1,27	27,3	80,0	1,6	7,1	31,7	-	207
Relámpago 55R	1,30	73,0	74,0	1,4	10,0	32,1	+	390
Telén	1,10	46,6	75,2	1,4	8,1	28,6	+	356
MS3	1,27	21,6	79,6	2,2	10,1	30,0	-	204
DA49	1,14	35,1	78,8	1,5	10,2	31,1	+	416
ACA 550	1,30	27,6	76,8	2,6	8,6	26,9	-	188
P8232	1,45	36,7	80,8	2,4	8,2	20,0	-	16
MS2	1,11	33,9	77,1	1,5	7,8	24,1	-	206
DA48	1,21	14,1	80,3	1,4	5,7	24,1	+	353
Promedio	1,31	30,5	78,4	2,0	8,4	26,5		215,8
Desvío estándar	0,16	15,7	2,07	0,58	1,3	6,3		139,1

DA: densidad aparente (g/cm³); PF: porcentaje de flotación (%); PH: peso hectólitro (kg/hl); RM: relación de molienda; PB: proteína bruta (%); ¹% del total de la PB; TB: Test de blanqueo: (-) sin testa pigmentada, (+) con testa pigmentada; FD: Método de Folin-Denis (mg ácido tánico/100g muestra, baseMS).

ques completos al azar, utilizando los animales como bloques y comparando las medias mínimas cuadráticas con el test de Tukey-Kramer (nivel de significación aceptado $p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características físicas y químicas de los granos de sorgo se presentan en la **tabla I**. Los valores promedios de densidad aparente y peso hectólitro fueron similares a los hallados por Maxson *et al.* (1971), Sullins y Rooney (1974) y Chandrashekar y Kirleis (1988). Un mayor peso hectólitro y densidad aparente en el grano de sorgo están relacionados con una mayor dureza del mismo (Sullins y Rooney, 1974). Jambunathan *et al.* (1992) estudiaron la dureza del grano de sorgo determinando el porcentaje de granos que flotan en una

solución de nitrato de sodio y hallaron un rango desde 40 a 100% (promedio 76% de flotación). En este estudio se hallaron menores valores, desde 12,2 a 46,6% (promedio 30,5%), probablemente debido a que se usó un medio de flotación diferente (tetracloruro de carbono y keroseno). La relación de molienda es una medida directa de la dureza del grano, expresada por el tamaño de partícula que se obtiene tras la molienda del grano. La relación de molienda promedio fue de 2,0 y osciló desde 1,4 a 3,2. Los granos con una mayor relación de molienda son más duros (ricos en endospermo vítreo) y producen un mayor tamaño de partícula respecto a los granos blandos (Chandrashekar y Kirleis, 1988).

Las características químicas de los híbridos pueden ser afectadas por el clima, el suelo, las labores de cultivo y el genotipo (Rooney y Pflugfelder, 1986). Las variacio-

DEGRADACIÓN RUMINAL EN BOVINOS DEL GRANO DE SORGO

nes entre híbridos observadas en este ensayo pueden solo ser atribuidas al genotipo de los mismos, ya que todos los híbridos se desarrollaron bajo similares condiciones medioambientales. Se observaron diferencias sustanciales en las características químicas entre los 14 híbridos analizados. El contenido de PB fluctuó entre 5,7 y 10,2%. Las concentraciones de kafirinas (expresadas como porcentaje de PB) difirieron entre los híbridos (**tabla I**), y los porcentajes de kafirinas determinados en este trabajo fueron menores a los hallados por otros autores. Hamaker *et al.* (1995) obtuvieron un valor promedio de 68,3%, y Chandrashekar y Kirleis (1988) hallaron valores desde 46 a 70%.

Las concentraciones de los taninos difirieron entre los genotipos en ambos métodos de análisis utilizados (**tabla I**). El test de blanqueo con cloro detecta genotipos que presentan una testa pigmentada (Earp *et al.*, 1981), asumiéndose que la presencia de esta característica implica que los mismos poseen una alta concentración de taninos condensados (Hahn y Rooney, 1986). A través de este test se hallaron cinco híbridos de sorgo con la testa pigmentada, los que además presentaron los mayores valores de fenoles totales según el método de Folin-Denis (mayores de 300 mg de ácido tánico/100 g MS, **tabla I**). Con el método colorimétrico de Folin-Denis se detectó una amplia variación entre los híbridos en el contenido de polifenoles totales, que osciló desde 16 hasta 416 mg de ácido tánico/100 g de MS (**tabla I**). Además de los taninos condensados, otros compuestos fenólicos (ácidos fenólicos y flavonoides) reaccionan con el reactivo usado en éste método, pero estos últimos solo tienen efecto sobre la coloración de grano, sin afectar la calidad nutricional del mismo (Earp *et al.*, 1981). Por esa razón, en granos de sorgos considerados bajos en taninos y sin testa pigmentada se pueden detectar pequeñas cantidades de polifenoles totales (Maxson y Rooney, 1972). Si bien, este protocolo no discrimina

taninos condensados de otros compuestos fenólicos, puede ser usado en sorgo, ya que este grano posee en su composición química solo pequeñas cantidades de los otros compuestos fenólicos (Magalhães *et al.*, 2001).

Entre los híbridos se hallaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en la degradabilidad *in situ* de MS, PB y almidón (**tabla II**). Las diferencias entre los valores máximos y mínimos de degradabilidad fueron de 28,6, 17,0 y 34,7 unidades porcentuales para la MS, PB y almidón, respectivamente.

Ninguna de las características físicas (peso hectólitro, densidad aparente, porcentaje de flotación y relación de molienda) se correlacionaron ($p > 0,05$) con las degradabilidades *in situ* de la MS, la PB y del almidón (datos no mostrados). Por esa razón, en este ensayo los atributos físicos de los granos no pudieron usarse para predecir su degradabilidad ruminal.

Dentro de las características químicas, el contenido total de PB del grano no afectó la degradabilidad ruminal, y las correlaciones no fueron significativas ($p > 0,05$; **tabla III**). Hibberd *et al.* (1982) indicaron también que los niveles de proteína no se relacionaron con la desaparición *in vitro* de la MS ($r = 0,18$). A pesar de lo anterior, en el presente ensayo se halló una relación negativa entre el contenido de kafirinas y la degradabilidad ruminal de la MS, la PB y el almidón ($p < 0,05$; **tabla III**). Se ha sugerido que la naturaleza de la proteínas es la principal responsable de su baja digestibilidad en el grano de sorgo. Las kafirinas, localizadas principalmente dentro de los cuerpos proteicos, son proteína de baja digestibilidad, y pueden afectar la utilización del almidón disminuyendo su disponibilidad (Sullins y Rooney, 1974). Oria *et al.* (2000) indicaron que el contenido y la localización relativa de las kafirinas dentro del cuerpo proteico parecen influir sobre la tasa de degradación de la PB. Por consiguiente, las diferencias entre los híbridos pueden estar

Tabla II. Degradabilidad ruminal de la materia seca (MS), proteína bruta (PB) y almidón de los híbridos de sorgo tras 16 h de incubación. (Dry matter (MS), crude protein (PB) and starch ruminal degradability of sorghum hybrids after 16 h of incubation).

Degradabilidad MS		Degradabilidad PB		Degradabilidad almidón	
Híbridos	%	Híbridos	%	Híbridos	%
P8118	52,8 ^a	ProINTA 352	25,9 ^a	P8118	56,7 ^a
ProINTA 352	47,6 ^a	P8118	25,6 ^a	ProINTA352	49,7 ^{ab}
P8232	47,2 ^a	P8232	23,8 ^{ab}	ProINTA Blanco	47,9 ^b
ACA550	40,4 ^b	ACA550	22,8 ^{abc}	P8232	42,0 ^{bd}
ProINTA Blanco	39,6 ^b	ProINTA Blanco	19,7 ^{bcd}	MS2	40,9 ^d
P8586	39,5 ^b	MS3	18,6 ^{bode}	MS3	39,2 ^d
Relámpago 55R	34,4 ^{bc}	ProINTA 341	18,3 ^{bode}	Telen	30,9 ^e
MS3	34,1 ^{bc}	MS2	17,9 ^{bode}	Relámpago	29,4 ^e
ProINTA 341	34,0 ^{bc}	Relámpago 55R	17,6 ^{cde}	ProINTA 341	29,3 ^e
MS 2	32,2 ^c	A9904	16,4 ^{de}	ACA550	28,6 ^e
Telen	29,0 ^{cd}	P8586	15,0 ^{de}	P8586	26,3 ^e
DA 48	24,3 ^{cd}	DA49	14,6 ^{de}	A9904	22,7 ^e
DA49	24,3 ^d	Telen	13,4 ^{ef}	DA49	22,3 ^e
A9904	24,2 ^d	DA48	8,9 ^f	DA48	22,0 ^e
EEM	2,2	EEM	1,8	EEM	2,7

Letras diferentes dentro de una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$). EEM: error estándar de la media.

relacionadas con los tipos y localización de dichas proteínas más que con los contenidos de proteínas totales (Duodu *et al.*, 2003). Salinas *et al.*, 2006 hallaron que las diferencias en energía metabolizable aparente entre diferentes genotipos de sorgo se debieron principalmente a diferencias en las concentraciones de kafirinas en los granos ($r = -0,63$). Esta observación concuerda con la relación negativa entre el contenido de kafirinas y la degradabilidad de los granos detectada en este ensayo.

El mayor contenido de taninos estuvo relacionado con una menor degradabilidad *in situ* del grano ($p < 0,001$; **tabla III**). El 72% de la variación de la degradabilidad *in situ* de la MS de los granos se debió al contenido de taninos de los mismos (degradabilidad MS = $47,8 - 0,05 \times \text{taninos}$; $R^2 = 0,72$; $p < 0,0001$). Harris *et al.* (1970) y O'Brien (1999) hallaron una correlación negativa entre la concentración de taninos y la digestión *in vitro* de la MS ($r = -0,90$ y $-0,92$ respectivamente).

Para el caso de la degradabilidad *in situ* de la PB y el almidón, el contenido de taninos

Tabla III. Coeficientes de correlación entre las características químicas y la degradabilidad *in situ*. (Correlation coefficients between chemical characteristics and *in situ* degradability).

Degradabilidad	Características químicas		
	Proteína bruta	Kafirinas	Taninos
Materia seca	-0,31 (0,27)	-0,80** (0,17)	-0,85** (0,15)
Proteína bruta	0,14 (0,29)	-0,61* (0,22)	-0,77** (0,18)
Almidón	-0,09 (0,29)	-0,77** (0,18)	-0,80** (0,17)

* $p < 0,05$ - ** $p < 0,001$: indican diferencias al $p \leq 0,05$ y $p < 0,001$ respectivamente. Los valores entre paréntesis corresponden al error estándar del coeficiente de correlación.

DEGRADACIÓN RUMINAL EN BOVINOS DEL GRANO DE SORGO

explicó el 59 y 64% de la variación de los datos respectivamente (degradabilidad PB= $24,2-0,03 \times$ taninos; $R^2= 0,72$; $p= 0,001$; degradabilidad almidón= $48,7-0,06$ taninos; $R^2= 0,64$; $p<0,001$). Por otra parte, se halló una asociación negativa ($r= -0,91$) entre el contenido de taninos y la digestión de la PB (Harris *et al.*, 1970). Los genotipos altos en taninos contienen más nitrógeno insoluble en pepsina que los genotipos bajos en taninos (Hibberd *et al.*, 1985), indicando que los taninos disminuyen la degradación ruminal de la proteína.

El efecto del nivel de taninos sobre la degradabilidad *in situ* de la MS, PB y almidón se muestra en la **tabla IV**. Los híbridos bajos en taninos presentaron en todos los casos una mayor degradabilidad ruminal *in situ* que los altos en taninos, siendo la mejora en la degradabilidad de la MS, PB y almidón de un 62, 73 y 76%, respectivamente. Esos resultados fueron similares a los hallados por otros autores quienes observaron una menor digestibilidad en sorgos con alto contenido de taninos (Hibberd *et al.*, 1982, 1985). Schaffert *et al.* (1974) observaron que tras 48 h de fermentación sorgos altos y bajos en taninos tuvieron una desaparición *in vitro* de la MS de 46,6 y 72,5%, respectivamente. Hinder y Eng (1971) hallaron que híbridos libres de taninos produje-

ron dos veces más de gas que sorgos con alto contenido de taninos (2,4, 2,9 y 1,2 ml de gas producido/h en sorgos con bajo contenido de taninos con endospermo córneo y harinoso y en sorgos con alto contenido de taninos, respectivamente). La menor degradabilidad de la PB en los híbridos altos en taninos puede ser debida a la formación de un complejo indigestible proteína-tanino, lo cual sería el principal factor limitante en la utilización de la proteína (Duodu *et al.*, 2003) y por consiguiente del almidón encapsulado dentro de la misma.

Por otro lado, estudios detallados del efecto de los taninos sobre la distribución de la proteína indicaron que los taninos estuvieron predominantemente asociados con la fracción kafirinas, alterando su solubilidad y digestibilidad (Taylor *et al.*, 2007). Las kafirinas tienen una alta capacidad de unirse a los taninos, disminuyendo aún más su digestibilidad, por lo que los sorgos con alto contenido de taninos y de kafirinas presentarían las menores digestibilidades.

CONCLUSIONES

Existieron variaciones en la calidad nutricional de diferentes híbridos de sorgo. Por lo tanto, un valor estándar de la compo-

Tabla IV. Degradabilidad ruminal de la materia seca, almidón y proteína bruta de los granos de sorgo agrupados de acuerdo al contenido de taninos. (Ruminal dry matter, starch and crude protein degradability of sorghum grains grouped according to different tannin content).

Degradabilidad	Bajo ¹	EEM	Nivel de taninos		Alto ³	EEM
			Medio ²	EEM		
Materia seca (%)	46,8 ^a	1,5	36,4 ^b	1,3	28,8 ^c	1,3
Almidón (%)	48,8 ^a	2,1	30,8 ^b	1,9	27,7 ^b	1,9
Proteína bruta (%)	24,5 ^a	1,0	17,9 ^b	0,9	14,2 ^c	0,9

Letras distintas dentro de una misma fila indican diferencias significativas ($p<0,05$).

¹P8232, P8118, ProINTA Blanco, ProINTA 352. ²ACA 550, MS3, P8586, ProINTA 341, MS2. ³Telén, DA48, A9904, Relámpago 55R, DA49.

EEM: error estándar de la media.

sición química, digestibilidad y nivel de taninos del mismo puede subestimar o sobrestimar el valor alimenticio de un grano en particular. Ninguna de las características físicas de los granos se correlacionó con la degradabilidad de los mismos, por lo que no pudieron ser utilizadas como parámetros para estimar su degradabilidad ruminal. Solo los contenidos de kafirinas y de taninos estuvieron relacionados con la degradabilidad ruminal, siendo la concentración de taninos la variable que explicó un mayor

porcentaje de la variación en la desaparición *in situ* del grano. Los taninos y las kafirinas afectan negativamente la degradabilidad *in situ*, lo cual implica que el valor nutritivo del grano de sorgo es altamente variable y dependiente de las concentraciones presentes de dichas sustancias.

AGRADECIMIENTOS

Parte de este estudio fue financiado por la Fundación YPF Argentina.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabral Filho, S.L.S. 2004. Efeito do tenor de tanino do sorgo sobre a fermentação ruminal e parâmetros nutricionais de ovinos. Tesis Doctoral. Universidad de São Paulo. Brasil. 77 pp.
- Cabral Filho, S.L.S., Abdalla, A.L., Buena, I.C.S., Nozella, E.F. and Rodriguez, J.A.S. 2005. Ruminal fermentation and degradability of sorghum cultivar whole crop, and grains, using an *in vitro* gas production technique. *Anim. Feed Sci. Techn.*, 123-124: 329-339.
- Chandrashekar, A. and Kirleis, A.W. 1988. Influence of protein on starch gelatinization in sorghum. *Cereal Chem.*, 65: 457-462.
- Correa, C.E.S., Shaver, R.D., Pereira, M.N., Lauer, J.G. and Kohn, K. 2002. Relationship between corn vitreousness and ruminal *in situ* starch degradability. *J. Dairy Sci.*, 85: 3008-3012.
- De Dios, C.A., Puig, R.C. y Robutti, J.L. 1992. Tipificación de maíces por algunos caracteres de sus granos. Informe Técnico N° 265. Estación Experimental Agropecuaria. INTA. Pergamino. 12 pp.
- Duodu, K.G., Taylor, J.R.N., Belton, P.S. and Hamaker, B.R. 2003. Factors affecting sorghum protein digestibility. *J. Cereal Sci.*, 38: 117-131.
- Earp, C.F., Akingbala, J.O., Ring, S.H. and Rooney, L.W. 1981. Evaluation of several methods to determine tannins in sorghums with varying kernel characteristics. *Cereal Chem.*, 58: 234-238.
- Hahn, D.H. and Rooney, L.W. 1986. Effect of genotype on tannins and phenols of sorghum. *Cereal Chem.*, 63: 4-8.
- Hamaker, B.R., Mohamed, A.A., Habben, J.E., Huang, C.P. and Larkins, B.A. 1995. Efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamin contents than the conventional methods. *Cereal Chem.*, 72: 583-588.
- Harris, H.B., Cummins, D.G. and Burns, R.E. 1970. Tannins content and digestibility of sorghum grain as influenced by bagging. *Agron. J.*, 62: 633-635.
- Hibberd, C.A., Wagner, D.G., Schemm, R.L., Mitchell, E.D.Jr., Hintz, R.L. and Weibel, D.E. 1982. Nutritive characteristics of different varieties of sorghum and corn grain. *J. Anim. Sci.*, 55: 665-672.
- Hibberd, C.A., Wagner, D.G., Hintz, R.L. and Griffin, D.D. 1985. Effect of sorghum grain variety and reconstitution on site and extent of starch and protein digestion in steers. *J. Anim. Sci.*, 61: 702-712.
- Hinder, R.G. and Eng, K. 1971. Starch availability of various grain sorghums. *J. Anim. Sci.*, 33: 285-286.
- Horneck, A.D. and Miller, R.O. 1998. Determination of total nitrogen in plant tissue. In: Kalra, Y.P. (ed). Handbook of reference methods for plant analysis. Soil and plant analysis. Inc. CRC Press. Florida. USA. 300 pp.
- Jambunathan, R., Kherdekar, M.S. and Stenhouse, J.W. 1992. Sorghum grain hardness and its relationship to mold susceptibility and mold resistance. *J. Agric. Food Chem.*, 40: 1403-1408.
- Lepes, I.T., Miotto, R.N., Cedro, A.V.C. and Rüegg, O.E. 1976. Test de flotación con maíces duros

DEGRADACIÓN RUMINAL EN BOVINOS DEL GRANO DE SORGO

- argentinos. En: Congreso Nacional de Maíz. Pergamino. Buenos Aires. *IDIA*. 32: 287-291.
- Magalhães, P.C., Rodrigues, W.A. and Durães, F.O.M. 2001. Tanino no grão de sorgo. Bases fisiológicas e métodos de determinação. <http://www.cnpms.embrapa.br/circu27.html>. (01/02/03).
- Maxson, E.D., Fryar, L.D., Rooney, L.W. and Krishnaprasad, M.N. 1971. Milling properties of sorghum grain with different proportions of corneous to flourey endosperm. *Cereal Chem.*, 48: 478-490.
- Maxson, E.D. and Rooney, L.W. 1972. Two methods of tannins analysis for *Sorghum bicolor* (L.) Moench grain. *Crop Sci.*, 12: 253.
- Nocek, J.E. and English, J.E. 1986. *In situ* degradation kinetics: evaluation of rate determination procedure. *J. Dairy Sci.*, 69: 77-87.
- O'Brien, L. 1999. Genotype and environment effect on feed grain quality. *Aust. J. Agric. Res.*, 50: 703-719.
- Oria, M.P., Hamaker, B.R., Axtell, J.D. and Huang, C.P. 2000. A highly digestibility sorghum mutant cultivar exhibits a unique folded structure of endosperm protein bodies. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 97: 5065-5070.
- Pedersen, J.F., Milton, T. and Mass, R.A. 2000. A twelve-hour *in vitro* procedure for sorghum grain feed quality assessment. *Crop Sci.*, 40: 204-208.
- Reina, V., Ojeda, A., González, R. y Colmenares, O. 2007. Efecto de la adición de polietilenglicol sobre la degradabilidad *in vitro* de la materia orgánica y contenido de energía metabolizable en granos de once cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor*). *Zootec. Trop.*, 25: 157-165.
- Rooney, L.W. and Pfulgfelder, R.L. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci.*, 63: 1067-1623.
- Salinas, I., Pró, A., Salinas, Y., Sosa, E., Becerris, C.M., Cuca, M., Cervantes, M. and Gallegos, J. 2006. Compositional variation among sorghum hybrids: effect of kafirin concentration on metabolizable energy. *J. Cereal Sci.*, 44: 352-346.
- SAS Institute. 1998. User's guide: Statistics. Versión 6.12. SAS Inst. Inc. Cary. NC. USA.
- Schaffert, R.E., Lechtenberg, V.L., Oswald, D.L., Axtell, J.D., Pickett, R.C. and Rhykerd, C.L. 1974. Effect of tannin on *in vitro* dry matter and protein disappearance in sorghum grain. *Crop Sci.*, 14: 640-643.
- Streeter, M.N., Wagner, D.G., Hibberd, C.A. and Owens, F.N. 1990. The effect of sorghum grain variety on site and extent of digestion in beef heifers. *J. Anim. Sci.*, 68: 1121-1132.
- Sullins, R.D. and Rooney, L.W. 1974. Microscopic evaluation of the digestibility of sorghum lines that differ in endosperm characteristics. *Cereal Chem.*, 51: 134-142.
- Taylor, J., Bean S.R., Ioerger, B.P. and Taylor, J.R.N. 2007. Preferential binding of sorghum tannins with γ -kafirin and the influence of tannin binding on kafirin digestibility and biodegradation. *J. Cereal Sci.*, 46: 22-31.
- Van Barneveld, S.L. 1999. Chemical and physical characteristics of grains related to variability in energy and amino acid availability in ruminants: a review. *Aust. J. Agric. Res.*, 50: 651-666.