

Use of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and other starchy non-conventional sources in ruminant feeding[□]

Uso de la yuca (Manihot esculenta Crantz) y otras fuentes de almidones no convencionales en la alimentación de rumiantes

Utilização da mandioca (Manihot esculenta Crantz) e outras fontes de amido não convencionais na alimentação de ruminantes

María M Knowles^{1*}, Zoot, MSc; Martha L Pabón^{1,2}, Quim, PhD; Juan E Carulla¹, Zoot, PhD.

¹ Grupo de Investigación en Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia.

² Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

(Recibido: 23 marzo, 2011; aceptado: 1 junio 2012)

Summary

This review analyses available information on alternative starchy feeds different from corn available in the tropics, and its use in ruminants. A literature search was conducted regarding cassava (Manihot esculenta Crantz), potato (Solanum tuberosum), plantain (Musa paradisiaca), arracacha (Arracacia xanthorrhiza), yam (Dioscorea sp.), and saka siri (Canna edulis). Available information for most of these resources is limited, except for cassava and potato. However, it can be concluded that these resources are rich in starch but deficient in protein, except for yam and potato which contain protein levels close or even higher than corn. Cassava reports suggest that it can substitute corn in diets for steers and dairy cows without compromising dry matter intake, diet digestibility, weight gain, or milk production, despite its higher ruminal degradation compared to ground corn. However, few studies suggest that under some feeding circumstances substitution of corn with cassava could decrease milk or meat production.

Key words: cassava, milk production, potato, starches in ruminants.

Resumen

Esta revisión analiza la información disponible sobre alimentos alternativos ricos en almidón diferentes al maíz, disponibles en el trópico, y su uso en rumiantes. Se realizó una búsqueda sobre yuca (Manihot esculenta Crantz), papa (Solanum tuberosum), plátano (Musa paradisiaca), arracacha (Arracacia

□ Para citar este artículo: Knowles MM, Pabón ML, Carulla JE. Uso de la Yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y otras fuentes de almidones no convencionales en la alimentación de rumiantes. Rev Colomb Cienc Pecu 2012; 25:488-499.

* Autor para correspondencia: María M Knowles. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Laboratorio de Nutrición Animal; Teléfono, 3165000 19560; E-mail: dlknowlesm@unal.edu.co, m.m.knowles@gmail.com

xanthorrhiza), ñame (*Dioscorea sp.*) y achira o sagú (*Canna edulis*). La información disponible para la mayoría de estos recursos es limitada, con excepción de la yuca y la papa. Sin embargo, se puede concluir que estos recursos son ricos en almidones pero deficientes en proteína, con excepción del ñame y la papa que tienen valores de proteína cercanos o superiores a los del maíz. Los estudios sobre yuca sugieren que se puede sustituir el maíz en raciones para novillos y vacas lactantes sin comprometer el consumo de materia seca, la digestibilidad de la dieta, las ganancias de peso, o la producción de leche, a pesar de que su tasa de degradación ruminal es mayor que la del maíz molido. Sin embargo, unos pocos estudios sugieren que bajo circunstancias alimenticias particulares la sustitución de maíz con yuca podría disminuir la producción de leche o carne.

Palabras clave: almidones en rumiantes, papa, producción de leche, yuca.

Resumo

Esta revisão apresenta informação sobre alimentos de alto conteúdo de amido, diferentes ao milho, disponíveis no trópico e a sua utilização em ruminantes. Foi realizada uma pesquisa de informação sobre mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), batata (*Solanum tuberosum*), banana (banana da terra) (*Musa paradisiaca*), mandioquinha (*Arracacia xanthorrhiza*), inhame (*Dioscorea sp.*) e biri (*Canna edulis*). A informação disponível para a maioria destes recursos é limitada, com exceção da mandioca e da batata. No entanto, pode se concluir que estes recursos são ricos em amido mas deficientes em proteína, com exceção do inhame e da batata que têm valores de proteína aproximados ou superiores aos do milho. Os estudos sugerem que o milho pode se substituir pela mandioca em rações para novilhos e vacas em lactação sem afetar o consumo de matéria seca, a digestibilidade da ração. Os ganhos de peso ou a produção de leite, embora a sua taxa de degradação no rúmem seja maior do que a do milho moído. Porém, alguns estudos indicam que em algumas circunstâncias alimenticias a substituição diminuiria a produção de leite ou carne.

Palavras chave: amido em ruminantes, batata, mandioca, produção de leite.

Introducción

El crecimiento en la producción de etanol ha reducido la cantidad de maíz disponible para la alimentación animal y al mismo tiempo ha incrementado su precio en el mercado. En Colombia algunas raíces, tubérculos y frutos se caracterizan por tener un alto contenido de almidón y podrían considerarse como alternativas para reemplazar al maíz. Dentro de estas fuentes encontramos la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), la papa (*Solanum tuberosum*), el plátano (*Musa paradisiaca*), la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), el ñame (*Dioscorea sp.*), la achira y el sagú (*Canna edulis*) y que podrían ser introducidos en raciones para rumiantes particularmente en épocas de cosecha cuando los precios disminuyen. Los recursos como la achira, el ñame y la arracacha no han sido evaluados en alimentación animal. Para el caso de

rumiantes, la mayoría de estudios han evaluado el uso de la yuca y sus subproductos y se encuentra poca información sobre la papa y el plátano, a pesar que estos dos últimos se usan en situaciones prácticas en regiones productoras. Esta revisión busca hacer un análisis crítico de la información encontrada de estos recursos con énfasis en la yuca y su uso en la alimentación de rumiantes.

Características fisicoquímicas

Proteína cruda

La concentración de proteína cruda (PC) en estos recursos es baja aunque con variaciones considerables entre especies y variedades. La PC en recursos como achira, arracacha, ñame, yuca y plátano es muy baja (1.7-3.9%) mientras que el ñame y la papa presentan mayor valor (6-11%), similar a lo reportado para granos (Tabla 1).

Tabla 1. Composición nutricional de raíces y tubérculos (g/100 g) de materia seca.

Especie	Variedad	MS	Almidón	Fibra	Proteína	Otros
Achira	Raizuda	26.0	76.0	2.6	3.3	9.8
Achira	Roja	31.2	76.0	2.5	3.9	9.1
Arracacha	Amarilla	23.6	76.0	2.9	2.9	7.2
Ñame	Criollo	28.1	79.5	2.5	6.2	9.7
Ñame	Espino	37.3	77.0	1.1	6.8	14.5
Plátano		30.0 ^a	70.0 ^a	7.9 ^a	1.7 ^b	-
Yuca		35 ^c	87.8 ^d	3.6 ^e	3.2 ^c	6.8
Papa		25	66.2 ^f	2.4 ^f	10.5 ^f	

Adaptado de Corpoica, (2003); ^a Flores *et al.* (2004), ^b Bello *et al.* (2002), ^c CIAT, (2001), ^d Vearsilp y Mikled, (2001), ^e Olugbemi *et al.* (2010), ^f Eriksson y Murphy (2004).

Almidón

La concentración de almidón en materia seca (MS) de estas fuentes es comparable con la de los granos de cereales. Huntington *et al.* (2006) reportaron que los cereales contienen entre 57 a 77% de almidón.

En el caso de los tubérculos se han encontrado concentraciones entre 66 y 80.0% para la papa (Eriksson y Murphy, 2004), para la yuca entre 72.9 y 87.9% (Zinn y DePeters, 1991), para el ñame criollo de 79.5%, el ñame espino de 77% y para la arracacha y la achira de 76% (Corpoica, 2003).

En los frutos, el plátano alcanza contenidos de hasta el 70% de la MS (Thomas y Atwell, 1999; Bello *et al.*, 1999) y de acuerdo Flores *et al.* (2004) entre 67 y 74%, variaciones que pueden explicarse por el grado de madurez de los frutos. En frutos maduros disminuye la concentración de almidón y aumenta la de azúcares simples (Offem y Thomas, 1993) aunque el contenido total de carbohidratos no estructurales (CNE) es similar independientemente de la madurez (Arcila *et al.*, 2002).

Igual que en cereales, la mayor proporción de almidón corresponde a amilopectina mientras que la menor a amilosa. Los almidones de yuca muestran un contenido de amilosa que varía de 14 a 19% (Hoover y Ratnayake, 2002), los de papa entre el 2

y el 22% (Hoover, 2001), en ñame entre el 27 y el 29% (Hoover y Ratnayake, 2002; Alvis *et al.*, 2008) y en la achira del 27-29% (Villacrés y Espin, 1999). Datos reportados por Bello *et al.* (2002) indican que el almidón de plátano contiene 37% de amilosa lo cual coincide con el valor reportado (36.39%) por Rivas *et al.* (2008). Las diferencias en los tipos de almidones amilosa vs amilopectina podrían tener implicaciones prácticas en las tasas de degradación a nivel ruminal o en la digestión a nivel intestinal ya que las tasas de degradación de la amilopectina normalmente son mayores que las de amilosa (Noguera *et al.*, 2006; Mungoi, 2007).

Fibra

La concentración de fibra en las raíces, tubérculos y frutos tropicales ricos en almidones es baja y comparable con los cereales. Corpoica (2003) encontró niveles bajos de fibra en la achira (2.6%), la arracacha y el ñame criollo (2.9%) y el ñame espino (1.1%). De acuerdo con Maldonado y Pacheco, (2000) la harina de plátano verde tiene 9.0% fibra y en harinas comerciales de banano y plátano se reporta un contenido de fibra dietaria de entre 7.9 y 8.6% (Flores *et al.*, 2004). Para la papa, Eriksson y Murphy, (2004) reportan un valor de fibra en detergente neutro (FDN) de 4.6% mientras que Noblet *et al.* (1990) y Domínguez, (1990) reportan 6.9% de FDN. Para la yuca se han reportado valores de FDN de 12.3% (Chumpawadee *et al.*, 2007) y 19.2% (Suksombat *et al.*, 2006)

Factores antinutricionales

En los recursos yuca y papa existen factores antinutricionales que podrían limitar su uso en raciones para rumiantes. La planta de yuca produce dos glucósidos cianogénicos (HCN): linamarina y latoaustralina, presentes en mayor proporción en la cáscara (Cardoso *et al.*, 2005). El contenido de HCN en la yuca varía en función de factores como edad de la planta, variedad, etapa de crecimiento y parte de la planta. Los valores promedio de estos compuestos se encuentran entre 568-950 mg/kg en la cáscara y 2.200 mg/kg en la pulpa de la raíz (Devendra, 1977). Se desconocen los niveles de HCN que causan toxicidad en los rumiantes y se ha indicado que niveles por debajo de 50 mg/kg son inofensivos, aunque se le han atribuido disminuciones en el

rendimiento (Devendra, 1977), alteraciones en el crecimiento y muerte neonatal (Fatufe *et al.*, 2007).

Las recomendaciones para disminuir la posible toxicidad coinciden en la importancia del secado del tubérculo al sol por un tiempo no menor a tres días (Kanjanapruthipong, 1998). La papa contiene glicoalcaloides, principalmente solanina y chaconina presentes en todas las partes de la planta incluyendo las raíces (Lewis y Liljegren, 1970). Las concentraciones varían de acuerdo a la genética y la variedad de la planta. Sin embargo, factores como tipo de suelo, fertilización, luminosidad, clima, estado de madurez, entre otros, modifican de forma importante los niveles de glicoalcaloides (Russell y McQueen, 1981). Bushway *et al.* (1983) reporta que las concentraciones son tres a 10 veces mayores en la cáscara (3 a 100 mg/100 g) que en el tubérculo (0.10 y 4.5 mg/100 g). Las investigaciones sugieren pocos casos de intoxicación o envenenamiento de rumiantes por efecto de la solanina (Russell y McQueen, 1981; Bushway *et al.*, 1983). Sin embargo, se ha reportado un efecto teratogénico de estos compuestos en el desarrollo embrionario (Brown y Keeler, 1978).

La revisión de la información sobre la composición bromatológica de raíces, tubérculos y frutos tropicales sugiere que la mayoría son ricos en almidón, bajos en fibra, PC y extracto etéreo con variaciones entre especies. En general los niveles de PC y extracto etéreo son menores que en cereales y la humedad es mayor. Esta última característica restringe su uso por limitaciones en la conservación a largo plazo, ventaja clara de los cereales que poseen altos contenidos de MS. Las estrategias para superar esta limitante (secado, ensilado) normalmente implican costos adicionales en el uso de estos recursos.

Fermentación y digestión de almidones de papa y yuca en los rumiantes

El tipo y la variedad de la raíz o tubérculo parecen tener influencia sobre las tasas de degradación, el sitio de digestión y el tipo de sustratos absorbidos. Las tasas de degradación de la yuca son mayores que las de la papa cruda, pero

en general muy inferiores a las de cereales como el trigo y la cebada y cercanas a la del maíz molido (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación entre tasas de degradación (kd) de almidón en varios estudios y las fracciones a y b.

Estudio	a	b	Kd(%/h)
<i>Offner et al.</i> (2003)			
Maíz	0.236	0.607	0.059
Trigo	0.604	0.954	0.329
Yuca	0.695	0.906	0.139
Papa	0.425	0.827	0.091
Cebada	0.515	0.937	0.350
Sorgo	0.277	0.668	0.024
<i>Wang et al.</i> (2009)			
Maíz	0.400	0.509	0.020
Trigo	0.762	0.220	0.320
Yuca	0.025	0.225	0.090
Papa	0.277	0.207	0.050
<i>Yu. P y Racz V.</i> (2009)			
Trigo	0.142	0.859	0.324
<i>Tóthi et al.</i> (2008)			
Cebada Peletizada	0.570	0.430	0.206
Maíz peletizado	0.396	0.604	0.048
<i>Tothi et al.</i> (2003)			
Maíz	0.230	0.770	0.050
Cebada	0.490	0.550	0.450
<i>Sveinbjornsson et al.</i> (2007)			
Papa cruda	nd	nd	0.038
Papa cocida	nd	nd	0.197
Cebada	nd	nd	0.112
Trigo	nd	nd	0.101
<i>Szasz et al.</i> (2005)			
Papa pasteurizada	0.343	0.657	0.140
Papa	23.7	73.3	0.142
<i>Simas et al.</i> (2008)			
Maíz molido	0.293	0.734	0.007
Raspadura de yuca	0.521	0.487	0.022

Mouro *et al.* (2002) reemplazaron maíz molido por subproductos de la yuca en cabras lactantes y encontraron un incremento gradual en las tasas de degradación al sustituir yuca por maíz. Dian *et al.* (2008), sustituyó el maíz por yuca encontrando una degradabilidad efectiva mayor para las dietas con yuca donde la fracción a (soluble en el rumen) de

la MS incrementó y las tasas de degradación fueron mayores. Estos resultados son coherentes con otros estudios en los que se han encontrado mayores tasas de degradación de la MS para la yuca que para el maíz (Tabla 2). Esto puede ser debido a factores como la matriz proteica que rodea los gránulos de almidón, en el maíz este vínculo entre proteína y almidón es muy fuerte y la velocidad de digestión del almidón está inversamente relacionado con esta relación.

Se ha sugerido que los CNE de la papa tienen una degradación más lenta que los de otros recursos (Weisbjerg *et al.*, 1998). Szasz *et al.* (2005) encontraron tasas de degradación de almidón similares entre papa pasteurizada (0.14%/h) y papa cruda (0.142%/h). Eriksson y Murphy, (2004) reportaron un mayor aporte de energía a nivel ruminal de la papa cocida que de la papa cruda. Sveinbjornsson *et al.* (2007) encontraron que la degradación del almidón de la papa cruda después de ocho horas de incubación en un sistema *in vitro* fue muy inferior (15.5%) a la cocida (87%) o al maíz molido (35%).

Existen pocos estudios donde se haya medido la producción microbiana asociada a las diferentes tasas de degradación de papa o yuca. Eriksson y Murphy, (2004) incluyeron papas cocidas y congeladas concluyendo que la papa cocinada tiene mayor potencial como suministro de energía para la síntesis y el crecimiento microbiano que la papa cruda o algunos cereales. Jurjanz *et al.* (1998) sugieren que los residuos industriales de la papa ricos en almidones se degradan más lentamente en el rumen lo cual puede traer beneficios en su inclusión en dietas para vacas lecheras particularmente en la grasa láctea.

La degradación de la papa cruda es más lenta que la de otras fuentes de almidones incluyendo la yuca y papa cocida. Sin embargo, los estudios en los cuales se compararon estos recursos con el maíz sugerirían que ambos tienen tasas de degradación superiores al maíz molido. Esto implicaría que la yuca o la papa cocida proporcionan una mayor energía para la fermentación microbiana que la papa cruda o el maíz. Consecuentemente, el aporte de almidones para la digestión en el intestino delgado y

grueso sería menor para la yuca y sus derivados que para la papa cruda o el maíz.

Lugar de digestión

Aunque se encuentra una gran variación en las tasas de degradación y por lo tanto en la proporción del almidón fermentado en el rumen dependiendo de la fuente, se sugiere que ésta normalmente se compensa con la digestión en el intestino delgado e intestino grueso, resultando en muy poca variación en la digestibilidad total (Nocek y Tamminga, 1991). Sin embargo, se considera que el principal lugar de fermentación es el rumen tanto para granos (Nocek y Tamminga, 1991) como para tubérculos y raíces (Vearsilp y Mikled, 2001).

Existen pocos trabajos donde se determine el lugar de digestión de los recursos considerados en esta revisión. Vearsilp y Mikled, (2001) observaron que el almidón de yuca fue completamente digerido en el tracto gastrointestinal y la digestibilidad total del almidón (99%) fue ligeramente superior a la del maíz (92%) y el sorgo (90.8%). En estos dos últimos, la digestión ruminal fue inferior 56.0% y 75.2% para maíz y sorgo, respectivamente. Mueller *et al.* (1978) reportó que la digestibilidad del almidón de yuca en el rumen era relativamente elevada en comparación con diferentes cereales (trigo, sorgo, cebada), aspecto relacionado con la alta tasa de degradación ruminal del almidón en este recurso.

Uso yuca en la alimentación de rumiantes

La información existente en el uso de tubérculos o raíces en la alimentación de rumiantes no es tan abundante como la de granos de cereales y la mayoría hace referencia a sustitución de algún grano, particularmente maíz, por yuca o papa en la ración de animales en crecimiento o lactantes.

Efecto sobre el consumo

La mayoría de estudios revisados sugieren que la sustitución de maíz por yuca no modifica los consumos de materia seca (CMS) de animales en crecimiento (Prado *et al.*, 2000; Marques *et al.*, 2005), en ceba (Zeoula *et al.*, 2002; Dos Santos,

et al., 2006) o en lactancia (Chanjula *et al.*, 2004; Pimentel *et al.* 2006; Simas *et al.*, 2008). Sin embargo, en dos estudios se reportan disminuciones debidas a la sustitución de maíz por yuca en el alimento y uno al sustituir sorgo por yuca. El primero de estos estudios es el de Marques *et al.* (2000) con novillas de 24 meses alimentadas con cuatro raciones basadas en maíz y soya, con distintos niveles de sustitución del maíz por cáscara de yuca, harina de yuca (barreduras) o raspa de yuca.

El segundo es el trabajo de Dian *et al.* (2010) realizado con novillos de 18 meses a los cuales se les sustituyó el maíz por yuca. Por último, el trabajo de Tudor *et al.* (1985) donde la yuca sustituyó al sorgo en dietas altas en grano (90%) en novillos en ceba. Los tres estudios con animales en confinamiento. Las disminuciones podrían estar asociadas a los menores niveles de PC de la yuca ya que se ha demostrado que dietas con niveles de PC inferiores a 7% restringen el consumo voluntario (CV) en rumiantes (Van Soest, 1994).

Otro aspecto que regula el CV es la concentración ruminal de ácidos grasos volátiles (AGV) (Van Soest, 1994). Varios estudios sugieren que las concentraciones de AGV son mayores en las dietas con yuca que en las dietas de maíz (Chanjula *et al.*, 2007), lo que sería coherente con las mayores tasas de degradación de la yuca (Dian *et al.*, 2008; Simas *et al.*, 2008). La disminución de carácter lineal del CV en el estudio de Dian *et al.* (2010) podría explicarse por mayores concentraciones de AGV en el rumen cuando aumentaron los niveles de yuca, desafortunadamente, los AGV no fueron medidos en este estudio. Sin embargo, el estudio de Tudor *et al.* (1985) hace referencia a una mayor proporción de butírico para las dietas con yuca y cambios en el patrón de consumo, como aumento en la frecuencia de ingesta y disminución el tamaño de cada ingesta. El rol del butirato en el control del consumo no es evidente por lo cual no podría explicar diferencias.

Allen, (2000) sugiere que al aumentar la proporción de almidones fermentables en el rumen se disminuye el consumo en vacas lecheras, hecho que explica las disminuciones encontradas en algunos experimentos, debido a la mayor

proporción de almidón degradable en el rumen de la yuca comparativamente con el maíz y el sorgo, pero no explicaría porque en otros estudios no se presentaron estos efectos negativos en el CMS al incluir la yuca.

Es interesante observar que las disminuciones en el CV debido a la yuca se presentaron en los ensayos donde el maíz o el sorgo constituían la mayor parte de la dieta y los animales estaban en confinamiento, lo cual podría sugerir que bajo estas circunstancias las mayores tasas de degradación del almidón de la yuca (Offner *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2009) y una mayor inclusión, podrían generar una mayor concentración de AGV (Chanjula *et al.*, 2007).

Los pocos estudios en pastoreo, sugieren que la inclusión de la yuca aumenta el CMS o bien no lo disminuye frente a animales consumiendo sólo forrajes o pastura (Chicco *et al.*, 1971). Esta respuesta no es diferente a lo observado con la suplementación de granos en pastoreo donde el CMS total (forraje y suplemento) no cambia o aumenta (Carey *et al.*, 1993; Kolver *et al.*, 1998).

Efecto sobre la digestibilidad de los nutrientes

La mayoría de estudios sugieren que la sustitución de maíz por yuca en rumiantes mantiene o mejora la digestibilidad de la MS, FDN o de la PC (Pimentel *et al.*, 2006; Dos Santos *et al.*, 2006; Simas *et al.*, 2008). Por ejemplo Hahn *et al.* (1988) investigaron inclusiones de 0, 200 ó 450 g/kg de harina de yuca (exp 1) y 0 y 750 g/kg (exp 2) y no encontraron efecto sobre la digestibilidad *in vivo* de la MS. Tudor *et al.* (1985) al reemplazar el sorgo por 68 y 78% de yuca encontraron que la digestibilidad no fue modificada. Pimentel *et al.* (2006) evaluaron sustituciones de maíz por yuca (0, 25, 50, 75 y 100%) en vacas Holstein encontrando digestibilidades similares.

Dos Santos *et al.* (2006), al reemplazar maíz por yuca en el rango de 0 a 100% en dietas para toros de ceba, tampoco encontraron efectos sobre la digestibilidad total de la dieta o la digestibilidad de nutrientes, con excepción de la digestibilidad de carbohidratos totales que mejoró con la inclusión

de yuca. Otros estudios también han reportado aumentos en la digestibilidad como Chicco *et al.* (1971) en ensayos con ovejas sustituyendo maíz por yuca o Mouro *et al.* (2002) quienes reportaron mejorías en la digestión del almidón al sustituir maíz por barredura de yuca en cabras o Prado *et al.* (2000), quienes sustituyeron el maíz (33.65% de la MS) por cáscara de yuca (31.85%) en novillas y encontraron que los coeficientes de digestibilidad de la MS, FDN y almidón fueron superiores para la dieta con yuca. Solamente se encontró un trabajo donde al sustituir yuca por maíz se disminuyó la digestibilidad de la MS y FDA en novillos en condiciones de confinamiento (Zinn y Depeters, 1991) y un trabajo donde al adicionar yuca a una dieta basada en pasto seco disminuyó la degradabilidad de la fibra (Ahmed, 1977).

Las mayores digestibilidades encontradas en algunos estudios podrían explicarse por las mayores tasas de degradación del almidón de yuca comparadas con las de maíz o el sorgo (Offner *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2009). Las diferencias presentadas en el trabajo de Zinn y Depeters, (1991) podrían estar asociadas a que en este estudio la yuca sustituyó a maíz en hojuelas al vapor y este proceso aumenta las tasas de degradación comparativamente con maíz molido (Wu y Huber, 1994). Se ha reportado un efecto negativo del uso de granos sobre la digestión de la fibra de forrajes de baja calidad (Carey *et al.*, 1993) lo cual realzaría la importancia de mantener niveles adecuados de nitrógeno en caso de uso de dietas con forrajes de baja calidad.

Basados en las revisiones se podría concluir que la sustitución de granos de cereales por yuca en rumiantes no tiene efectos negativos sobre la digestibilidad de los nutrientes. Es más, podría ejercer en algunos casos un efecto positivo. Estas conclusiones pueden ser extrapolables solo al maíz y al sorgo, ya que no se encontraron trabajos donde la yuca sustituya otros cereales que tengan mayores tasas de degradación como son el trigo o la cebada.

Efecto sobre la producción y la calidad de la leche

La bondad de incluir o no yuca en la alimentación de la vaca lechera no es clara. Mientras varios estudios sugieren efectos positivos o no adversos (Mendoza *et al.*, 1986; Wanapat, 2001; Chanjula *et al.*, 2004) otros trabajos muestran efectos negativos (Cardoso *et al.*, 1968; Pimentel *et al.*, 2006).

Assia (1962), reportó que en vacas Holstein bajo pastoreo, la suplementación con yuca incrementó la producción de leche en 19.5% (Tabla 3). Brigstocke *et al.* (1981) estudiaron el efecto de la sustitución de la cebada por yuca, hasta un nivel de 400 g/kg del concentrado de vacas lecheras y encontraron un aumento en la producción sin una reducción en la concentración de grasa. Hahn *et al.* (1988) no encontraron diferencias en la producción, en el contenido de grasa en la leche o en el PV de las vacas. Mendoza *et al.* (1986) evaluaron el efecto de la sustitución del sorgo por yuca (0, 50 y 100% de yuca en los suplementos) en vacas Holstein y reportaron que la producción y la composición de la leche fueron similares.

El ensayo de Wanapat, (2001) probó cuatro niveles de yuca sustituyendo el maíz en la ración (135, 270, 405 y 540 g/kg) en dietas isoprotéicas e isoenergéticas, en este ensayo el nivel máximo de producción de leche fue con la dieta de 270 g/kg de yuca con indicios de una respuesta curvilínea con niveles intermedios. El trabajo de Chanjula *et al.* (2004) con vacas estabuladas (75% Holstein) evaluó el efecto de cuatro dietas basadas en harina de maíz molido o chips de yuca 55 o 75% de la MS. En este estudio no se encontró efecto de la fuente o el nivel sobre producción y composición de la leche. Sin embargo, los porcentajes de grasa en la leche fueron más altos en las dietas basadas en hojuelas de yuca que en las dietas a base de harina de maíz (4.4 y 4.2%, respectivamente).

Tabla 3. Respuesta de los rumiantes a la alimentación con el tubérculo de yuca.

Especie de rumiante	Dieta Basal	Rol y nivel de yuca en la ración	Respuesta	Referencia
Holstein	Pastoreo	Yuca como suplemento energético	Mayor producción de leche	Assia, (1962)
Toros	Suplemento base de maíz	Sustitución total del maíz	Tasas de crecimiento similares	Lhoste, (1973)
Ovejas	Heno de pangola + suplemento	Sustitución del maíz (20%)	Mejoró digestibilidad, ganancia de peso.	Chicco <i>et al.</i> (1971)
Toros	Forraje seco	Suplemento base de yuca a 21 y 42% de la dieta	CMS similar, menor digestibilidad de la fibra	Ahmed, (1977)
Novillos, ceba confinados.	Hojuelas al vapor de maíz	Sustitución 0, 15 o 30% de la MS de la dieta.	El nivel de 30% menor CMS, 15% mayor.	Zinn y DePeters, (1991)
Novillos Holstein canulados	Dieta a base de Maíz hojuelas al vapor (67.26%)	Sustitución total (67.26)	CMS similares. Menor DMS y FDA. Mayor acetato	Zinn y DePeters, (1991)
Terneros crecimiento-ceba	Heno de veza + harina de soya	Sustitución del 50% heno de veza	Igual rendimiento, Mayor CMS	Holzer <i>et al.</i> (1997)
Novillas mestizas, confinadas.	Concentrado base maíz 44.3%	Sustitución total (43%)	Menores CMS y ganancias de peso	Marques <i>et al.</i> (2000)
Novillas cruces, confinados.	Concentrado base maíz (33.65%) + Levadura (16.35%)	Sustitución por cáscara +levadura (18.15%)	Igual CMS, PV, digestibilidad de la MS, EB, FDN y almidón y conversión alimenticia.	Prado <i>et al.</i> (2000)
Holstein. multiparas. confinadas	Suplemento base en maíz 55 y 75%. 17% PC	Sustitución total 55 y 75%. 17% PC	Igual CMS, pH, N-NH3 y NUL 6 horas post alimentación. Igual digestibilidad de la MS, PC, FDN y FDA Producción y composición de leche similar	Chanjula <i>et al.</i> (2004)
Novillas Angus *Nelore. confinadas	Concentrado con base de maíz	Sustitución del 50% del maíz	Similar CMS, ganancia de peso y conversión alimenticia.	Marques <i>et al.</i> (2005)
Holstein lactantes confinadas	Concentrado base maíz, 23.06%	Sustituciones por raspadura 0, 25, 50, 75 y 100%	Igual CMS y digestibilidad aparente. Reducción lineal en la producción de y grasa en leche.	Pimentel <i>et al.</i> (2006)
Toros cruces ceba confinados.	Concentrado base de maíz	Sustituciones por harina, 25, 50, 75 y 100%	Igual CMS y coeficientes de digestibilidad	Dos Santos <i>et al.</i> (2006)
Holstein canuladas rumen y duodeno	Suplemento con 35.6% de maíz molido	Sustitución total por 35.6% de raspa	Igual CMS, pH y AGV. Mayor degradación ruminal del almidón y fracción a.	Simas <i>et al.</i> (2008)
Toros cruzados confinados,	Suplemento Maíz 44.5 %	Sustituciones parciales (0, 12.5, 22.8 y 37.2%)	Menor CMS para sustitución del 37.2%. Igual ganancia de peso y calidad de la canal.	Dian <i>et al.</i> (2010)

Cardoso *et al.* (1968) reemplazaron maíz por yuca en el suplemento (41.5%) de vacas Holstein y Cebú y reportaron una disminución en la producción de leche con la dieta a base de yuca. En el estudio de Pimentel *et al.* (2006) realizado con vacas Holstein estabuladas y alimentadas con una dieta a base de palma forrajera y ensilaje de sorgo se sustituyó el maíz (23.06%) por ralladura de yuca (0, 25, 50, 75 y 100%) y se encontró que la producción de leche y la grasa disminuyeron linealmente al aumentar la ralladura de yuca.

La mayoría de estudios revisados sugieren que la yuca y sus subproductos (ralladura y bagazo)

pueden sustituir el maíz en las raciones de vacas lecheras sin efectos adversos. La ausencia de respuesta a la suplementación (Estima, 1967) o una respuesta negativa (Cardoso *et al.*, 1968) al uso del tubérculo en animales en pastoreo fueron atribuidos a una disminución en los niveles de proteína de la ración que limitó el uso de nutrientes y el consumo. Por su parte, Pimentel *et al.* (2006) atribuyen los efectos negativos de la sustitución maíz por ralladura de yuca a las mayores tasas de degradación del almidón de este subproducto, sugiriendo, ventajas para el maíz que aportaría una mayor cantidad de almidón al intestino. Sin embargo, no aportan evidencia de

ello. Adicionalmente, Nocek y Tamminga, (1991) reportaron que los estudios realizados hasta esa fecha no evidenciaban que el sitio de digestión del almidón tenga efecto sobre el aumento en la producción de leche o genere cambios en su composición sugiriendo que no hay beneficios grandes o pequeños en la digestión post ruminal del almidón.

Efectos sobre las ganancias de peso y calidad de la carne

En ganado de carne se han encontrado resultados positivos y negativos al introducir el tubérculo de yuca en los suplementos alimenticios. Johnson *et al.* (1968) al comparar dietas basadas en afrecho de trigo, yuca, maíz y afrecho de maíz con una mezcla de concentrado comercial en terneros Cebú, encontraron que los animales suplementados con la dieta a base de yuca mostraron ganancias de peso superiores a los animales suplementados con otras dietas.

Lhoste (1973), sustituyó maíz del suplemento por yuca enriquecida con un 2% de urea en la dieta de toros y encontró que las ganancias de peso fueron similares. Zinn y Depeters (1991), sustituyeron el maíz (15 ó 30%) por hojuelas de yuca en dietas para novillos en confinamiento y reportaron ganancias de peso y características de la canal similares. Prado *et al.* (2000) sustituyeron el maíz (33.65% de la MS) por cáscara de yuca (31.85%) en la dieta de novillas confinadas y reportaron ganancias de peso y conversión alimenticia similares. Marques *et al.* (2005) sustituyeron el 60% del maíz (28.8%) de la dieta por bagazo de yuca en dietas para novillas en ceba. Las ganancias de peso y las características de la canal no fueron diferentes entre los tratamientos.

Dian *et al.* (2010) tampoco encontraron diferencias en la ganancia diaria de toros, así como el peso y la calidad de la canal, al sustituir el maíz de la ración (43%) por yuca (0, 28.1, 50 y 72%) en la ración. Sin embargo, Tudor *et al.* (1985) al reemplazar el sorgo del suplemento alimenticio por 68% y 78% de tubérculo de yuca encontró una disminución en el consumo de materia orgánica y reducción en la tasa de crecimiento de los novillos

aunque la digestibilidad no se modificó. El peso de la canal no difirió entre tratamientos por lo cual la conversión alimenticia relacionada a la canal fue mejor para el grupo de yuca. Marques *et al.* (2000) reportaron que la sustitución total del maíz (43% de la dieta) por bagazo de yuca en novillas confinadas disminuyó el CMS y la ganancia de peso. La mayoría de estudios sugerirían que la sustitución de maíz por yuca no tiene efectos negativos sobre las ganancias de peso o rendimientos en canal.

La información sobre el uso de tubérculos, raíces y frutos tropicales ricos en almidones en la alimentación de rumiantes es limitada. La mayoría de la información diferente a su composición nutricional se deriva de estudios en la yuca y en menor proporción de la papa. La mayoría de estos recursos son ricos en almidones pero son deficientes en proteína con excepción del ñame y la papa que tienen valores de proteína cercanos a los del maíz. Los estudios sobre yuca sugieren que puede sustituir el maíz en raciones para novillos y vacas lactantes sin comprometer el CMS o la digestibilidad de la dieta a pesar de que su tasa de degradación ruminal es mayor que la del maíz molido. Esto sugeriría que también podría sustituir el maíz sin comprometer las ganancias de peso o la producción de leche como lo demuestran la mayoría de estudios. Sin embargo, algunos estudios sugieren que podrían presentarse efectos negativos (menor producción de leche o ganancias de peso). La literatura no es clara en sugerir el mecanismo por el cual bajo ciertas características de las dietas se presentan estos efectos negativos, pero aparentemente podrían estar relacionados con el nivel de inclusión de maíz y por tanto de yuca en la ración.

Referencias

- Ahmed FA. Feeding cassava to cattle as an energy supplement to dried grass. *East Afr Agric For J* 1977; 42:368-372.
- Allen MS. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *J Dairy Sci* 2000; 83:1598-1624.
- Alvis A, Vélez C, Villada HS, Mendoza M. Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Inf Tecnol* 2008; 19:19-28.
- Arcila P, Giraldo G, Celis F, Duarte J. Cambios físicos y químicos durante la maduración del plátano dominico-

- hartón (*Musa* AAB Simmonds) en la región cafetera central colombiana. Memoria XV reunión Cartagena de Indias. Asociación de bananeros de Colombia AUGURA. 2002. p.455-463.
- Assia F. Efeitos da administração de raízes e tubérculos, como suplemento de inverno, na alimentação de vacas em lactação. Bol Indust Anim 1962; 20:55-6.
- Bello LA, Agama E, Sánchez L, Paredes O. Isolation and partial characterization of banana starches. J Agric Food Chem 1999; 47:854-857.
- Bello LA, Contreras SM, Romero MR, Solorza FJ, Jiménez AA. Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (Var. Macho). Agrociencia 2002; 36:169-180.
- Brigstocke TA, Cuthbert WS, Thickett WS, Lindeman MA, Wilson PN. A comparison of a dairy cow compound feed with and without cassava given with grass silage. Anim Prod 1981; 33:19-24.
- Brown D, Keeler RF. Structure-activity relation of steroid teratogens. I. Jervine ring system. J Agric Food Chem 1978; 26:561-563.
- Bushway RJ, Bureau JL, McGann DF. Alpha-chaconine and alpha-solanine content of potato peels and potato peel products. J Food Sci 1983; 48:84-86.
- Cardoso AP, Mirione E, Ernesto M, Massaza F, Cliff J, Haque MR, Bradbury HJ. Processing of cassava roots to remove cyanogens. J Food Compos Anal 2005; 18:451-460.
- Cardoso RM, Campos J, Hill DH, de Silva Coelho JF. Efeito de substituição gradativa do milho pela vasa de mandioca, na produção de leite. Rev Ceres 1968; 14:308-330.
- Carey DA, Caton JS, Biondini M. Influence of Energy Source on Forage Intake, Digestibility, In Situ Forage Degradation, and Ruminant Fermentation in Beef Steers Fed Medium-Quality Brome Hay. J Anim Sci 1993; 71:2260-2269.
- Chanjula P, Ngampongsai W, Wanapat M. Effects of Replacing Ground Corn with Cassava Chip in Concentrate on Feed Intake, Nutrient Utilization, Rumen Fermentation Characteristics and Microbial Populations in Goats. Asian Aust J Anim Sci 2007; 20:1557-1566.
- Chanjula P, Wanapat M, Wachirapakorn C, Rowlinson P. Effect of synchronizing starch sources and protein (NPN) in the rumen on feed intake, rumen microbial fermentation, nutrient utilization and performance of lactating dairy cows. Asian Aust J Anim Sci 2004; 17:1400-1410.
- Chicco CF, Carnevalia A, Shultz TA, Shultz E, Ammerman CB. Yuca y melaza en la utilización de la urea en corderos. Memorias. Assoc Latin Prod Anim 1971; 6:7-17.
- Chumpawadee S, Chantiratikul A, Chantiratikul P. Chemical Compositions and Nutritional Evaluation of Energy Feeds For Ruminant Using *In vitro* Gas Production Technique. Pak J Nut 2007; 6:607-612.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Informe del Laboratorio de Servicios Analíticos. Cali, Colombia; 2001. p.5.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. La achira alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina. Unidad Local Huila; 2003.
- Devendra, C. Cassava as a feed source for ruminants. In: Nestlé B and Graham II, editors. Cassava as Animal Feed. Ottawa: Raven Press; 1977. p.107-119.
- Dian HM, Prado IN, Velandia VM, Pizzi RP, Prado PM, Rodríguez SR, Abaker LM. Levels of replacing corn by cassava starch on performance and carcass characteristics of bulls finished in feedlot. Semina Ciências Agrárias 2010; 31:497-506.
- Dian PH, Prado IN, Geron LJ, Lobo Júnior AR, Zeoula LM, Scomparin VX, Moreira FB. Apparent digestibility and *in situ* degradability of diets with cassava by-products fed to beef bulls digestibilidade aparente e degradabilidade *in situ* de dietas com resíduos da mandioca para bovinos de corte. Arch Zootec 2008; 57:373-376.
- Domínguez PL. Sistema de alimentación porcina con desperdicios procesados y otros subproductos agroindustriales. Taller Regional sobre Utilización de los Recursos Alimentarios en la Producción Porcina en América Latina y el Caribe FAO: Instituto de Investigaciones Porcinas, Habana, Cuba; 1990.
- Dos Santos JJ, Prado IN, Perotto D, Zeoula LM, Cogo JA, Bernardo SM. Digestibilidade de dietas contendo resíduo úmido de mandioca em substituição ao milho para tourinhos em terminação. R Bras Zootec 2006; 35:1447-1453.
- Eriksson T, Murphy M. Ruminant digestion of leguminous forage, potatoes and fodder beets in batch culture: I. Fermentation pattern. Anim Feed Sci Technol 2004; 111:73-88.
- Estima AL. Melaco, mandioca e farelo de algodão como suplementos para o olho de cana fresco ou ensilado. Pesqui Agropecu Bras 1967; 2:411-420.
- Fatufe AA, Akanbi IO, Saba GA, Olowofeso O, Tewe OO. Growth performance and nutrient digestibility of growing pigs fed a mixture of palm kernel meal and cassava peel meal. Livestock Research for Rural Development 2007; volume 19, Article #180, [Fecha de acceso: Febrero 24, 2011] URL: <http://www.lrrd.org/lrrd19/12/fatu19180.htm>.
- Flores E, García FJ, Flores E, Núñez MC, González RA, Bello LA. Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. Acta Cient Venez 2004; 55:86-90.
- Hahn SK, Reynolds L, Egbunike GN. In: International Institute of Tropical Agriculture Ibadan, Nigeria International Livestock Centre for Africa Addis, editors. Cassava as livestock feed in Africa. Ababa, Ethiopia: 1988. p.14-18.
- Holzer Z, Aharoni Y, Lubimov V, Brosh A. The feasibility of replacement of grain by tapioca in diets for growing-fattening cattle. Anim Feed Sci Technol 1997; 64:133-142.

- Hoover R, Ratnayake W. Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. *Food Chem* 2002; 78:489-498.
- Hoover R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydr Polym* 2001; 45:253-267.
- Huntington GB, Harmon DL, Richards CJ. Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in Growing cattle. *J Anim Sci* 2006; 84:E14-E24.
- Johnson PT, Rose CJ, Mills WR. Nutritional studies with early weaned beef calves. *Rhod J Agric Res* 1968; 6:5-11.
- Jurjanz S, Colin-Schoellen O, Gardeur JN, Laurent F. Alteration of Milk Fat by Variation in the Source and Amount of Starch in a Total Mixed Diet Fed to Dairy Cows. *J Dairy Sci* 1998; 81:2924-2933.
- Kanjanapruthipong J. The use of cassava in cattle feeding. Instituto para el Desarrollo de la Yuca en Tailandia. Departamento de Producción Animal. Facultad de Agricultura. Universidad de Kasertsart. Tailandia;1998.
- Kolver E, Muller LD, Varga GA, Cassidy TJ. Synchronization of Ruminant Degradation of Supplemental Carbohydrate with Pasture Nitrogen in Lactating Dairy Cows. *J Dairy Sci* 1998; 81:2017-2028.
- Lhoste PH. Embouche de taurillons: essai de substitution du maïs par du manioc enrichi en urée. Actes du colloque L'embouche intensive des bovins en pays tropicaux, Dakar Senegal; 1973. p.79-81.
- Maldonado R, Pacheco E. Elaboración de galletas con una mezcla de harina de trigo y plátano verde. *Arch Latinoam Nut* 2000; 50:387-393.
- Marques JA, Maggioni D, Silva RE, Prado IN, Cavalier FL, Caldas NF, Zawadzki F. Partial replacement of corn by cassava starch byproduct on performance and carcass characteristics of feedlot heifers. *Arch Latinoam Prod Anim* 2005; 13:103-108.
- Marques JA, Prado IN, Zeoula LM, Alcalde RC, Gonçalves W. Avaliação da mandioca e seus resíduos industriais em substituição ao milho no desempenho de novilhas confinadas. *Rev Bras Zootec* 2000; 29:1528-1536.
- Mendoza GD, González SS, Riquelme EV. Efectos de sustitución del sorgo por harina de yuca en raciones para vacas en lactancia. *Agrociencia* 1986; 64:127-131.
- Mouro GF, Branco AF, Macedo FA, Rigolon LP, Maia FJ, Guimarães KC, Damasceno J, Santos GT. Corn replacement by cassava by-product meal in the lactating goat's diets: effects on milk production and composition and nutrients digestibility. *Rev Bras Zootec* 2002; 31:475-483.
- Mueller Z, Chon KC, Nah KC. Cassava, a total substitute for cereals in livestock and poultry rations. Ruminant nutrition: selected articles from World Animal Review, FAO, 1978. p.155-160.
- Mungoi MA. Efectos de la suplementación con malato y de la fuente de almidón sobre el rendimiento productivo de corderos en ceba. Tesis de Doctorado. Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos, Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra. 2007.
- Noblet J, Fortuna H, Dupire C, Dubois S. Valeur nutritionnelle de treize matières premières pour le porc en croissance. 1. Teneurs en énergie digestible métabolizable et nette. Conséquences du choix du système énergétique. Journées de Recherche Porcine en France 1990; 22:175-184.
- Nocek JE, Tamminga S. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk and composition. *J Dairy Sci* 1991; 74:3598-3629.
- Noguera RR, Ramírez IC, Bolívar DM. Efecto de la inclusión de papa (*Solanum tuberosum*) en la cinética de fermentación in vitro del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Livestock Research for Rural Development* 2006; Volume 18, Article #62 [Fecha de acceso: junio 12 de 2009] URL: <http://www.lrrd.org/lrrd18/5/nogu18062.htm>.
- Offem OJ, Thomas OO. Chemical changes in relation to mode and degree of maturation of plantain (*Musa paradisiaca*) and (*Musa sapientum*) fruits. *Food Res Int* 1993; 26:187-193.
- Offner A, Bach A, Sauvart D. Quantitative review of *in situ* starch degradation in the rumen. *Anim Feed Sci Tech* 2003; 106:81-93.
- Olugbemi TS, Mutayoba SK, Lekule P. Evaluation of Moringa oleifera leaf meal inclusion in cassava chip based diets fed to laying birds. *Livestock Research for Rural Development* 2010; Volume 22, Article #118, [Consultado Agosto 12 de 2011] URL: <http://www.lrrd.org/lrrd22/6/olug22118.htm>
- Pimentel RR, Andrade FM, Chaves AS, de Lima LE, Ramos VR. Substituição do milho pela raspa de mandioca em dietas para vacas primíparas em lactação. *R Bras Zootec* 2006; 35:1221-1227.
- Prado IN, Souza AM, Alcalde CR, Zeoula ML, Marques JA. Desempenho de Novilhas Alimentadas com Rações Contendo Milho ou Casca de Mandioca como Fonte Energética e Farelo de Algodão ou Levedura como Fonte Protéica. *Rev Bras Zootec* 2000; 29:278-287.
- Rivas GM, Méndez M, Sánchez RM, Nuñez MC, Bello LA. Caracterización morfológica, molecular y fisicoquímica del almidón de plátano oxidado y lintnerizado. *Agrociencia* 2008; 42:487-497.
- Russell RK, McQueen RE. Transformations of potato glycoalkaloids by rumen microorganisms. *J Agric Food Chem* 1981; 29:1101-1103.
- Lewis DC, Liljegen DR. Glycoalkaloids from archaeanolium species. *Phytochemistry* 1970; 9: 2193-2195
- Simas JM, Pires AV, Susin I, Santos FA, Mendes CQ, Oliveira RC, Fernandes JJ. Efeitos de fontes e formas de processamento do amido na utilização de nutrientes e parâmetros ruminais de

- vacas em lactação. Arq Bras Med Vet Zootec 2008; 60:1128-1134.
- Suksombat W, Lounglawan P, Noosen P. Energy and protein evaluation of five feedstuffs used in diet in which cassava pulp as main energy source for lactating dairy cows. Suranaree J Sci Technol 2006; 14:99-107.
- Sveinbjornsson J, Murphy M, Uden P. In vitro evaluation of starch degradation from feeds with or without various heat treatments. Anim Feed Sci Tech 2007; 132:171-185.
- Szasz JI, Hunt CW, Turgeon OA, Szasz PA, Johnson KA. Effects of pasteurization of potato slurry by-product fed in corn- or barley-based beef. J Anim Sci 2005; 83:2806-2814.
- Vearsilp T, Mikled C. Site and extent of cassava starch digestion in ruminants. International Workshop on Current Research and Development on Use of Cassava as Animal Feed. Khon Kaen, University Thailand; 2001. p.73-76.
- Thomas DJ, Atwell W. Starch Modifications. In: Starches. USA: Eagen Press; 1999. p.31-48.
- Tothi R, Lund P, Weisbjerg MR, Hvelplund T. Effect of expander processing on rate of maize and barley starch degradation in the rumen of dairy cows estimated using rumen evacuation and in situ techniques. Anim Feed Sci Technol 2003; 104:71-94.
- Tothi R, Pijnenburg J, Tamminga S. Effect of feed processing on in situ ruminal degradation of cereal grains and on the degree of synchrony of organic matter and nitrogen release in the rumen of grazing lactating dairy cows. 16th Int. Symp. "Animal Science Days", Strunjan, Slovenia, Sept. 17-19, 2008. Acta Agric Slov 2008; 135-42.
- Tudor GD, McGuigan KR, Norton BW. The effects of three protein sources on the growth and feed utilization of cattle fed cassava. J Agric Sci (Cambridge) 1985; 104:11-18.
- Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Cornell University Press; 1994. p.476.
- Villacrés E, Espín S. Evaluación y rendimiento, características y propiedades del almidón de algunas raíces y tubérculos andinos. En Raíces y Tubérculos Andinos. Avances de la Investigación Tomo 1. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 1999. p.25-35.
- Wanapat M. Role of cassava hay as animal feed in the tropics. Workshop on Current Research and Development on Use of Cassava as Animal Feed. Khon Kaen University, Thailand; 2001. p.13-20.
- Wang M, Jiang J, Tan ZL, Tang SX, Sun ZH, Han XF. *In situ* Ruminal Crude Protein and Starch Degradation of Three Classes of Feedstuffs in Goats. J Appl Anim Res 2009; 36:23-28.
- Weisbjerg MR, Hvelplund T, Kristensen VF, Stensig T. The requirement for rumen degradable protein and the potential for nitrogen recycling to the rumen in dairy cows. Proceedings of the 25th Scientific Conference AICC, Tanzania 1998. p.110-118.
- Wu Z, Huber JT. Relationship between dietary fat supplementation and milk protein concentration in lactating cows: A review. Livest Prod Sci 1994; 39:141-155.
- Yu P, Racz V. Chemical characterization, energy values, protein and carbohydrate fractions, degradation kinetics of frost damaged wheat (with severely overall weight loss) in ruminants. Anim Sci J 2009; 80:140-148.
- Zeoula LM, Caldas NF, Ferriani BA, Prado NI, Ortega DA, Kassies M, Fregadolli LF. Mandioca e Resíduos das Farinhas na Alimentação de Ruminantes: pH, Concentração de N-NH₃ e Eficiência Microbiana. R Bras Zootec 2002; 31:1582-1593.
- Zinn RA, DePeters EJ. Comparative feeding value of tapioca pellets for feedlot cattle. J Anim Sci 1991; 69:4726-4733.