

## Capítulo LXVII

### **Perspectivas del uso de enzimas fibrolíticas exógenas. ¿Se justifica su uso en ganaderías Doble Propósito?**

**Dervin B. Dean, MSc, PhD**

---

#### **INTRODUCCIÓN**

Los forrajes representan el ingrediente más económico en la alimentación de los rumiantes en el trópico (Jung y Allen, 1995). Sin embargo, la elevada concentración de fibra de los forrajes tropicales afecta negativamente su valor nutritivo, constituyendo la mayor limitante nutricional de los rebaños en el medio tropical. Se han utilizado diferentes estrategias para tratar de mejorar la calidad de dichos forrajes, a través de mejoramientos genéticos y a través de la aplicación de diferentes tratamientos químicos o biológicos. El principal objetivo en la aplicación de dichos tratamientos es tratar de mejorar la digestibilidad del componente fibroso. Entre los métodos biológicos, el uso de enzimas fibrolíticas comerciales podría ser una alternativa para mejorar la calidad de los forrajes y diferentes estudios han demostrado que estos aditivos pueden incrementar el valor nutritivo de henos y silajes y por ende la respuesta animal. Estos productos son efectivos para mejorar la utilización de las dietas, debido a que aumentan la digestibilidad de las fracciones fibrosas y del consumo voluntario; las enzimas fibrolíticas además de incrementar la hidrólisis de la fibra pueden mejorar la colonización de la digesta al aumentar el número de microorganismos fibrolíticos del rúmen, y por esta vía actuar sinérgicamente para incrementar la tasa de degradación ruminal de la digesta.

El mecanismo de acción de las enzimas fibrolíticas incluye también mejoras en la palatabilidad de la ración, cambios en la viscosidad intestinal y cambios en el sitio de digestión. Sin embargo, la efectividad de estas enzimas sigue siendo controversial, ya que este efecto positivo no ha sido consistente, por lo tanto se ha sugerido evaluar nuevos productos comerciales bajo diferentes condiciones experimentales para determinar la conveniencia de seguir estudiando estos aditivos. Varios estudios han mostrado que las enzimas fibrolíticas exógenas no mejoran consistentemente el valor nutritivo de los forrajes ni su utilización por los rumiantes. Estas inconsistencias pudieran ser atribuibles a diferentes factores, como diferencias en el tipo y actividad de las

enzimas evaluadas y en la duración de los tratamientos, métodos de aplicación, composición de las dietas, nivel de producción de los animales, inadecuadas temperaturas y pH para potenciar la actividad de las enzimas, presencia de inhibidores o ausencia de cofactores e inadecuadas cantidades en la proporción enzima: sustrato.

Las experiencias en el trópico con estos productos son muy escasas, ya que la mayoría de los estudios se han realizado en países desarrollados, utilizando animales especializados para la producción de leche y/o carne y alimentados con dietas ricas en concentrados, por lo que su efectividad en nuestros rebaños doble propósito, cuya base alimenticia son forrajes de baja calidad nutricional sigue siendo desconocida. El objetivo de este artículo es la de resaltar el mecanismo de acción de las enzimas fibrolíticas sobre la dieta y su efecto en la respuesta animal.

## **ENZIMAS FIBROLÍTICAS: DEFINICIÓN, TIPOS Y MODO DE ACCIÓN**

Las enzimas son proteínas globulares que catalizan reacciones químicas específicas en sistemas biológicos. Las enzimas digestivas están involucradas en la transformación de macromoléculas complejas (celulosa, hemicelulosa, almidones, proteínas, etc.) presentes en las dietas, en moléculas más simples (azúcares, péptidos, aminoácidos, etc.) y son esenciales para el animal, ya que las macromoléculas no se absorben directamente en el tracto digestivo a menos que sean degradadas a moléculas más simples (Kung, 2001).

El mecanismo de acción de las enzimas fibrolíticas exógenas es a través de la hidrólisis de algunos componentes de las plantas que impiden la digestión, incrementando por tanto el valor nutritivo de la ración. Por ejemplo, la celulosa es hidrolizada a través de un proceso complejo que involucra la acción de diferentes celulasas, incluyendo endoglucanasas, exoglucanasas y  $\beta$ -glucosidasas. En general, las endoglucanasas hidrolizan las cadenas de celulosa aleatoriamente para producir oligómeros de celulosa de varios grados de polimerización; las exoglucanasas hidrolizan la cadena de celulosa desde el lado no reducido produciendo celobiosa y las  $\beta$ -glucosidasas hidrolizan las cadenas cortas de celulosa y la celobiosa hasta glucosa (Beauchemin y cols., 2003).

Las principales enzimas involucradas en la degradación de los polímeros de xilanos, compuestos estos que son mayoritarios en la estructura de la hemicelulosa, hasta azúcares solubles, son las xilanasas y la  $\beta$ -1,4 xilosidasa. Las xilanasas incluyen endoxilanas, las cuales las cuales degradan los xilanos hasta polímeros más cortos y la  $\beta$ -1,4-xilosidasas que degradan estos últimos polímeros hasta xilosa. Otras hemicelulasas involucradas en la digestión de las cadenas laterales de la hemicelulosa incluyen  $\beta$ -manosidasa,  $\alpha$ -L-arabinofuranosidasa,  $\alpha$ -D-glucoronidasa,  $\alpha$ -D-galactosidasa, acetil xilano esterasas y ácido ferulico esterasas (Bhat y Hazlewood, 2001).

Diferentes mecanismos de acción de las enzimas fibrolíticas han sido postulados incluyendo, hidrólisis directa (Sheperd y Kung, 1996; Colombatto y cols., 2003b), aumento del número de microorganismos ruminales e incremento de su adherencia al sustrato a degradar (Morgavi y cols., 2000), mejoras en la palatabilidad (Adesogan, 2005), cambios en la viscosidad a nivel intestinal (Officer, 2000), y cambios en el sitio

de la digestión (Rode y Beauchemin, 1998; Hristov y cols., 2000). Algunos de estos factores aumentan la capacidad hidrolítica del rúmen, lo cual reduce indirectamente el llenado del rumen y aumentan el consumo voluntario (Adesogan, 2005).

Las enzimas exógenas son productos comerciales obtenidos a través de fermentaciones bacteriales (*Bacillus* spp.) o fungales (*Trichoderma* y *Aspergillus* spp.) y contienen arreglos únicos de actividades enzimáticas (Beauchemin y cols., 2004a). Son productos relativamente concentrados y purificados y poseen actividades enzimáticas específicas (Beauchemin y cols., 2004a). Algunos de estos productos comerciales que contienen mezclas de diferentes enzimas han mostrado ser efectivos para mejorar la utilización de dietas para rumiantes (Beauchemin y cols., 1995; Rode y Beauchemin, 1998; Kung y cols., 2000). Sin embargo, las celulasas y hemicelulasas presentes en las enzimas comerciales difieren sustancialmente en su capacidad hidrolítica, y son estas diferencias en las concentraciones relativas y en las actividades individuales de estas enzimas las que determinan la eficacia de estos productos para degradar la pared celular (Beauchemin y cols., 2003).

Adicionalmente a su efecto fibrolítico, estos productos también poseen actividades enzimáticas secundarias, incluyendo degradación de almidones, proteínas y pectinas, lo cual contribuye a aumentar su capacidad hidrolítica. Rode y Beauchemin (1998) evaluaron *in vitro* varias enzimas comerciales, usando heno de alfalfa o silaje de cebada como sustrato y observaron que la efectividad de los productos difirió entre los dos sustratos, lo cual indica que una enzima comercial que promueve una respuesta positiva en un tipo de dieta puede no ser efectiva si se producen cambios en la dieta, lo cual dificultaría la extrapolación hacia los rebaños DP en el trópico, de los buenos resultados obtenidos en animales alimentados con dietas altas en granos y concentrados.

Las enzimas fibrolíticas exógenas pueden interactuar no solo con la digesta sino también con los microorganismos ruminales (Morgavi y cols., 2000). Se ha demostrado que estos productos mejoran la colonización de las partículas del alimento por parte de los microorganismos ruminales, incrementando la tasa de degradación ruminal (Yang y cols., 1999). Morgavi y cols. (2000) observaron que un producto enzimático derivado de *Trichoderma longibrachiatum* actuó sinérgicamente con las enzimas ruminales para liberar azúcares de la celulosa y de los xilanos contenidos en silajes de maíz, aumentando de esta forma la actividad hidrolítica en el rúmen. Nsereko y cols. (2000a) por su parte suplementaron vacas lactantes con niveles crecientes de una enzima comercial y observaron que al incrementar la dosis del producto aumento el número de bacterias viables en el rúmen, principalmente de poblaciones fermentadoras de xilanos y de celobiosa. Estos últimos datos sugieren que las enzimas exógenas pueden mejorar la digestión, al menos en parte, por el incremento en el número de bacterias que utilizan hemicelulosa y productos secundarios de la digestión de la celulosa.

## **FACTORES QUE AFECTAN LA ACCIÓN DE LAS ENZIMAS**

La digestión eficiente de los sustratos fibrosos en el rúmen requiere de la acción coordinada de celulasas, xilanasas, easas, fitasas y enzimas específicas para inactivar ciertas toxinas presentes en algunas plantas (ej., taninasas; Wang y McAllister,

2002). Las principales limitaciones para la digestión de los componentes de la pared celular en el rúmen pueden ser debido a cantidades insuficientes de las diferentes enzimas producidas por los microorganismos ruminales o por la inhabilidad de las enzimas para interactuar con los substratos a ser degradados, o debido a condiciones inapropiadas en el rúmen (ej. acidosis ruminal) para optimizar las actividades hidrolíticas (McAllister y cols., 2001).

Las enzimas digestivas no se han usado tradicionalmente en dietas para rumiantes, y la principal razón para esto es debido al hecho de que las enzimas son moléculas proteicas y pueden estar sujetas a degradación por las proteasas microbiales en el rúmen o a inactivación por proteasas en el intestino delgado (Kung, 2001). La estabilidad en el rúmen es un factor crítico que determina la efectividad de las enzimas, ya que estas funcionan a pH y temperaturas óptimas. Las actividades celulósicas y hemicelulósicas *in vitro* de dos enzimas fibrolíticas comerciales fueron estudiadas por Vicini y cols. (2003) observando que el rango de pH óptimo era más ácido y la temperatura óptima era mayor (aproximadamente 50°C) que el pH y la temperatura del rúmen, concluyendo los autores que aparentemente una parte considerable del potencial de acción de estos productos se pierde debido a las condiciones ruminales. Algunos investigadores han sugerido que el uso de estos productos pudiera ser más efectivo en rumiantes jóvenes, en los cuales las poblaciones de microorganismos ruminales no esta totalmente desarrollada. Por ejemplo, Baran y Kmet (1998, citados por Kung y cols., 2002) observaron que una enzima celulasa mejoro la fermentación ruminal en corderos recién nacidos, pero no en ovejas adultas.

La respuesta a la aplicación de enzimas exógenas en rumiantes ha sido variable, y esta variación puede ser atribuible a diferencias en la fase de lactancia de las vacas (Lewis y cols., 1999; Rode y cols., 1999), al tipo de enzima y a su actividad específica (Dawson y Tricarico, 1999), a la sobre o sub aplicación de estas (Beauchemin y cols., 1995, 2000; Yang y cols., 1999; Kung y cols., 2000; Adesogan, 2005), y al método inapropiado en el suministro de las mismas al animal (Bowman y cols., 2002; Sutton y cols., 2003). De acuerdo a Beauchemin y cols. (2003) la respuesta animal al uso de enzimas es más marcado cuando la digestión de la fibra se ve comprometida y cuando la energía de la dieta es el nutriente más limitante.

Se ha examinado el impacto del método de aplicación sobre la efectividad de las enzimas. Bowman y cols. (2002) evaluaron una enzima fibrolítica aplicada (1,0 g/vaca/d) a la ración total, al concentrado o a la premezcla mineral (0.2% de la ración) y la compararon a una dieta control. Estos investigadores observaron que la digestibilidad de la materia orgánica (MO), de la fibra neutro detergente (FND) y de la fibra ácido detergente (FAD) incrementaron cuando la enzima se adicionó a la ración total en comparación al control, mientras que la aplicación a las porciones menos voluminosas de la ración solo produjo incrementos numéricos bajos con respecto al control. La conclusión pudiera ser que la proporción de la ración sobre la cual se aplica la enzima debería maximizarse para asegurar una respuesta positiva, debido a que la enzima debe entrar en contacto con los ingredientes fibrosos de la ración para expresar su capacidad hidrolítica.

## **EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS ENZIMATICOS SOBRE EL VALOR NUTRITIVO DE HENOS Y SILAJES**

La aplicación de enzimas fibrolíticas ha demostrado ser un método efectivo para promover la hidrólisis de las fracciones fibrosas de la ración antes de que está sea ingerida, ya que la adherencia de la enzima al sustrato es un prerrequisito importante para que ocurra la hidrólisis de la fibra (Pell y Schofield, 1993). La aplicación directa al alimento de las enzimas exógenas incrementa la liberación de azúcares reducidos desde los polímeros complejos de la pared celular (Hristov y cols., 1998), y en algunos casos solubiliza la FND y FAD (Krause y cols., 1998). Colombatto y cols. (2003a) evaluaron el efecto de una enzima comercial sobre la hidrólisis de la celulosa y de los xilanos y observaron que el tratamiento enzimático incrementó la liberación de azúcares reducidos de los polímeros de xilanos después de 20 horas de incubación. La aplicación de enzimas degradadoras de la pared celular durante el proceso de ensilaje puede incrementar la liberación de azúcares fermentables a partir de los polisacáridos estructurales y por lo tanto pueden proveer sustratos adicionales para la fermentación microbiana (Dean y cols., 2005a). Esto generalmente incrementa la producción de ácido láctico, el cual reduce el riesgo de fermentaciones producidas por clostridios (Van Vuuren y cols., 1989).

Cuando se usan como aditivo para los silajes, las enzimas fibrolíticas pueden predigerir las paredes celulares de las plantas y esto pudiera incrementar la tasa y la extensión de degradación ruminal y consecuentemente mejorar la digestibilidad y el valor nutritivo del silaje (McHan, 1986, Dean y cols., 2005a), alterando la estructura de la pared celular para facilitar su degradación ruminal (Beauchemin y cols., 2004b). Los resultados de Nsereko y cols. (2000b) indican que a medida que aumenta el periodo de incubación después del tratamiento enzimático del forraje, se incrementa su degradación, lo cual es un indicio que estos productos probablemente causen cambios estructurales en los forrajes que mejoran su digestión. En respaldo a esta teoría, Clavero y Razz (2002) observaron que la aplicación de una enzima fibrolítica al pasto elefante enano (*Pennisetum purpureum*) al momento de ensilarse, redujo la concentración de las fracciones fibrosas y aumento la digestibilidad de estas fracciones.

Por su parte, Selmerolsen (1993) demostró que la fermentación de especies con baja concentración de azúcar, como los forrajes tropicales, puede mejorarse con la aplicación de compuestos enzimáticos, mientras que aquellos altos en azúcares mejoran la fermentación a través del uso de productos a base de inóculos de bacterias lácticas. Esto concuerda con lo obtenido por Adesogan y cols. (2004) quienes observaron que el tratamiento de silaje de pasto Bermuda, el cual es bajo en azúcares, con enzimas fibrolíticas solamente o mezclando estas con un inoculante bacteriano, mejoraron ciertos parámetros de fermentación. De igual forma, Sheperd y Kung (1996) y Dean y cols. (2005a) observaron que la aplicación de enzimas fibrolíticas con actividades de celulasas y hemicelulasas redujeron la concentración de FND y FAD en silajes de maíz y pasto bermuda, durante el periodo de ensilaje. Sin embargo, estos resultados no se han demostrado en otros experimentos; Mandebvu y cols. (1999) observaron que el tratamiento del pasto Bermuda cosechado a las 3 o 6 semanas de rebrote con una mezcla de celulasas, amilasas y hemicelulasas no afectó la concentración de fibra en el silaje. Estas discrepancias se deban probablemente a diferencias en la actividad

enzimática de los productos evaluados. Las mejoras en la fermentación de estos forrajes se debe al incremento en la concentración de azúcares por el aumento en la hidrólisis de los carbohidratos estructurales, sin embargo la respuesta depende de las actividades enzimáticas en los productos utilizados y a las condiciones particulares de cada experimento bajo las cuales estos se evalúan (Adesogan, 2005).

Existe muy poca información sobre el efecto del tratamiento con enzimas fibrolíticas exógenas sobre la composición química o valor nutritivo de henos antes de ser ingeridos. Dean y cols. (2007, en imprenta) observaron que algunas enzimas comerciales disminuyeron la concentración de FND y hemicelulosa en henos de pasto bermuda, sin embargo estos tratamientos no afectaron la digestibilidad de la MS o de las fracciones fibrosas de henos de bermuda o bahía. Similares efectos obtuvieron Dean y cols. (2006) en henos de pasto guinea, quienes observaron que algunas enzimas fibrolíticas comerciales redujeron la concentración de las fracciones fibrosas (FND y FAD) en forrajes de 8 semanas de rebrote.

Por su parte, Nowak y cols. (2003) evaluaron el efecto de una mezcla de enzimas fibrolíticas que contenían carboximetil celulasas y xilanasas sobre la desaparición ruminal de MS, DM, FND y FAD, y la digestibilidad intestinal de la MS de residuos de cosechas y observaron que la adición de enzima no tuvo efecto sobre la degradabilidad efectiva de las fracciones evaluadas, pero incrementó la desaparición de la MS, FND y FAD después de 4 y 6 horas de incubación, lo cual indica que estos productos pueden mejorar la tasa de degradación ruminal de sustratos fibrosos. Sin embargo, Yescas-Yescas y cols. (2004) no observaron mejoras en la digestibilidad de la MS, FND o FAD de residuos de cosechas de maíz y/o avena tratadas con una enzima comercial. Diferencias en actividades enzimáticas, la estabilidad en el rúmen, el método de aplicación, y las características propias del licor ruminal debido a la dieta de los animales donadores, pudieran explicar parcialmente estas discrepancias entre estudios.

Posiblemente el alto grado de lignificación de los forrajes tropicales, especialmente en fases avanzadas de madurez, impide una mejor actividad de estos tratamientos biológicos, debido a la baja o nula concentración en los productos enzimáticos comerciales disponibles en el mercado de estererasas, enzimas responsables de la ruptura de los enlaces lignocelulósicos. Esta teoría se apoya en un estudio realizado por Krueger y cols. (2003) donde se utilizó una preparación enzimática que contenía alta actividad de estererasas al igual que xilanasas y celulasas y se observaron una reducción en la concentración de FND y FAD e incremento la digestión de henos de pastos bermuda Tifton 85, bermuda Coastal y de bahía en avanzado estado de madurez (12 semanas de rebrote). En otro estudio, un producto similar también incrementó la tasa y extensión de degradación *in situ* de los forrajes y redujo el tiempo en el cual se inicio la degradación de la fibra (Krueger y cols., 2004). Estos dos estudios sugieren que el uso de enzimas estererasas pueden mejorar el aprovechamiento de pastos tropicales en avanzado estado de lignificación, sin embargo el elevado precio actual de estos productos pudieran ser un impedimento para extender su uso a nivel comercial (Krueger, comunicación personal).

## **EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS ENZIMÁTICOS SOBRE LA RESPUESTA ANIMAL**

El efecto de las enzimas sobre el consumo voluntario ha sido generalmente muy bajo e inconsistente (Yang y cols., 1999; Rode y cols., 1999; Schingoethe y cols., 1999; Vicini y cols., 2003; Sutton y cols., 2003). Esta respuesta ha sido positiva en algunos estudios (Lewis y cols., 1999; Beauchemin y cols., 2000, Castro y cols., 2007) o nula en otros (Beauchemin y cols., 1999; Kung y cols., 2000; Dean y cols., 2005b). De igual forma, el efecto sobre la digestibilidad ha sido contradictorio, ya que ciertos productos enzimáticos, compuestos principalmente de xilanasas y celulasas han incrementado la digestibilidad de las raciones (Rode y cols., 1999; Yang y cols., 2000) o no la han afectado (Lewis y cols., 1999; Dean y cols., 2005b).

La misma tendencia se ha observado en la producción de leche, donde algunos estudios muestran efectos positivos a la suplementación (Rode y cols., 1999; Yang y cols., 2000; Kung y cols., 2002), pero en otros esta variable no ha mostrado respuestas positivas (Sheperd y Kung, 1996; Beauchemin y cols., 2000; Vicini y cols., 2003; Dean y cols., 2005b). De igual forma, variaciones en la composición química de la leche han sido inconsistentes, pero generalmente las enzimas fibrolíticas no han mostrado efectos importantes en estos parámetros (Beauchemin y cols., 1999; Lewis y cols., 1999; Schingoethe y cols., 1999; Yang y cols., 1999; 2000; Kung y cols., 2000; Phipps y cols., 2000; Rode y cols., 1999; Vicini y cols., 2003, Dean y cols., 2005b).

El efecto de la cantidad de enzima aplicada también ha mostrado resultados controversiales. Por ejemplo, Yang y cols. (1999) observaron que al incrementar la dosis de enzima en la ración, se incrementó la producción de leche, sin afectar su composición química. Sin embargo, Beauchemin y cols. (2000) encontraron que a niveles altos de aplicación de un producto enzimático, se obtenían menores tasas de degradabilidad total en el tracto digestivo de las raciones que a niveles bajos de suplementación.

La razón por la cual se observa una baja o nula respuesta cuando se usan niveles bajos de enzimas es obvia y no requiere de mucho análisis. Sin embargo, la falta de respuesta cuando se aplican niveles altos es más compleja y pudiera ser atribuible a un mecanismo de inhibición de retroalimentación negativa, el cual es uno de los modos de regulación de la actividad enzimática (Adesogan, 2005). Este mecanismo ocurre cuando la acción de la enzima es inhibida por la concentración crítica de un producto final de la hidrólisis llevada a cabo por dicha enzima. Por ejemplo, la fermentación de azúcares producidas por el aumento en la hidrólisis de la pared celular puede reducir el pH ruminal hasta niveles que inhiban la digestión de la fibra, debido al efecto negativo del pH bajo sobre los microorganismos fibrolíticos (Adesogan, 2005). Una hipótesis alternativa es que un exceso de enzima puede afectar la colonización de los sustratos por parte de los microorganismos ruminales (Beauchemin y cols., 2003).

El momento en el cual se debe comenzar a suplementar un animal también pudiera afectar la efectividad de los suplementos enzimáticos, y en este sentido Schingoethe y cols. (1999) observaron en vacas lecheras, que la respuesta a la suplementación enzimática se manifestó en el animal de 2 a 4 semanas después de iniciarse el consumo del producto, y se mantuvo por el resto de la lactancia. Los mismos investigadores determinaron que las vacas suplementadas en los primeros 100 días posparto

produjeron 15% más leche; sin embargo, no observaron efectos positivos si la aplicación de la enzima se iniciaba después de los 4 meses posparto, lo cual indica que estos productos pudieran ser más efectivos en condiciones de mayores demandas energéticas por parte del animal, ya que pudieran mejorar el balance energético en fases fisiológicas críticas (Jurkovich y cols., 2002).

De igual forma, se han observado resultados controversiales cuando estos productos se han utilizado en dietas para animales en crecimiento. Castro y cols. (2007) evaluaron el efecto de un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas en animales en crecimiento (265,8 kg) consumiendo una ración con alta proporción de forraje y encontraron diferencias (P01) en el peso final, en el incremento de peso diario y en el incremento de peso total. El consumo de alimento fue 10% más alto en el grupo experimental con relación al testigo, la conversión alimenticia y la ganancia económica neta mejoraron (17% y 12,6%, respectivamente) con el uso de las enzimas. Por su parte, Zinn y Salinas (1999) evaluaron una enzima comercial en mautes (160 kg promedio) y detectaron un efecto positivo sobre la ganancia diaria de peso, consumo voluntario y eficiencia alimenticia. Sin embargo, Cano y cols. (2003) suplementaron bovinos mestizos (*taurus x indicus*, 220 kg peso vivo) a pastoreo con un alimento concentrado + urea + melaza (control) y los compararon con animales recibiendo la misma suplementación + 15 g/animal/d de una enzima fibrolítica comercial y no detectaron diferencias en el consumo voluntario, digestibilidad *in vivo* ni en la ganancia de peso entre tratamientos.

Las enzimas exógenas podrían ser más efectivas en animales jóvenes (becerros) ya que estas complementarían la batería de enzimas requeridas para digerir la fibra, especialmente en animales recién destetados, y por que la dieta de animales jóvenes debe ser de mejor calidad que la de animales adultos, por lo tanto el efecto positivo que pudieran ejercer las enzimas añadidas sobre el aprovechamiento de las dietas pudieran aumentar la respuesta productiva en rumiantes jóvenes. En este sentido, Strauch y cols. (2004) observaron una diferencia en ganancia de peso diario durante los primeros 126 días de edad en mautas mestizas a favor del grupo que recibió una suplementación enzimática. Sin embargo, no se detectaron diferencias a los 195 días de edad, lo que apoya la hipótesis de que los tratamientos enzimáticos pudieran ser más efectivos en animales jóvenes. Este efecto pudiera ser de particular importancia para tratar de solventar las pérdidas de peso en animales durante la fase de destete. Poco se sabe de la respuesta a los tratamientos enzimáticos entre diferentes categorías de animales, pero Beauchemin y Rode (1996, citados por Rode y Beauchemin, 1998) mostraron que las novillas se comportaron mejor productivamente que los novillos.

## CONCLUSIONES

Los resultados presentados demuestran que la efectividad de las enzimas fibrolíticas exógenas sigue siendo controversial, por lo tanto es necesario evaluar nuevos productos comerciales (ejm. de microorganismos psicrófilicos) y en diferentes condiciones usando animales bajo stress nutricional y/o con diferentes sustratos (dietas basadas en pastos tropicales y subtropicales) para dilucidar si realmente existen méritos para usar estos aditivos en dietas para rumiantes en condiciones tropicales.

## LITERATURA CITADA

- Adesogan AT. 2005. Improving forage quality and animal performance with fibrolytic enzymes. Proc. Florida Ruminant Nutrition Symposium. University of Florida, Gainesville. pp 91-109.
- Adesogan AT, Krueger NA, Salawu MB, Dean DB, Staples CR. 2004. The influence of treatment with dual purpose bacterial inoculants or soluble carbohydrates on the fermentation and aerobic stability of bermuda grass. *J Dairy Sci* 87: 3407-3416.
- Beauchemin KA, Colombatto D, Morgavi DP, Yang WZ. 2003. Use of exogenous fibrolytic enzymes to improve feed utilization by ruminants. *J Anim Sci* 81: E37-E47.
- Beauchemin KA, Colombatto d, Morgavi DP. 2004a. A rationale for the development of feed enzyme products for ruminants. *Can J Anim Sci* 84: 23-36.
- Beauchemin KA, Colombatto D, Morgavi DP, Yang WZ, Rode LM. 2004b. Mode of action of exogenous cell wall degrading for ruminants. *Can J Anim Sci* 84: 13-22.
- Beauchemin KA, Rode LM, Maekawa M, Morgavi DP, Kampen R. 2000. Evaluation of a nonstarch polysaccharidase feed enzyme in dairy cow diets. *J Dairy Sci* 83: 543-553.
- Beauchemin KA, Rode LM, Sewalt VJH. 1995. Fibrolytic enzymes increase fiber digestibility and growth rate of steers fed dry forages. *Can J Anim Sci* 75: 641-644.
- Beauchemin KA, Yang WZ, Rode LM. 1999. Effect of grain source and enzyme additive on site and extent of nutrient digestion in dairy cows. *J Dairy Sci* 83: 378-390.
- Bhat MK, Hazlewood GP. 2001. Enzymology and other characteristics of cellulases and xylanases. In: *Enzymes in Farm Animal Nutrition*. Eds. MM Bedford, GG Partridge. CABI International, U.K. pp 11-35.
- Bowman GR, Beauchemin KA, Shelford JA. 2002. The proportion of feed to which a fibrolytic enzyme additive is applied affects nutrient digestion by lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 85: 3420-3429.
- Cano L, Aranda EM, Mendoza GD, Perez J, Ramos JA. 2003. Comportamiento de toretes en pastos tropicales suplementados con cana de azúcar y enzimas fibrolíticas. *Tec Pec Mex* 41:153-164.
- Castro CH, Vázquez MS, Sánchez AF, Murillo OM. 2007. Comportamiento productivo de bovinos de engorda con enzimas fibrolíticas en la dieta y caracterización del preparado enzimático. Disponible en: [http://www.cocyted.gob.mx/Memoriasweb/DESARROLLO%20INDUSTRIAL%20Y%20AGROPECUARIO.htm#\\_Toc73419591](http://www.cocyted.gob.mx/Memoriasweb/DESARROLLO%20INDUSTRIAL%20Y%20AGROPECUARIO.htm#_Toc73419591). Consultado el: 4/6/07.
- Church DC. 1988. *The Ruminant Animal*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. pp 235-268.
- Clavero T, Razz R. 2002. Effects of biological additives on silage composition of Mott dwarf elephant grass and animal performance. *Rev Científica FCV-LUZ* 12: 313-316.
- Colombatto, D., D.P. Morgavi, A.F. Furtado, and K.A. Beauchemin. 2003a. Screening of exogenous enzymes for ruminants diets: Relationship between biochemical characteristics and *in vitro* ruminal degradation. *J. Anim.Sci.* 81: 2628-2638.
- Colombatto D, Mould FL, Bhat MK, Phipps RH, Owen E. 2001. Effects of ensiling temperature and enzyme additives on the fermentation and *in vitro* rumen degradation of maize silage. *J Dairy Sci* 84 (Suppl.1): 424-425 (Abstr.).
- Colombatto D, Mould FL, Bhat MK, Morgavi DP, Beauchemin KA, Owen E. 2003b. Influence of fibrolytic enzymes on the hydrolysis and fermentation of pure cellulose and xylan by mixed ruminal microorganisms *in vitro*. *J Anim Sci* 81: 1040-1050.

- Dawson K, Tricarico JM. 1999. The use of exogenous fibrolytic enzymes to enhance microbial activities in the rumen and the performance of ruminant animals. Proc. 15th Ann. Symp. Biotech Feed Industry, Loughborough, Leics, UK. pp 303-312.
- Dean DB, Adesogan AT, Krueger NA, Littell RC. 2005a. Effect of fibrolytic enzymes on the fermentation characteristics, aerobic stability, and digestibility of bermuda grass silage. J Dairy Sci 88: 994-1003.
- Dean, DB, Adesogan AT, Staples C, Arriola K, Kim S, Krueger N, Huisden M, Chikagwa, S, Amaral B. 2005b. The effect of method of dietary addition of a fibrolytic enzyme on the performance of lactating dairy cows. J Anim Sci 83, Suppl. 1/J Dairy Sci 88, Suppl. 1.
- Dean DB, Adesogan AT, Valencia E, Krueger N. 2006. Effect of fibrolytic enzymes or ammonia treatment on the nutritive value of 6-wk and 8-wk regrowths of guineagrass hay. J Anim Sci 84, Suppl. 1/J Dairy Sci 89, Suppl. 1.
- Dean DB, Adesogan AT, Krueger N, Littell RC, Sollenberger LE. 2007. Effects of treatment with ammonia or fibrolytic enzymes on chemical composition and ruminal degradability of hays produced from tropical grasses. Anim Feed Sci Technol. (En imprenta).
- Fanutti C, Ponyi T, Black GW, Hazlewood GP, Gilbert HJ. 1995. The conserved non-catalytic 40-residue sequence in cellulases and hemicellulases from anaerobic fungi functions as a protein docking domain. J Biol Chem 270: 29314-29322.
- Hristov AN, McAllister TA, Cheng KJ. 1998. Effect of dietary or abomasal supplementation of exogenous polysaccharide-degrading enzymes on rumen fermentation and nutrient digestibility. J Anim Sci 76: 3146-3156
- Hristov AN, McAllister TA, Cheng KJ. 2000. Intraruminal supplementation with increasing levels of exogenous polysaccharide-degrading enzymes: Effects on nutrient digestion in cattle fed a barley grain diet. J Anim Sci 78: 477-487.
- Jung HG, Allen MS. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. J Anim Sci 73: 2774-2790.
- Jurkovich V, Brydl E, Rafai P. 2002. Effects of a non-starch polysaccharidase enzyme preparation from *Thermomyces lanuginosus* on energy and protein metabolism and milk yield of dairy cattle. Acta Veterinaria Hungarica 50: 395-411.
- Krause M, Beauchemin KA, Rode LM, Farr BI, Nørgaard P. 1998. Fibrolytic enzyme treatment of barley grain and source of forage in high-grain diets fed to growing cattle. J Anim Sci 76: 2912-2920.
- Krueger NA, Adesogan AT, Dean DB, Krueger W. 2004. Effect of esterase enzyme treatment on the *in situ* rumen degradability and soluble carbohydrate content of tropical grasses. J Anim Sci 82 (Suppl. 1): E44.
- Krueger NA, Dean DB, Krueger W, Staples CR, Adesogan AT. 2003. Effect of fibrolytic enzyme preparations containing esterase, cellulase, and endogalacturonase activity on the digestibility of mature, tropical grass hays. J Anim Sci 81 (Suppl. 1): E149.
- Kung LJr, Cohen MA, Rode LM, Treacher RJ. 2002. The effect of fibrolytic enzymes sprayed onto forages and fed in a total mixed ration to lactating dairy cows. J Dairy Sci 85: 2396-2402.
- Kung LJr, Ranjit NJ. 2001. The effect of *Lactobacillus buchneri* and other additives on the fermentation and aerobic stability of barley silage. J Dairy Sci 84: 1149-1155.
- Kung LJr, Treacher RJ, Nauman GA, Smagala AM, Endres KM, Cohen MA. 2000. The effect of treating forages with fibrolytic enzymes on its nutritive value and lactation performance of dairy cows. J Dairy Sci 83: 115-122.

- Lewis GE, Sanchez WK, Hunt CW, Guy MA, Pritchard GT, Swanson BI, Treacher RJ. 1999. Effect of direct-fed fibrolytic enzymes on the lactational performance of dairy cows. *J Dairy Sci* 82: 611-617.
- Mandevu P, West JW, Froetschel MA, Hatfield RD, Gates RN, Hill GM. 1999. Effect of enzyme or microbial treatments of bermudagrass forages before ensiling on cell wall composition, end products of silage fermentation and *in situ* digestion kinetics. *Anim Feed Sci Technol* 77: 317-329.
- McAllister TA, Hristov AN, Beauchemin KA, Rode LM, Cheng K-J. 2001. Enzymes in Ruminant Diets. In: *Enzymes in farm animal nutrition*. Eds. MR Bedford, GG Partridge. CABI International, UK. pp. 273-298.
- McHan F. 1986. Cellulase-treated coastal bermudagrass silage and production of soluble carbohydrates, silage acids and digestibility. *J Dairy Sci* 69: 431-438.
- Morgavi DP, Nsereko VL, Rode LM, Beauchemin KA, McAllister TA, Wang Y. 2000. Effect of *Trichoderma* feed enzyme on growth and substrate degradation by *Fibrobacter succinogens* F85. *Reprod Nutr Dev* 40: 219.
- Nowak W, Kruczynska H, Grochowska S. 2003. The effect of fibrolytic enzymes on dry matter, ADF and NDF ruminal disappearance and intestinal digestibility. *Czech J Anim Sci* 48: 191-196.
- Nsereko VL, Morgavi DP, Beauchemin KA, Rode LM, Furtado AF, McAllister TA. 2000a. Effects of feeding fungal feed enzyme preparation on the rumen microbial population. *Reprod Nutr Dev* 40: 219-225.
- Nsereko VL, Morgavi DP, Rode LM, Beauchemin KA, McAllister TA. 2000b. Effects of fungal enzyme preparations on hydrolysis and subsequent degradation of alfalfa hay fiber by mixed rumen microorganisms *in vitro*. *Anim Feed Sci Technol* 88: 153-170.
- Officer DI. 2000. Feed enzymes. In: *Farm animal metabolism and nutrition*, JPF Mello, Ed. CABI Publishing, Edinburgh, UK. pp 405-426.
- Phipps RH, Sutton JD, Beever DE, Bhat MK, Hartnell GF, Vicini J, Hard. DL. 2000. Effect of cell-wall degrading enzymes and method of application on feed intake and milk production of Holstein-Friesian dairy cows. *J Dairy Sci* 83 (Suppl. 1): 23 (Abstr.).
- Rode LM, Beauchemin KA. 1998. Enzymes to enhance utilization of feed in dairy cows. Research Center, Agriculture and Agri-Food Canada, Box 3000, Lethbridge, AB T1J 4B1, Canada. Available: <http://www.wcds.afns.ualberta.ca/Proceedings/1998/ch15.htm>
- Rode LM, Yang WZ, Beauchemin KA. 1999. Fibrolytic enzyme supplements for dairy cows in early lactation. *J Dairy Sci* 82: 2121-2126.
- Rodrigues MA, Cone JW, Sequeiro CA, Mascarenhas-Ferreira A. 2001. Effect of the addition of cell wall degrading enzymes on fermentation kinetics of perennial ryegrass silage. *J Agric Sci Cambridge*. 136: 443-449.
- Selmerolsen I, Henderson AR, Robertson S, McGinn R. 1993. Cell-wall degrading enzymes for silage. 1. The fermentation of enzyme-treated ryegrass in laboratory silos. *Grass Forage Sci* 48: 45-54.
- Shepherd AC, Kung LJr. 1996. An enzyme additive for corn silage: effects on silage composition and animal performance. *J Dairy Sci* 79: 1760-1766.
- Schingoethe DJ, Stegeman GA, Treacher RJ. 1999. Response of lactating dairy cows to a cellulase and xylanase enzyme mixture applied to forages at the time of feeding. *J Dairy Sci* 82: 996-1003.

- Sutton JD, Phipps RH, Beever DE, Humphries DJ, Hartnell GF, Vicini JL, Hard DL. 2003. Effect of method of application of a fibrolytic enzyme on digestive processes and milk production in Holstein-Friesian cows. *J Dairy Sci* 86: 546-556.
- Van Vuuren AM, Bergsma K, Krol-Kramer F, Van Beers JAC. 1989. Effects of addition of cell wall degrading enzymes on the chemical composition and the *in sacco* degradation of grass silage. *Grass and Forage Sci* 44: 223-230.
- Vicini JL, Bateman HG, Bhat MK, Clark JH, Erdman RA, Phipps RH, Van Amburgh ME, Hartnell GF, Hintz RL, Hard DL. 2003. Effect of feeding supplemental fibrolytic enzymes or soluble sugars with malic acid on milk production. *J Dairy Sci* 86: 576-585.
- Wang Y, McAllister TA. 2002. Rumen microbes, enzymes and feed digestion. Agriculture and Agri-Food Canada Research Centre, Canada. Mimeo. 21 pp.
- Yang WZ, Beauchemin KA, Rode LM. 1999. Effects of an enzyme feed additive on extent of digestion and milk production of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 82: 391-403.
- Yescas-Yescas R, Bárcena-Gama R, Mendoza-Martínez GD, González-Muñoz SS, Cobos-Peralta M, Ortega Cerrilla ME. 2004. Digestibilidad *in situ* de dietas con rastrojos de maíz o paja de avena con enzimas fibrolíticas. *Agrociencia*. 38:23.
- Zheng WD, Schingoethe DJ, Stegeman GA, Hippen AR, Treacher RJ. 2000. Determination of when during the lactation cycle to start feeding a cellulase and xylanase enzyme mixture to dairy cows. *J Dairy Sci* 83: 2319-2325.