

BAGACILLO DE CAÑA (*Saccharum officinarum*) PREDIGERIDO POR VAPOR A PRESION COMO ALIMENTO BASICO PARA NOVILLOS DE CARNE

Arthur A. Owen B.*
José A. Jaramillo **
Oscar Ortiz H. **
Guido E. Vanin M.**

COMPENDIO

Al someter el bagacillo a altas presiones (18.3, 19.0, 19.7 y 20.4 kg/cm²) durante 4, 6, 8 y 10 minutos se incrementó significativamente la digestibilidad "*in vitro*" y la degradabilidad "*in situ*" de la materia seca. La aceptabilidad del bagacillo predigerido al vapor-BPDV (0, 40, 60 y 85.42 o/b) fue baja y se presentó disminución en el consumo y pérdidas de peso en novillos cebú que consumieron niveles por encima del 60 o/o. No se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la ganancia de peso promedio de novillos alimentados con BPDV y altos niveles de urea, usando una cantidad restringida de pasto rey (T₁), bagazo crudo entero (T₂) y melaza de caña (T₃); la exclusión de fibra larga (T₃) no afectó el desempeño animal. Se detectaron niveles de furfural por debajo del 1 o/o en el BPDV (base fresca); los análisis espectroscópicos (UV, RI, RMN) registraron la presencia de grupos carboxilos e hidroxilos, indicando la probable existencia de fenoles.

ABSTRACT

De-rinded sugar cane bagasse (the pith) was subjected to high steam pressures (18.3, 19.0, 19.7 and 20.4 kg/cm²) during 4, 5, 8 and 10 minutes. *In vitro* digestibilities and *in situ* degradabilities were significantly improved by the treatments. The steam pre-digested bagasse pith-SPBP (0, 20, 40, 60 y 85.42 o/o) acceptability were low and the results showed very high weight losses of steers feed 60 and 80 o/o SPBP of the i r diet. No statistical difference ($P \leq 0.05$) was observed for average daily gains of steer fed on high levels of SPBP supplemented with high levels of urea, using three treatment : restricted amount of king grass (T₁) whole raw bagasse (T₂) and cane molasses (T₃) ; the exclusion of the long fiber (T₃) did not effect animal performance. Furfural levels below 1 o/o SPBP (fresch basis) were detected; spectrometric analysis (UV, RI and RMN) registered the presence of carboxil and hidroxil groups indicating the probable existence of phenols.

* Instituto Colombiano Agropecuario- ICA. A.A. 233 Palmira.

** Estudiante de pre-grado. Universidad Nacional de Colombia. Palmira.

1. INTRODUCCION

La disponibilidad de nutrientes para la producción ganadera presenta grandes fluctuaciones como respuesta a las variaciones climáticas, por tanto, las alternativas desarrolladas en países de clima templado tienen poca utilidad en nuestras condiciones, pues responden a realidades socioecológicas diferentes. Debido a la habilidad que poseen los rumiantes de digerir materiales celulósicos y por la conveniencia de reducir la utilización de granos de cereales en su alimentación, se ha generado interés en la búsqueda de recursos alimenticios alternos, especialmente en grandes volúmenes y que representen fuentes con alto contenido energético potencialmente utilizable.

Anualmente los ingenios localizados en el valle geográfico del río Cauca producen 1 713 600 toneladas de bagacillo. Con el advenimiento de las nuevas fábricas de papel que utilizan el bagazo como materia prima, quedaría únicamente por encontrar un empleo racional del bagacillo, que de momento solo sirve de combustible, y aún para este propósito se considera poco eficiente. Uno de los usos potenciales del bagacillo es como componente en raciones para rumiantes, pero a causa de su baja digestibilidad “*in vitro*” (40 o/o), este trabajo busca metodologías más adecuadas para procesarlo por la vía física (tratamiento con vapor a alta presión). Otro propósito del trabajo, es evaluar el uso del bagacillo de caña predigerido al vapor (BPDV) como componente mayoritario en regímenes alimenticios para el levante y ceba de novillos de carne.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El trabajo se realizó en la hacienda “San Fernando”, de propiedad del Ingenio del Cauca S. A., localizada en el corregimiento del El Ortigal, municipio de Miranda, departamento del Cauca; situada a 1 070 msnm., con una temperatura promedio de 24°C, precipitación anual de 1 020 mm. y una humedad relativa promedio del 70 o/o.

En el primer experimento se estableció una matriz de cuatro tiempos (4, 6, 8 y 10 minutos) de exposición del bagacillo al vapor y cuatro presiones (18.3 , 19.0 , 19.7 y 20.4 kg/cm²). Se utilizó un digestor piloto de presentación vertical, tipo batch, con capacidad de 100 kg. A las 16 muestras de BPDV se les determinó el contenido de materia seca, pH, contenido celular, pared celular y sus constituyentes, proteína cruda, digestibilidad “*in vitro*” y degradabilidad “*in situ*” de la materia seca. Con el fin de mejorar el pH del BPDV, y evitar que se presentara un posible rechazo del producto por parte de los animales, se realizaron ensayos en los cuales se adicionaban cal o carbonato de calcio en proporciones de 0.6, 0.8 y 1 o/o (por peso del ba-

gacillo), al momento de la digestión.

En el segundo experimento se determinó el efecto de diferentes niveles de BPDV en la dieta (0, 20, 40, 60 y 85.42 o/o de la materia seca), sobre la aceptabilidad, consumo voluntario de materia seca y desempeño de novillos. Se ajustó un diseño de bloques completos al azar (BCA) en donde los diferentes tratamientos (niveles de BPDV) se aplicaron en secuencia a todos los animales (bloques) a través del tiempo (cinco períodos de 10 días). Se utilizaron 12 novillos cebú, estabulados en forma individual y recibiendo dietas isoproteicas. Los residuos de alimentos se pesaban cada 24 horas y los animales al final de cada período.

El tercer experimento tenía como objetivo evaluar el efecto de la presencia o ausencia de fibra efectiva (fibra larga) sobre el desempeño de los animales cuando se alimentaban con BPDV, utilizando altos niveles de nitrógeno no proteico (urea). Se emplearon dos fuentes de fibra efectiva: pasto rey (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum americanum*) y bagazo crudo integral. Con el pasto rey, además de su efecto como fuente de fibra efectiva, se trató de evaluar la importancia de los factores intrínsecos que algunos autores le atribuyen a los forrajes verdes (Preston y Leng, 7). Como patrón de comparación se utilizó un tratamiento con altos niveles de melaza, con el cual se trató de confirmar adicionalmente los resultados de las investigaciones de Ruiz *et al* (8), respecto a la utilización de altos niveles de melaza en la dieta de bovinos.

Doce novillos cebú se dividieron en tres grupos; dos animales de cada grupo recibieron 7.1 g de flor de azufre (98 o/o de S) con el objeto de evaluar la importancia de la inclusión de azufre en dietas con altos niveles de NNP. En este experimento se empleó un diseño completamente al azar con 6 tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento. Las dietas utilizadas eran isoprotéicas y se suministró BPDV a voluntad. Los residuos alimenticios se pesaron cada 24 horas y los animales cada 10 días, durante un período experimental de 100 días.

Como última fase de la investigación se realizaron análisis de laboratorio con el objeto de identificar compuestos tóxicos que posiblemente se estaban formando a partir de la hidrólisis ácida del bagacillo sometido a tratamiento con vapor a alta presión. Se realizaron determinaciones del contenido de furfural por el método de "Noll and Belz" (Browne y Zerban, 2). Se utilizaron también métodos cromatográficos de capa fina y separaciones mediante sephadex (Robinson, 8). Se realizaron análisis espectroscópicos de resonancia magnética nuclear (RMN), infrarrojos (IR) y ultravioleta (UV).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Composición química del bagacillo de la caña de azúcar.

3.1.1. Contenido de materia seca.

El porcentaje de materia seca (MS) del bagacillo crudo fue del 46 o/o. En términos generales, la reducción en el porcentaje de materia seca del bagacillo tratado, teniendo en cuenta los efectos de la presión y el tiempo, se comporta en forma similar. Se presenta una reducción promedia de 31.5 o/o. El contenido de MS en las muestras a las cuales se adicionó niveles crecientes de cal o carbonato de calcio fue de 29.2 y 29.6 o/o, respectivamente.

La reducción en el porcentaje de materia seca puede atribuirse a hidratación del bagacillo al entrar en contacto con el vapor húmedo y solubilización de algunos componentes, ocasionando posibles pérdidas por volatilización y lixiviación durante el proceso de vaciado del digestor y almacenamiento del producto.

3.1.2. Componentes de la pared celular.

El contenido de FDN en el bagacillo crudo fue de 93.64 o/o y 6.36 o/o de contenido celular. Existe relación estrecha entre la presión y el tiempo de exposición sobre el contenido de FDN (se reduce en promedio un 33 o/o). El contenido celular mejoró grandemente por efecto del tratamiento aumentando en promedio 5.85 veces.

La adición de cal o carbonato de calcio redujo la FDN (31.86 y 31.36 o/o, respectivamente). La adición de los correctivos aumentó el contenido celular del bagacillo tratado en 5.64 veces.

El efecto del tratamiento con vapor a alta presión sobre el bagacillo hizo imposible la determinación del contenido de hemicelulosa, presentándose siempre valores negativos, es decir, resultaban valores superiores de FDA a los valores de FDN en las muestras tratadas (con y sin adición de cal o carbonato de calcio).

El tratamiento con vapor a alta presión causa hidrólisis parcial o total de las hemicelulosas, formando azúcares que pueden originar diversos productos de descomposición como furfural o hidroximetil furfural, ácido acético, fórmico, derivados y otros (Blanco y Lastra, 1). Esto puede explicar la dificultad en la determinación del contenido de hemicelulosa por el método de detergentes.

El contenido de celulosa del bagacillo crudo fue de 37.72 o/o, y no se presentaron cambios apreciables debido al tratamiento y la adición de correctivos.

Contrario al resultado de Oji y Mowat (6), en vez de ocurrir un aumento considerable de la lignina por efecto del tratamiento, se presentó una disminución de su contenido. El contenido de lignina del bagacillo crudo fue de 1.471 o/o y se presentó una reducción promedio de 10.70 o/o, para los efectos de presión y tiempo. Hay mayor efecto del tratamiento sobre la lignina cuando se adicionan productos químicos simultáneamente a la digestión (reducción de 18.60 o/o). Esto sugiere que la adición de cal y carbonato de calcio facilita aún más la degradación de la lignina a otros productos que probablemente sean solubles en agua. Mimz et al (4) afirman que posiblemente sean derivados de la lignina por efecto de la hidrólisis ácida, alcoholes, como el p-coumaryl, coniferil y synapil, además de algunos ácidos como el p-cumárico y el ferúlico, junto con otros derivados de tipo fenólico.

Algunos de estos productos, específicamente los ácidos p-cumárico y ferúlico y los derivados tipo fenólico se califican como fuertes inhibidores de la actividad enzimática.

Los niveles de sílice para las muestras que se sometieron a diferentes presiones y tiempos de exposición permanecieron casi constantes, presentándose una variación de 0.57 unidades porcentuales. Las muestras a las cuales se le adicionaron cal o carbonato de calcio presentaron un aumento en los valores de sílice del orden de 2.55 unidades porcentuales, probablemente debido al alto contenido de cenizas en estos productos químicos.

3.2. Digestibilidad in vitro y degradabilidad in situ de la materia seca del bagacillo de caña de azúcar.

La digestibilidad "in vitro" de la materia seca (DIVMS) y la degradabilidad "in situ" de la materia seca (DISMS) de todos los materiales (muestras) incrementaron notablemente en todas las condiciones de tratamiento. Hay un aumento considerable, tanto en DIVMS como en DISMS, a una presión de 18.3 kg/cm², alcanzando valores de 1.62 y 1.67 veces con respecto a los registrados para bagacillo crudo (41.18 o/o y 39.62 o/o, respectivamente); obteniendo valores máximos a una presión de 19.0 kg/cm² (70.00 o/o y 68.41 o/o), y descendiendo moderadamente a medida que aumenta la presión (68.11 y 66.20 o/o para la DIVMS y 66.42 y 64.66 o/o para la DISMS, respectivamente a 19.7 y 20.4 kg/cm²).

Hay un aumento notable en las DIVMS (65.37 o/o) y DISMS (63.53 o/o) cuando se utiliza un tiempo de exposición de 4 minutos, alcanzando la

DIVMS su valor máximo a los 6 minutos (69.14 o/o), para luego descender suavemente conforme se incrementan los tiempos de exposición (68.69 y 68.19 o/o a 8 y 10 minutos). Los valores máximos de DISMS se alcanzaron con 8 minutos de exposición (67.91 o/o), presentándose posteriormente una ligera reducción cuando se aumenta el tiempo a 10 minutos (67.42 o/o). Los valores de DISMS estuvieron 1.45 unidades porcentuales por debajo de los valores de DIVMS.

La disminución de la DIVMS y la DISMS a medida que aumenta la drasticidad del tratamiento, se debe probablemente a la formación de derivados de la lignina inhibidores de la digestión.

El aumento en la digestibilidad del bagacillo de caña de azúcar después del tratamiento con vapor a presión, se debe muy probablemente a la hidrólisis de la hemicelulosa y la lignina y a la posterior formación de compuestos solubles en agua y en la solución detergente neutra.

3.3. Corrección del pH del bagacillo predigerido.

El pH del bagacillo se redujo de 5.5 a 3.21 por efecto de los tratamientos con vapor a presión, por la formación de ácido acético y otros ácidos.

La adición de cal y carbonato de calcio al momento de la digestión produjo un aumento lineal en los valores de pH, independientemente del producto usado. La cal fue más efectiva que el carbonato de calcio para subir el pH en los tres niveles ensayados (4.0, 4.35 y 4.5 vs 3.85, 4.0 y 4.2).

El efecto del nivel y del producto empleado sobre la DISMS es inconsistente; sin embargo, en promedio el uso de la cal afecta menos la DISMS en 1.5 unidades porcentuales.

En los ensayos posteriores se utilizó bagacillo tratado de la siguiente manera: 19.0 kg/cm² de presión de vapor durante 8 minutos, 1 o/o de cal comercial, pH entre 4.15 y 4.25 y 70 o/o de DIVMS.

3.4. Efecto de diferentes niveles de BPDV en la dieta, sobre la aceptabilidad, consumo voluntario de materia seca y desempeño de novillos cebú en la etapa de ceba.

El consumo promedio diario de materia seca (MS)/animal fue de 9.7, 9.5, 9.3, 8.2 y 6.0 kg para los tratamientos 0, 20, 40, 60 y 85.42 o/o de BPDV en la dieta, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos 0-20 o/o y 20-40 o/o, pero sí entre las restantes comparaciones.

El consumo de MS tendió a disminuir a medida que se incrementaban los niveles de BPDV en la dieta, ajustándose a un modelo de regresión lineal que originó la ecuación de predicción $Y = 10.30 - 0.0426X$ ($R^2 = 1$). La disminución del consumo refleja la baja aceptabilidad del BPDV respecto a la fuente alterna de forraje.

Cuando se suministró BPDV en altos niveles se presentó depresión en la rumia y los animales consumieron la madera de los comederos para suplir la deficiencia de fibra.

Se obtuvieron aumentos de pesos diarios de 1.10, 0.588, 0.733, -0.292 y -0.450 kg para los tratamientos 0, 20, 40, 60 y 85.42 o/o de BPDV en la dieta, respectivamente. No se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos 0 -40, 20 -40 y 60 -85.42 o/o; aunque sí en las restantes comparaciones.

El alto incremento de peso obtenido cuando se suministró 0 o/o de BPDV, fue el efecto de un período de re-alimentación que ocasionó un crecimiento compensatorio en los animales (estos venían de un largo período de sub-alimentación). Los incrementos de pesos registrados con niveles de 20 y 40 o/o de BPDV, estuvieron de acuerdo con la composición energética de las dietas suministradas. Las drásticas pérdidas de pesos presentadas a niveles de 60 y 85.42 o/o se atribuyeron inicialmente a dos factores: primero, a la falta de fibra efectiva en la dieta que causa depresión en la rumia con la consiguiente baja en la producción de saliva y en el pH del rumen, lo que ocasiona reducción de la actividad de la población bacteriana (principalmente bacterias celulíticas) responsable de la degradación de la celulosa del BPDV (Kaufmann, 3). El otro factor, es la posible presencia en el BPDV de sustancias que al llegar a ciertas concentraciones afectan el patrón de fermentación ruminal, inhibiendo la actividad enzimática de los microorganismos o causando daños directos en los animales a nivel de intestino delgado o tisular.

3.5. Efecto de la fibra efectiva sobre el desempeño de novillos alimentados con BPDV, utilizando altos niveles de NNP en la dieta.

El consumo promedio diario de MS/animal fue de 7.9, 6.4 y 6.2 kg, respectivamente. Se registraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos pasto-bagazo y pasto-melaza, pero no entre los tratamientos bagazo-melaza.

Se presentó mayor consumo de BPDV (base seca) en los animales que recibieron pasto (3.9 kg) en comparación con los que recibieron bagazo (3.0) y melaza (1.6 kg de MS). El bajo consumo de BPDV observado en el trata-

miento melaza se atribuye principalmente a un efecto de sustitución del BPDV por melaza.

La diferencia presentada en el consumo total de MS entre los tratamientos pasto y bagazo se atribuyó a la baja digestibilidad y densidad del bagazo que hacen que ocurra mayor tiempo de retención y que ocupe mayor volumen en el retículo-rumen, produciendo una regulación física del consumo.

Las diferencias en el consumo total de MS entre los tratamientos pasto y melaza posiblemente se deban a regulación metabólica del consumo, causada por mayor concentración energética de la ingesta en el tratamiento melaza.

Los incrementos promedio de peso (kg/día) fueron de 0.661 , 0.472 y 0.643 para los tratamientos pasto, bagazo y melaza, respectivamente. No se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos. Se encontró gran similitud entre los incrementos de peso obtenidos y los calculados (NRC, 5), que confirman que el desempeño de los animales estuvo de acuerdo con los consumos de alimento y los aportes energéticos de las respectivas dietas.

La no adición de fibra efectiva a la dieta no afectó el desempeño de los animales, aunque estos seguían presentando depresión en el proceso de rumia. Parece ser que el BPDV aporta la cantidad suficiente de fibra para impedir la parálisis ruminal, ya que los animales que se sometieron al tratamiento melaza no presentaron la mencionada anormalidad fisiológica durante un período de 100 días de prueba. El efecto negativo de la depresión en la rumia fue probablemente atenuado por los altos niveles de NNP en la dieta (200 g de urea/animal/día) que ayudaron a obtener un pH adecuado para la actividad de la microbiota ruminal.

Los resultados no confirman la importancia de los factores intrínsecos del forraje verde como promotores de la más eficiente utilización de la dieta por parte de los microorganismos del rumen, debido a que no se presentaron diferencias significativas en el incremento de peso entre los animales que consumieron pasto rey y los que consumieron bagazo y melaza.

Los animales que consumieron niveles de BPDV en la dieta de 47 y 48 o/o (tratamiento bagazo y pasto, respectivamente) no presentaron interferencias en su desempeño, debido a la posible presencia de sustancias inherentes al BPDV que al parecer afectaron el rendimiento de los novillos en el experimento anteriormente descrito.

Hubo consumo significativamente ($P \leq 0.05$) mayor de MS en los animales que consumieron pasto-azufre, en comparación a los que recibieron pasto sin adición de azufre. No se presentaron diferencias significativas por la adición de azufre en el consumo de MS de los animales que recibieron bagazo; pero si se presentaron diferencias significativas en el tratamiento melaza, aumentándose el consumo de materia seca en aquellos animales que no recibían azufre. Los resultados obtenidos en el consumo de materia seca respecto a la adición de azufre son poco consistentes, debido principalmente al reducido número de animales utilizados. Lo anterior se confirma por el hecho de que no se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el incremento de peso, por la inclusión o no de azufre en la dieta.

3.6. Identificación de compuestos orgánicos tóxicos.

Los resultados de los espectros UV mostraron la presencia de compuestos que absorben a 280 (1.70 cm^{-1}) y a 214 nm (2.10 cm^{-1}), indicando que se trata de compuestos tipo aromáticos.

El contenido de furfural fue de 0.15 o/o en la muestra sin corregir acidez, 0.52 o/o en la muestra corregida la acidez al momento de la digestión y 0.91 o/o en la muestra corregida la acidez después de la digestión.

Durante los análisis para determinar furfural se detectó fuerte contaminación de los extractos de las muestras de BPDV. Los análisis de infrarrojos mostraron bandas amplias entre $3\ 000$ y $3\ 500 \text{ cm}^{-1}$ que indican la presencia de grupos hidroxilos, e igualmente bandas entre $1\ 600$ y $1\ 800 \text{ cm}^{-1}$ que indican la presencia de grupos carboxilos. La existencia de estos grupos funcionales es una muestra de que probablemente los contaminantes son derivados fenólicos, producto de la hidrólisis parcial de la lignina durante el procesamiento del bagacillo. Los resultados de RMN no fueron concluyentes, por falta de análisis complementarios.

4. CONCLUSIONES

- 4.1. El tratamiento del bagacillo de caña con vapor a alta presión mejoró significativamente su valor nutritivo y perspectivas de utilización en la alimentación de rumiantes.
- 4.2. Cuando se dispone de un digestor tipo batch se aconseja trabajar con presiones de vapor (kg/cm^2) y tiempos de exposición (minutos) menores a los utilizados con el objetivo de reducir o evitar la formación de sustancias tóxicas que afecten el desarrollo de los animales.

4.3. Cuando el BPDV se encuentra en un nivel del 48 o/o de la ingesta diaria (base seca), la concentración de las presuntas sustancias tóxicas no alcanza a afectar el rendimiento animal.

5. BIBLIOGRAFIA

1. BLANCO, R.; LASTRA, J. Industria hidrolítica del bagazo. Rev. ICIDCA, sobre los derivados de la caña de azúcar (Cuba) v.8, n. 3, p. 26. 1974.
2. BROWNE, C. A.; ZERBAN, F. W. Physical and chemical methods of sugar cane analysis. 3a. ed. 1948.
3. KAUFMANN, W. Influence of the composition of the ration and feeding frequency on pH-regulation in the rumen and feed intake in ruminants. Livest Prod. Sci. (Holanda) n. 3, p. 103-114. 1976.
4. MIMZ, H. N. et al. Carbon -13 NMR spectra of lignins 8. Structural differences between lignins of hardwoods, grasses and compression wood. Holzforchung (Alemania) v. 35, p. 16-26. 1981.
5. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of beef-cattle. 6 th rev. ed. Washington, National Academy Press, 1984.
6. OJI, I. V. ; MOWAT, D. N. Nutritive value of steam treated corn stover. Can J. Anim. Sci. v. 58, p. 177- 181. 1978.
7. PRESTON, T. R.; LENG, R. A. Suplementation of diets based on fibrous residues and by-products as feed. 1984.
8. ROBINSON, J. W. Undergraduate instrumental analysis. Baton Rouge, Louisiana State University, 1970. p. 379.
9. RUIZ et al. El uso de los sub-productos de la caña. Sociedad de Agricultores y Ganaderos del Valle (SAG), Cali, Colombia, 1984. Memoria.