

## **MANIPULACIÓN DE LA FERMENTACIÓN RUMINAL: UNA FORMA DE CONTRIBUIR A LA PRODUCCIÓN ANIMAL EN EL TRÓPICO**

**UNIDAD EJECUTORA PRINCIPAL DEL RESULTADO:** Instituto de Ciencia Animal

**AUTORES PRINCIPALES:** <sup>1</sup>Juana L. Galindo Blanco, <sup>1</sup>Yoandra Marrero Rodríguez, <sup>1</sup>Rafael Rodríguez Hernández y <sup>1</sup>Areadne Sosa Ceijas

**OTROS AUTORES:** <sup>1</sup>Odilia Gutiérrez Borroto, <sup>1</sup>Niurca González Ybarra, <sup>1</sup>René Stuart Montalvo, <sup>1</sup>Arabel Elías Iglesias, <sup>2</sup>Alexei Díaz Reyes, <sup>3</sup>Manuel Fondevilla, <sup>4</sup>Oscar Ruiz Barrera, <sup>1</sup>Onidia Moreira Cardó, <sup>1</sup>Delfín Gutiérrez González, <sup>1</sup>Ramón Bocourt Salabarría, <sup>1</sup>Orestes La O León e <sup>1</sup>Idania Scull Rodríguez.

**COLABORADORES:** Luiz Adibbe, Ana Irma Aldana Cruzata, Juan Cairo Sotolongo, Denia Delgado Fernández, Joel Ayala Galindo, Odalys Uffo Reinoso, Daiky Valenciaga Gutiérrez, Aned Capó Hernández, Verena Torres Cárdenas, Esperanza Ybarra, Mabel Almeida, Tomás Ruiz Vázquez, Gustavo Febles, Jatnel Alonso, Lucía Sarduy, María A. Baez, Felix Sierra, Reinaldo Fernández, Eulogio Muñoz Borges, Jorge Iraola Jerez, Roberto García López, Yamicela Castillo, Redimio Pedraza, Fernando Rodríguez Villamizar, Harinder Makkar, Humberto Jordán Vázquez, María José Ranilla, María Dolores Carro, Nereyda Albelo Orta, Odalys Nuñez Peñalver, René Bell, Félix Herrera, Duniesky Rodríguez, Zoraya Rodríguez, Ana Elia Álvarez, Juan B. Michelena, María Rosa González, Ana Valeria Enrique, Helder Louvandini, Patricia Louvandini, Ana Julia Rondón, Grethel Milian, Marlen Rodríguez, Arellys Vázquez, Raúl Cobo, Carlos Muela, Maritza Gutiérrez, Yanet Rodríguez, Bertha Chongo, Martha L. Arcos, Elizabeth Martín, Faisury Ossa, Claudio Arzola.

### **UNIDADES EJECUTORAS PRINCIPALES DEL RESULTADO**

1. Instituto de Ciencia Animal, (ICA).
2. Universidad Camilo Cienfuegos de Matanzas
3. Universidad de Zaragoza, España
4. Universidad Autónoma de Chihuahua

### **AUTORA PARA LA CORRESPONDENCIA**

Juana L. Galindo Blanco

Instituto de Ciencia Animal

Carretera. Central Km. 47 ½, A. Postal 24, San José de las Lajas C. P. 32700, Mayabeque, CUBA.

Teléfono. : (047) 599180

[jgalindo@ica.co.cu](mailto:jgalindo@ica.co.cu); <http://www.ica.inf.cu>

## **RESUMEN CORTO**

El rumen es el órgano más voluminoso del aparato digestivo de los rumiantes y constituye una de las comunidades microbianas más densas y complejas que existe en la naturaleza. El empleo de biotécnicas encaminadas a manipular el complejo ecosistema ruminal constituye una alternativa actual, cuyo propósito es activar o modificar los sitios sensibles de desarrollo microbiano, incrementar la degradación de la fibra, producción de enzimas, productos finales de la acción microbiana específicamente el patrón de fermentación, pasaje de nutrientes, entre otros. En este sentido, se realizó una secuencia experimental con el **objetivo general** de manipular los procesos fermentativos del rumen lo que contribuirá a la mayor utilización digestiva de los alimentos que consumen los rumiantes. Los estudios abarcaron el empleo de biotécnicas manipuladoras para incrementar la población de microorganismos fermentadores de la celulosa, la celulolisis, optimizar la degradabilidad de la fibra y reducir la producción de metano. Con éste propósito se emplearon aditivos de origen microbiano o zootécnico, dentro de las cuales se encuentran preparados con levaduras y hongos viables e hidrolizados de levaduras. La sincronización entre los metabolismos microbianos energético y proteico, que asegura el adecuado equilibrio ecológico, también se garantizó con el empleo de activadores de la fermentación ruminal, demostrándose sus ventajas en la situación actual de la ganadería cubana. La reducción de la degradabilidad ruminal de las proteínas y almidones, incrementar la utilización digestiva de las referidas biomoléculas en las partes bajas del TGI, donde podrán ser utilizados de manera más eficiente condujo a realizar estudios que abarcaron la protección de las fuentes mediante la reacción de glucosilación no enzimática de las proteínas y formaldehído; manipulación dietaria con moduladores como la Zeolita natural, Bentonita sódica y uso de plantas taníferas con efecto reductor de la proteólisis. Los resultados muestran por primera vez en Cuba, el efecto de los diferentes moduladores en la cinética fermentativa ruminal, las poblaciones microbianas involucradas y su relación con el metabolismo ruminal. La importancia radica en su enfoque, que permite la integración de diferentes métodos a tomar en consideración para desarrollar la productividad ganadera de forma sostenible. Constituye una herramienta útil para la toma de decisiones con respecto al empleo de diferentes estrategias capaces de manipular la fermentación ruminal, utilizar de manera más eficiente los recursos alimenticios que se dispone para obtener mayor productividad animal. La información se divulgó mediante 1 tesis de Doctor en Ciencias, 3 tesis de Doctor en Ciencias Veterinarias, 3 de maestría, 34 publicaciones periódicas, 1 libro, 1 capítulo de libro, 2 registros de obra literaria, 2 multimedia y 51 participaciones en eventos científicos de carácter nacional e internacional, informe finales de Proyectos nacionales e internacionales: 2 del CITMA territorial, 2 MES/CAPES, 3 CTPD/Colombia, 1 OIEA, 3 MAE-AECID. Además, los autores recibieron 4 premios y reconocimientos.

## **INTRODUCCIÓN**

Manipular la fermentación ruminal no es más que utilizar un conjunto de biotécnicas con el propósito de activar o modificar los sitios sensibles de desarrollo microbiano, producción de enzimas, productos finales de la acción microbiana específicamente el patrón de fermentación, pasaje de nutrientes, entre otros. Este concepto fue descrito, primeramente, en Cuba por Marty (1972), como alternativa para los países cuya base alimentaria para el ganado está compuesta por alimentos fibrosos de baja calidad. Desde entonces, este concepto se ha ampliado y en la actualidad se puede modificar la fermentación microbiana ruminal en dependencia del propósito productivo que se desee (Galindo y Marrero 2005, Edwards *et al* 2008; Di Lorenzo *et al*, 2015; Henry *et al*, 2015; Mercadante *et al*, 2015; Galindo *et al*, 2017).

La manipulación de la fermentación ruminal requiere del esfuerzo mancomunado de los microbiólogos, bioquímicos, fisiólogos y nutricionistas. El presente trabajo es un modesto aporte a éste propósito. Para ello se desarrollaron diferentes estrategias, estas son: **(I)** Manipulación de la fermentación ruminal mediante el empleo de aditivos de origen microbiano **(II)** Empleo de activadores ruminales y **(III)** Empleo de técnicas manipuladoras para reducir la proteólisis y amilólisis ruminal.

## **PRINCIPALES RESULTADOS**

### **Biotécnica 1: Manipulación de la fermentación ruminal mediante el empleo de aditivos de origen microbiano: aditivos zootécnicos**

#### **1. Manipulación del ecosistema ruminal mediante preparados con levaduras y hongos viables**

Se desarrollaron 14 experimentos para determinar el efecto de la inclusión de un preparado con células vivas de *Saccharomyces cerevisiae* L/25-7-13 y *Aspergillus oryzae* H/6.28.1 solas o en su medio de cultivo como manipuladoras del ecosistema ruminal. Los resultados demostraron modificaciones en las poblaciones microbianas del rumen y se reportó la capacidad de los referidos microorganismos para estimular el crecimiento de las poblaciones de bacterias totales y de bacterias y hongos celulolíticos (Marrero, 2005; Sosa *et al*, 2012). Esta acción provocó incrementos en la celulólisis, degradabilidad de la MS, FDA y FDN, producción de gas acumulada (Marrero *et al*, 2014; Sosa, 2009) y en la eficiencia fermentativa del rumen. Por otra parte se comprobó que la levadura en su medio de cultivo es capaz de activar los procesos fermentativos en mayor proporción, que la célula viva sola o los productos de su excreción (Marrero *et al*, 2008) y son metabólicamente activas en el fluido ruminal hasta las 24 horas después de su inclusión lo cual demuestra la necesidad de la adición de dosis diarias. En otro grupo de experimentos se demostró que *S. cerevisiae* y LEVICA- 25 (*Candida tropicalis*) incrementaron en 1,75 y 2,25 veces la población de bacterias celulolíticas, respectivamente al tiempo que redujeron la población de metanógenos y la producción de metano probablemente mediante un mecanismo que implica remoción de un factor relacionado con la estabilidad del pH ruminal (Galindo *et al*, 2011).

El mayor impacto acerca del uso de éstos preparados para activar la fermentación ruminal se debió al aislamiento de 24 cepas de levaduras diferentes de *S. cerevisiae* a

partir rumen de vacas que consumieron el producto activador MEBA (Elías et al 2005). Las cepas se identificaron por la técnica de PCR y Análisis de Restricción de ADN Ribosomal Amplificado y se registraron en el GenBank. Todas las cepas son más activas que su referente, destacándose la denominada LEVICA-27 (*Pichia guilliermondii*), que produjo 15% más de gas acumulado en 24 h de fermentación. (Marrero et al, 2010; Galindo y Marrero. 2009). Además, el preparado microbial con levadura *S. cerevisiae* se evaluó en vacas lecheras, con incremento de la producción diaria, contenido en proteínas y grasa (Galindo et al, 2011).

Los estudios con *A. oryzae* H/6.28.1 (Sosa, 2012) demostraron la capacidad de esta cepa para aumentar 2.72 veces las poblaciones de bacterias celulolíticas, 2.38 veces los hongos anaerobios celulolíticos del rumen y 2.41 veces las bacterias anaerobias totales y su mejor dosis es 0.02 mg/mL (Sosa, 2012; Sosa et al, 2011). Quedó demostrada la inocuidad de esta cepa, al descartarse la presencia de aflatoxinas y ocratoxina A en el cultivo, lo que confiere gran valor y garantiza su uso en la alimentación de rumiantes, sin riesgos para la salud

## **2. Manipulación del ecosistema ruminal mediante un hidrolizado de levaduras**

Para evaluar el efecto de un hidrolizado enzimático de levadura *S. cerevisiae* como manipulador de la fermentación ruminal se ejecutaron 9 experimentos. Las dosis de 4,3; 8,5; 12,8 y 17 g BS del hidrolizado.kg de concentrado, equivalente a 32; 65, 97.5 y 130 mg de  $\beta$  (1,3) glucano. kg de concentrado, respectivamente activó las poblaciones de bacterias, los hongos celulolíticos duplicaron su población y actividad enzimática (Galindo 2006 y Galindo et al 2010). La dosis de 17 g BS.kg. Concentrado. día favoreció un mayor potencial de producción *in vitro* de gas y redujo la fase lag en la curva de crecimiento microbiano del rumen, lo que demostró su capacidad de incrementar la colonización de los sustratos y la degradabilidad de la MS, MO, FDA y FDN.

### **Biotécnica 2: Manipulación de la fermentación con el empleo de activadores ruminales**

El uso de activadores permitió demostrar las potencialidades de esta biotécnica al lograr fermentaciones estables, lo que garantiza el funcionamiento del ecosistema ruminal como una cámara de fermentación continua. Se emplearon tres activadores denominados (SNA-100; SNA 85 y SNA-70) en dietas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y se incrementó la población de bacterias celulolíticas (Galindo et al, 2006), siendo más numerosa con SNA-70, relación NNP/PV de 70:30, lo que demostró el papel de los aminoácidos en la activación de la población celulolítica y degradación de la fibra en rumen. Otra generación de activadores, el AFR, contiene 29 % de harina de planta proteica *L. leucocephala* y otras sustancias, produjo poblaciones de protozoos entre  $1.50 - 6.00 \times 10^5$  células.mL<sup>-1</sup> en el rumen, incrementa la población de bacterias y hongos celulolíticos y mantiene el pH óptimo para la celulolisis y rendimiento microbiano (Galindo et al, 2008). Por otro lado, el activador ruminal Granulado Jordán (Jordán Patente No. **CU 22660 A1**) duplicó la población de bacterias y hongos celulolíticos ruminales. La actividad celulolítica (U) y la actividad específica del complejo de enzimas celulasas (U/mg proteína) se quintuplicaron y, consecuentemente, se dispuso de una mayor concentración de azúcares reductores en el líquido ruminal,

disponibles para la síntesis de proteína microbiana (Galindo et al 2016; Galindo et al, 2017). Diferentes generaciones de activadores, formuladas por los autores propician poblaciones de bacterias celulolíticas desde  $1,56 \cdot 10^5$  ufc.mL hasta  $1,02 \cdot 10^7$  ufc.mL de líquido ruminal en relación a  $0,5 \cdot 10^5$  ufc.mL en animales que no recibieron el activador (Galindo et al, 2005; Galindo y Marrero, 2005 y Galindo et al 2011). El activador denominado VITAFERT en dosis de  $6,0 \text{ mL kg PV}^{-1}$  en cabras incrementó la concentración de AGCC y biomasa microbiana ruminal (Gutiérrez et al, 2012a), el consumo de MS, FND y la eficiencia de utilización de la energía y PB (Gutiérrez et al, 2012b). La cinética fermentativa mostró mayor producción *in vitro* de gases, síntesis y eficiencia de biomasa microbiana (Gutiérrez et al, 2013). Las saponinas y taninos de origen vegetal para su empleo dentro de los activadores demostraron sus potencialidades al modular el proceso fermentativo, reducir los protozoos y metanógenos. Las saponinas no modificaron el número de la bacteria celulolítica *Fibrobacter succinogenes* determinadas mediante PCR-RT, deprime a *Ruminococcus albus*, probablemente debido a que ambas utilizan el mismo recurso y fuente de carbono en el rumen (Galindo et al, 2017). Los taninos, reducen los protozoos ciliados (Galindo et al, 2016).

El activador denominado ACTIBIOL® se validó en Cuba y en Uruguay (Elías et al, 2012) donde, además, se produjeron incrementos en la ganancia de peso vivo y eficiencia alimenticia.

### **Biotécnica 3: Empleo de técnicas manipuladoras para reducir la proteólisis y amilolisis ruminal**

Los rumiantes fermentan las proteínas y los almidones en el rumen como consecuencia de la acción de las proteasas y amilasas producidas por determinados microorganismos que habitan el reservorio, lo que reduce la eficiencia de utilización de estas biomoléculas por los animales. Este proceso biológico, inevitable por demás, puede manipularse. Se desarrollaron metodologías para reducir la proteólisis y amilolisis y los resultados de los experimentos en condiciones *in vitro* indicaron que las mismas resultan prácticas y factibles para los objetivos propuestos (**Registro** 2629-09-2016 y 2628-09-2016).

Para reducir la proteólisis y amilolisis ruminal se emplearon las siguientes técnicas (I) uso de la reacción de glucosilación no enzimática de las proteínas y formaldehído; (II) manipulación dietaria a partir de moduladores de la fermentación ruminal: Zeolita natural, Bentonita sódica y (III) uso de plantas taníferas con efecto reductor de la proteólisis.

#### **1. Reducción de la proteólisis y amilolisis ruminal mediante la reacción de glucosilación no enzimática de las proteínas**

Mediante la ejecución de 9 experimentos *in vitro*, se estudió el efecto del empleo de la reacción de glucosilación no enzimática de las proteínas en la reducción de la proteólisis y amilolisis ruminal *in vitro* y en las poblaciones microbianas involucradas en el proceso. Estudios realizados en condiciones *in vitro* (Galindo y Stuart, *et al.* 2009), evidenciaron que la harina de soya protegida mediante este procedimiento con los azúcares reductores glucosa, fructosa, xilosa y la mezcla equimolar glucosa/fructosa redujo la solubilidad y degradabilidad de la proteína *in vitro*. La actividad proteolítica

producida por las proteasas microbianas del rumen (**U**) y la proteolítica específica (**U.mg proteína**) fueron menores cuando la reacción se produjo a partir de la mezcla equimolar de glucosa: fructosa) y se encontró menor concentración de amoníaco en rumen. La proteína de soya tratada por ese procedimiento (Galindo y Stuart, 2016) con miel B invertida (100; 75 y 50%) y tres pH de reacción: 7,97; 8,45 y 9,18 redujo la degradación de la proteína a las 12 horas, siendo más efectivo el tratamiento con 50% de miel B invertida. Se demostró que se redujo 75% la población de bacterias proteolíticas y 15% la digestibilidad *in situ* de la proteína (González et al 2010). Los parámetros que indican la degradabilidad para una tasa de recambio de  $k = 0.05$ , mostraron que la fracción soluble **a** y la insoluble pero degradable en el tiempo **b**, son menores cuando se trata la proteína, consecuentemente, la degradabilidad total y la efectiva son también menores. La digestibilidad intestinal de las harinas tratadas no difirió entre tratamientos lo que indica que no hubo sobreprotección de las proteínas y la misma se puede digerir en las partes bajas del TGI. Se realizó un estudio detallado acerca del efecto de la protección de los almidones con azúcares reductores y formaldehído en la población de bacterias amilolíticas viables y su relación con otros grupos microbianos del rumen, lo que constituye un aporte al conocimiento sobre esta temática en Cuba. Se demostró, en condiciones *in vitro* que la suplementación con harinas de maíz y de trigo tratadas con formaldehído promovieron menores poblaciones de bacterias viables totales ruminales (Stuart y Galindo et al, 2015). La protección redujo en 44% las bacterias amilolíticas cuando la fuente fue el maíz y 38% con el trigo, lo que produjo incrementos en el pH ruminal que garantizó ecosistema estable y óptimo para la celulolisis (Galindo et al, 2009). Se demostró que el tratamiento a la harina de maíz con miel B invertida y calor redujo a  $\frac{1}{3}$  la población de bacterias amilolíticas ruminales. La capacidad de fermentación de la molécula de almidón se redujo y consecuentemente, la concentración de AGCC menor.

## **2. Manipulación de la fermentación ruminal con el empleo de la Bentonita sódica y la Zeolita natural en la proteólisis ruminal**

Se demostró que las Zeolitas intercambian sus iones móviles con los compuestos nitrogenados en el rumen, lo que provoca su liberación lenta, mayor disponibilidad para los microorganismos y el animal hospedero. Las Bentonitas, debido a su estructura química, pueden retener las enzimas proteolíticas, se inhibe el ataque a las proteínas dietarias, también se señala la adsorción de aminoácidos y su liberación en las partes bajas de tracto donde son absorbidos y por último se plantea que las partículas de Bentonita pudieran encapsular las proteínas y prevenir la penetración de las enzimas proteolíticas (Gutiérrez, 2010)

A través de 8 experimentos utilizaron bentonitas y zeolitas naturales para establecer sus mecanismos de acción en la protección de la proteína dietética del ataque por los microorganismos del rumen, disminuir su degradabilidad, lograr suministro constante de  $\text{NH}_3$  a este nivel, capaz de favorecer la eficiencia de síntesis de proteína microbiana (*Síntesis de Novo*). Los estudios permitieron demostrar que la Bentonita actúa de manera diferente frente a 4 fuentes de nitrógeno: soya, urea, hojas de *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium* (Gutiérrez et al, 2011). Su inclusión con harina de soya redujo el  $\text{NH}_3$  ruminal a 64,7%. La cantidad porcentual de nitrógeno protegido para cada una de las fuentes fue de 65, 60, 44 y 24% para la soya, *G. sepium*, *L. leucocephala* y urea, respectivamente. La digestión intestinal de los residuos mostró

altas liberaciones en los tratamientos con Bentonita, lo que corrobora que este mineral no se excreta unido a los compuestos nitrogenados, debido a que se libera en las partes bajas del TGI. Por su parte, con la zeolita natural se encontró que con ensilaje de caña, Gliricidia, Leucaena y soya, la cantidad de amoníaco en rumen fue equivalente a la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  libre en el líquido ruminal, lo que pone de manifiesto su efecto de intercambio iónico. Los estudios permitieron informar que ambas fuentes intervienen en el metabolismo del nitrógeno y que sus mecanismos de acción difieren a nivel del rumen: la bentonita protege a la proteína de alto valor biológico y garantiza aportes de proteína sobrepasante, mientras que la zeolita capta los productos de fermentación de la proteína ( $\text{NH}_4^+$ ) y los libera lentamente, lo que propicia mayor utilización del  $\text{NH}_4^+$  por los microorganismos para la síntesis *de novo*. Ello permite recomendar a la zeolita en dietas con alta degradabilidad ruminal de la proteína y la bentonita en dietas con proteína de alto valor biológico, lo que propiciará su paso a las partes bajas del TGI donde será utilizada de manera más eficiente.

### **3. Uso de plantas taníferas tropicales con poder protector de las proteínas en el rumen**

El empleo de plantas taníferas tropicales como fuente de proteínas constituye una opción económica, ante los altos costos de alimentos proteicos, al tiempo que los taninos posibilita su protección al ataque por las proteasas microbianas. A través de 5 experimentos, se realizó un estudio químico y fitoquímico detallado acerca de las potencialidades de plantas taníferas por su capacidad de reducir la proteólisis ruminal a partir de la relación tanino/proteína. Los tenores de taninos se encontraron entre 2,3-5,43% de la MS. Para determinar el efecto de los taninos en la degradabilidad de las proteínas, los mismos se inactivaron con 1,6 g de PEG-6000, así como su combinación con la zeolita (Rodríguez et al, 2014). La utilización de taninos extraídos de *A. lebbekoides* y *A. cornigera* como protectores de la proteína de soya, produjo reducción de la concentración ruminal de  $\text{NH}_3$  (Rodríguez et al, 2014) y disminución de las cantidades de N solubilizado ( $P < 0.01$ ). Los niveles de  $\text{NH}_3$  producidos se relacionaron con la solubilidad del N estimada ( $r = 0.9375$ ). Los estudios demostraron que la digestibilidad intestinal *in vitro* del nitrógeno no degradado en rumen fue de 85,5 - 86,6% cuando se utilizó PEG como acomplejante de los taninos y que las proteínas se liberan en el intestino debido a la actividad de las proteasas intestinales así como se definieron ecuaciones de regresión lineal con coeficientes de determinación superiores a  $R^2 = 0,65$ , que demuestra el aumento de la degradabilidad efectiva ruminal de nutrientes por el uso de diferentes niveles de PEG (Rodríguez et al, 2014). Estudios anteriormente desarrollados por Rodríguez et al, (2013) y que no integran la presente propuesta, describieron el efecto biológico de los taninos (**EB**), su índice de reactividad (**IR**, mg PEG) y reactividad absoluta (**IRA**, gas mg. mL PEG). El **IR** caracteriza una fuente de tanino específica y depende del potencial fermentativo de la planta (Rodríguez et al, 2015). El **IRA** es una herramienta para la comparación entre especies vegetales, ya que se refiere al volumen total de gas producido. La estimación de estos índices es una herramienta económica y sencilla, que da una visión más completa de los patrones de actividad biológica de los taninos en condiciones prácticas, que puede complementar otros índices de efectos biológicos. Los resultados permiten comunicar que los taninos de diferentes especies vegetales tienen diferentes efectos en la fermentación ruminal y varían en relación con los taninos hidrolizables (**TH**) y condensados (**TC**), peso molecular, estructura, reactividad química así como la solubilidad y concentración de

proteína de la dieta. De importancia es el estudio del fraccionamiento de proteínas vegetales, el que mostró que las albúminas y globulinas son las fracciones más representadas en *Cannavalia ensiformis*, seguida de *Lablab purpureum* y menor representación en *Stylobium aterrimum*, donde las fracciones de glutelinas fue casi el doble de las encontradas en *C. ensiformis*, y *L. purpureum*. En *Dolicho* la distribución de las fracciones proteicas guarda más similitud que en las otras leguminosas estudiadas mientras que en *Mucuna* más de un 60 % de las fracciones corresponden a las prolaminas y glutelinas, hecho que pudiera explicar la cinética de la desaparición de hojarasca en una u otra de estas leguminosas así como la diferencia en la desaparición del nitrógeno (Chongo et al, 2009. Informe Final de Proyecto PNCT 300204).

## **MAGNITUD Y ALCANCE DE LOS RESULTADOS**

### **Novedades científicas que se derivan del trabajo**

- Se realizó, por primera vez, un estudio detallado acerca de diferentes métodos y estrategias encaminadas a manipular la fermentación ruminal, incrementar la población de microorganismos celulolíticos, la celulolisis, degradación de la fibra y eficiencia de utilización de los alimentos por los rumiantes
- La ejecución de un estudio acerca de estrategias dietarias para reducir la proteólisis y amilólisis ruminal, que incluyeron el uso de la reacción de glucosilación no enzimática de las proteínas, manipulación dietaria a partir de productos moduladores de la fermentación ruminal, Zeolita natural, Bentonita sódica y uso de plantas taníferas con efecto reductor de la proteólisis, el que incluyó a las poblaciones microbianas, la degradabilidad de la proteína y los almidones *in vitro*, *in situ*, su evaluación *in vivo* así como su relación con el metabolismo de las referidas biomoléculas en el rumen.
- La obtención de diferentes generaciones de activadores ruminales y verificado su efecto en la ecología microbiana del rumen de animales que consumen alimentos fibrosos de baja calidad. Estos resultados representan un importante aporte al conocimiento científico y permiten trazar estrategias de alimentación basadas en la utilización de éstos productos
- Se esclarecieron los mecanismos de acción de preparados de origen microbiano con levaduras y hongos viables, así como los hidrolizados de levaduras, que demuestra sus potencialidades para activar las poblaciones de microorganismos degradadores de la celulosa, reductores de los metanógenos y eficiencia de utilización de la energía, cuando se incluyen en la dieta de los rumiantes
- Se describieron los mecanismos de acción de las Zeolitas naturales y la Bentonita sódica en relación a la proteólisis y utilización del amoníaco en el rumen, lo que permite recomendar el uso de la zeolita con alto grado de degradabilidad ruminal de la proteína, mientras que la bentonita se debe utilizar en dietas con proteína de alto valor biológico
- La evaluación de plantas taníferas tropicales comprobó su elevado contenido en PB y de taninos con poder acomplejante de las proteínas dietarias, lo que permitió la propuesta de un nuevo enfoque para evaluar el efecto de los taninos en la fermentación ruminal: su efecto biológico dado por la proporción de la respuesta a la inactivación total de los taninos, (BE) y la reactividad (capacidad de los taninos de unirse

químicamente con diferentes cantidades de un reactivo. Estos resultados representan un importante aporte al conocimiento científico

- La determinación, por primera vez, del efecto de la cepa de H/6.28.1 de *A. oryzae* en la fermentación ruminal. Realizar las primeras determinaciones de capacidad toxigénica e informar a la comunidad científica el comportamiento de *A. oryzae* H/6.28.1 en el medio ruminal.
- El aislamiento de cepas de levaduras que no pertenecen al género *Saccharomyces*, con potencialidades de uso como activadores de la fermentación ruminal en magnitud superior a su referente

### **APORTES CIENTÍFICOS E IMPORTANCIA DEL TRABAJO**

- Se dispone de dos metodologías que permiten el tratamiento y evaluación de las fuentes de proteínas y almidones, en condiciones *in vitro*
- Se cuenta con dos registros de derecho de autor de obra literaria acerca de los procedimientos para la protección de las proteínas y los almidones, los que están disponible para todos los interesados en el tema
- Se cuenta con 7 cepas de levaduras, que no pertenecen al género *Saccharomyces*, registradas en el GenBank, promisorias para su empleo en la alimentación animal, con el propósito de manipular la fermentación ruminal.
- Se informa que *Pichia guilliermondii* tiene potencial para incrementar la eficiencia fermentativa ruminal
- Se dispone de una herramienta que ofrece la posibilidad de determinar el efecto biológico y reactividad de los taninos a partir de la técnica de producción de gases, la que resulta fácil y adaptada a las condiciones actuales de Cuba
- Se comunica la composición química de las plantas taníferas que se emplearon así como su contenido en taninos
- La posibilidad de utilización de la reacción de glucosilación no enzimática de las proteínas para la protección del almidón al ataque microbiano, lo cual reduce la población de bacterias amilolíticas y la producción de AGCC en el rumen.
- Todos los resultados que se muestran presentan alto valor como material de consulta para los especialistas del tema y su uso como manipuladores de la fermentación ruminal y, además, constituye un material de referencia para la obtención de productos y preparados moduladores

### **IMPACTO CIENTÍFICO-TÉCNICO**

- Intercambio de conocimientos entre investigadores brasileños, mexicanos, españoles y cubanos (MAE/AECID; CAPES/MES).
- Formación de capital humano en obtención de preparados activadores de la fermentación ruminal con preparados microbianos y uso de plantas taníferas)
- Selección e identificación de cepas de levaduras no pertenecientes al Género *Saccharomyces*

- Elaboración de artículos completos publicados en revistas científicas indexadas.
- Presentación de trabajos en eventos nacionales e internacionales.

### **Impacto económico**

- Los procedimientos descritos tienen implícito un impacto económico, ya que las técnicas manipuladoras de la fermentación ruminal empleadas conducen a incrementos productivos, principalmente, cuando los animales consumen alimentos fibrosos de baja calidad, como es el caso de las actuales condiciones de la ganadería Cubana.
- Se brinda a los decisores de la ganadería, la posibilidad de seleccionar la herramienta manipuladora del rumen más apropiada a las condiciones técnico-materiales que se dispone.

### **Impacto social**

Viene dado por el aporte al conocimiento por primera vez en Cuba de los libros y procedimientos dirigidos a manipular la fermentación ruminal.

### **Impacto ambiental**

Está determinado por el hecho de que las diferentes metodologías, tecnologías y procedimientos encaminados a manipular la fermentación ruminal no impactan negativamente al ambiente, puesto que los animales que lo consumen hacen una mayor utilización digestiva de los alimentos. Consecuentemente, las excreciones fecales tendrán menos nitrógeno y otros compuestos así como las emanaciones de metano vía eructo y anal serán, también, menores.