

Parámetros de fermentación y cinética ruminal en novillos suplementados con diferentes aditivos

Fermentation parameters and ruminal kinetics in steers supplements with different additives

Brenda Hernández Martínez*, Manuel Murillo Ortiz*, Gerardo Pámanes Carrasco**, Osvaldo Reyes Estrada*, Esperanza Herrera Torres*✉

Hernández Martínez, B., Murillo Ortiz, M., Pámanes Carrasco, G., Reyes Estrada, O., & Herrera Torres, E. (2017). Parámetros de fermentación y cinética ruminal en novillos suplementados con diferentes aditivos. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 25(72), 5-11.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el contenido de nitrógeno amoniacal (N-NH₃), ácidos grasos volátiles (AGV), pH y parámetros de cinética ruminal en cuatro novillos (700 ± 100 kg) fistulados de rumen. Se ofrecieron cuatro dietas: forraje concentrado 30:70 (T1) con suplementación de monensina, levadura y sustrato glucogénico (T2, T3 y T4, respectivamente). Los datos obtenidos fueron analizados con un cuadro latino con arreglo factorial 4 x 4. La suplementación de levadura incrementó la concentración de propionato y disminuyó la de acetato ($P < 0.05$). De igual manera, la adición de levadura incrementó el N-NH₃ ($P < 0.05$) y favoreció la degradación de proteína ruminal, sugiriendo un incremento en la cantidad de microorganismos fibrolíticos y promoviendo una mayor tasa de digestión ruminal. El pH no fue afectado por la suplementación ($P > 0.05$). Se concluye que la adición de 10 g de levadura en

Palabras clave: ácidos grasos volátiles; N-NH₃; monensina; sustrato glucogénico; levadura.

Keywords: volatile fatty acids; N-NH₃; monensin; glucogenic substrate; yeast.

Recibido: 29 de abril de 2017, aceptado: 18 de agosto de 2017

* Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Correo electrónico: brendafmvz90@hotmail.com; muom8@yahoo.com.mx; reyesosvaldo@hotmail.com; hetoes99@hotmail.com

** Cátedras Conacyt, Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango. Correo electrónico: gerardo.pamanes@gmail.com

✉ Autor para correspondencia

dietas de ganado en engorda mejoran las características de fermentación ruminal.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the N-NH₃ content, volatile fatty acids (VFA) concentration and pH using 4 ruminal fistulated steers (700 ± 100 kg) supplemented with different additives. Four diets concentrate-forage 70:30 (T1) were offered with a supplementation of monensin, yeast and a glucogenic substrate for T2, T3 and T4, respectively. Data were analyzed as a 4 x 4 latin square with factorial arrangement. Yeast supplementation increased propionate and decreased acetate concentrations ($P < 0.05$); however, the other additives showed no effect on VFA ($P > 0.05$). Likewise, yeast supplementation increased N-NH₃ ($P < 0.05$) enhancing ruminal protein degradability and suggesting an increase in the fibrolytic microorganisms and promotes a higher digestibility rate. The pH was not affected by supplementation ($P > 0.05$). It can be concluded that supplementation of 10 g of yeast on beef cattle diets improves ruminal fermentation characteristics.

INTRODUCCIÓN

La producción de carne en corrales de engorda se caracteriza por el alto costo en la alimentación del ganado, lo cual representa hasta 70% del costo total de producción (SAGARPA, 2010). Como una alternativa para la reducción en gastos de alimentación, así como para mejorar la eficiencia y

crecimiento, se ha recurrido al uso de aditivos como suplementos alimenticios en la dieta de bovinos. Estos productos facilitan la transferencia de cationes a través de las membranas celulares y favorecen el crecimiento de bacterias gram negativas en el rumen (Kunkle, Johns, Poore, & Herd, 2000). Entre los principales aditivos alimenticios que se emplean en la actualidad se encuentran los ionóforos, levaduras, enzimas fibrolíticas y actualmente, sustratos glucogénicos (Bayat et al., 2015; Matras, Klebaniuk, & Kowalczyk-Vasilev, 2012; Murillo et al., 2001). Estos últimos promueven la generación de glucosa a partir de la gluconeogénesis, lo cual representa la principal fuente de energía para la mayoría de las células (Livas, Torillo, & Mireles, 2013).

Algunos autores afirman que el aditamento de levaduras a la alimentación de bovinos mejora los parámetros de fermentación ruminal, mientras que la monensina altera parámetros ruminales como el pH, la producción de ácidos grasos volátiles y la relación acetato:propionato (Aderinboye, Onwuka, Arigbede, Oduguwa, & Aina, 2012; Bayat et al., 2015). Livas et al. (2013) suplementaron propilenglicol, un aditivo glucogénico, a la dieta de bovinos en engorda, registrando ganancias diarias de peso (GDP) de 2.04 kg, así como una conversión alimenticia (CA) de 6.4. Por otro lado, Carillo-Herrera et al. (2016) reportaron una GDP y una CA de 1.215 kg/d y 6.67, respectivamente, en vaquillas suplementadas con el mismo aditivo. Sin embargo, la información del efecto de los sustratos glucogénicos en los parámetros de fermentación y cinética ruminal, así como la comparación con otro tipo de aditivos, es controversial. Debido a esto, el objetivo de esta investigación fue evaluar los parámetros de fermentación y cinética ruminal en novillos suplementados con diferentes aditivos alimenticios.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, ubicada en el km 11.5 de la carretera Durango-Mezquital a 23 ° 51' N y 104 ° 15' O a 1730 m.s.n.m., según reportó el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2004).

Animales y dietas experimentales

Para el estudio se emplearon cuatro animales fistulados de rumen (peso promedio de 700 ± 100

kg) (figura 1), los cuales se alojaron en corraletas individuales de 6 X 16 m provistas de bebederos y comederos individuales. Las dietas fueron isoenergéticas e isoproteicas y balanceadas de acuerdo con los requerimientos nutricionales de novillos en engorda (NRC, 2000).



Figura 1. Novillo fistulado de rumen empleado en la prueba experimental.
Imagen de los autores.

Los suplementos utilizados en los tratamientos experimentales fueron monensina, levadura y un sustrato glucogénico. La levadura utilizada está conformada por una mezcla de *Saccharomyces cerevisiae* y oligosacáridos. Por otro lado, el sustrato glucogénico está compuesto por una mezcla de propionatos (3.3% de propano-1,2-diol; 6.9% de propionato de calcio; c.f.p. excipiente). Los animales fueron alimentados con cuatro dietas experimentales (tabla 1) dos veces al día (9:00 y 15:00 h), mientras que los rechazos fueron pesados diariamente. El consumo de materia seca se restringió a 2.2% del peso vivo de los animales de acuerdo con lo recomendado por Zinn (2000).

El experimento se dividió en cuatro periodos experimentales de 11 días cada uno, de los cuales 10 fueron de adaptación a la dieta y uno de muestreo. En el día 11 se tomaron 100 ml de líquido ruminal de cada uno de los novillos a las 0, 4, 8 y 12 h después de la alimentación, e inmediatamente se registró el pH con un potenciómetro (Hi 991300, Hanna). Dos submuestras de 10 ml de líquido ruminal fueron colectadas y acidificadas para su conservación; una

Tabla 1
Ingredientes y composición nutricional de los tratamientos experimentales

| Ingredientes | Tratamientos | | | |
|-------------------------------|--------------|------|------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 |
| Heno de alfalfa (%) | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 |
| Heno de avena (%) | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 |
| Harinolina (%) | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| Maíz rolado (%) | 47.0 | 47.0 | 47.0 | 47.0 |
| Mezcla mineral* (%) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Carbonato de calcio (%) | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| Monensina (g/a/d) | 0 | 2.0 | 0 | 0 |
| Levadura (g/a/d) | 0 | 0 | 10.0 | 0 |
| Sustrato glucogénico† (g/a/d) | 0 | 0 | 0 | 20.0 |
| Composición química (g/kg) | | | | |
| Materia orgánica | 940 | 940 | 940 | 940 |
| Proteína cruda | 135 | 135 | 135 | 135 |
| Extracto etéreo | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 |
| Fibra detergente neutra | 490 | 490 | 490 | 490 |
| Fibra detergente ácida | 195 | 195 | 195 | 195 |

Nota: *Mezcla mineral: P (12%), Ca (12%), Na (9%), Mg (1.7%), Zn (0.5%); †Mezcla glucogénica: 3.3% propilen-1,2-diol, 6.9% propionato de calcio, 89.8% excipiente.

Elaboración propia.

de ellas con 2.5 ml de ácido metafosfórico a 25%, mientras que la otra con 0.3 ml de H_2SO_4 a 50% para determinar ácidos grasos volátiles (AGV) y $N-NH_3$, respectivamente. Las muestras se almacenaron a $-20\text{ }^\circ\text{C}$ para análisis posteriores.

El análisis de $N-NH_3$ se realizó con la técnica de fenol-hipoclorito propuesta por Galyean y May (1995) en un equipo Genesys 10S VIS (Thermo Scientific, USA). La evaluación de los AGV se llevó a cabo inyectando aproximadamente 1 μl de muestra en modo *splitless* en un cromatógrafo de gases (CG) 6890N (Agilent Technologies, Wilmington, DE) equipado con un detector de ionización de flama en una columna capilar de polietilenglicol HP-Innowax (30 m x 0.32 mm x 0.15- μm , J&W Scientific). El horno fue programado con una temperatura inicial de $80\text{ }^\circ\text{C}$ (mantenida constante por 1 min) a $120\text{ }^\circ\text{C}$ con una rampa de temperatura de $20\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ y después incrementado a $205\text{ }^\circ\text{C}$ con una rampa de $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$, para finalmente mantener constante por espacio de 2 min. Se utilizó N_2 como gas acarreador con flujo de 40 ml/min.

El modelo utilizado para la determinación de los parámetros de cinética ruminal fue estimado de acuerdo con lo propuesto por Mertens y Ely (1979).

Análisis estadístico

El diseño experimental empleado para el análisis de la concentración de AGV, amoníaco y pH ruminal

fue un cuadrado latino 4 x 4 con arreglo factorial. Los factores evaluados fueron el tipo de aditivo (tratamiento) y los tiempos de fermentación. El modelo incluyó los efectos de tratamiento, tiempos de fermentación y la interacción entre ambos. Como efecto aleatorio se consideró el animal anidado dentro del tratamiento. En el análisis de los datos se utilizó el procedimiento MIXED de SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA). Para separar las medias mínimas cuadráticas se utilizó la opción PDIFF.

RESULTADOS

En la concentración de acético propiónico butírico y AGVT no se observaron interacciones tratamiento x tiempo de muestreo ($P>0.05$, tabla 2); por lo que sólo se discute el efecto del tratamiento. La adición de levadura redujo la concentración de ácido acético y la relación A:P e incrementó la concentración de ácido propiónico ($P<0.05$). Por otro lado, no se observaron diferencias en las concentraciones de ácido butírico ni en la producción de AGVT.

La interacción tratamiento x tiempo de muestreo fue significativa para la concentración de $N-NH_3$ y pH ($P<0.05$, tabla 3). Además, la adición de levadura y sustrato glucogénico redujo 38 y 31% la concentración de $N-NH_3$ al tiempo cero, respectivamente ($P<0.05$). Asimismo, a las 12 h de fermentación todos los aditivos suplementados provocaron un incremento en la concentración de $N-NH_3$ de 99, 70 y 23% con T2,

Tabla 2
Medias mínimas cuadráticas de la concentración de ácidos grasos volátiles en novillos suplementados con diferentes aditivos

| | Tratamientos | | | | |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | EE |
| Acético (mol/100 moles AGV) | 69.94 ^a | 69.61 ^a | 63.59 ^b | 69.62 ^a | 2.18 |
| Propiónico (mol/100 moles AGV) | 16.3 ^b | 16.1 ^b | 23.2 ^a | 16.3 ^b | 1.99 |
| Butírico (mol/100 moles AGV) | 11.1 ^a | 10.9 ^a | 10.7 ^a | 11.5 ^a | 0.57 |
| AGVT (mM) | 67.58 ^a | 67.72 ^a | 66.00 ^a | 67.80 ^a | 3.54 |
| Acetato: Propionato (A:P) | 4.39 ^a | 4.40 ^a | 3.01 ^b | 4.32 ^a | 0.35 |

Nota: ^{ab} Medias con literal diferente en la misma fila son diferentes ($P>0.05$); AGVT: ácidos grasos volátiles totales; EE: error estándar de la media.
Elaboración propia.

Tabla 3
Medias mínimas cuadráticas de las concentraciones de nitrógeno amoniacal y pH en novillos suplementados con diferentes aditivos

| Tiempo (h) | Tratamientos | | | | |
|------------|---------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | EE |
| | N-NH ₃ (mg/dl) | | | | |
| 0 | 6.87 ^a | 8.25 ^a | 4.2 ^b | 4.68 ^b | 2.11 |
| 4 | 6.13 ^a | 4.12 ^a | 5.36 ^a | 4.32 ^a | 2.11 |
| 8 | 4.15 ^a | 5.19 ^a | 8.05 ^a | 6.79 ^a | 2.11 |
| 12 | 6.50 ^b | 12.98 ^a | 11.07 ^a | 8.05 ^a | 2.11 |
| | pH | | | | |
| 0 | 7.14 ^a | 7.46 ^a | 7.40 ^a | 7.41 ^a | 0.13 |
| 4 | 6.75 ^a | 6.94 ^a | 7.08 ^a | 6.87 ^a | 0.13 |
| 8 | 6.73 ^a | 6.96 ^a | 6.99 ^a | 6.76 ^a | 0.13 |
| 12 | 6.59 ^a | 7.19 ^a | 7.18 ^a | 6.74 ^a | 0.13 |

Nota: ^{ab} Medias con literal diferente en la misma fila son diferentes ($P>0.05$); EE: error estándar de la media.
Elaboración propia.

T3 y T4, respectivamente ($P<0.05$). En contraste, no se observaron diferencias en el pH entre tratamientos ($P>0.05$).

Por otra parte, la tabla 4 muestra los parámetros de cinética ruminal. La tasa de pasaje (K_p), la tasa de digestión (K_d) y el tiempo medio de retención ruminal fueron diferentes entre tratamientos ($P<0.05$), además la adición de levadura y sustrato glucogénico incrementaron la K_p y K_d , mientras que TMRR disminuyó.

DISCUSIÓN

En el presente estudio, la adición de sustrato glucogénico no modificó la concentración de acetato. Sin embargo, Ghorbani, Morgavi, Beauchemin y Leedle (2002) registraron una disminución en la concentración de acetato en ganado de carne suplementado con propionibacterium. La levadura incre-

mentó la concentración de propionato y disminuyó la relación acetato:propionato. Estos resultados son similares a los registrados por Zhu et al. (2017) en vacas suplementadas con *Saccharomyces cerevisiae* (20.6 mMol/l y 3.55, respectivamente). Adicionalmente, Hassan y Mohammed (2016) presentaron un incremento en la concentración de propionato con la adición de levaduras. Estos cambios pueden ser atribuidos al incremento de bacterias fibrolíticas y a la reducción de microorganismos productores de lactato y receptores de iones hidrógeno para la producción de metano. De esta manera, al disminuir estos últimos, se promueve la formación de propionato a nivel ruminal (Ungerfeld, 2015).

Sin embargo, el hecho de que no se hayan registrado cambios en los AGVT se podría atribuir al incremento del propionato y a la disminución del acetato. Además, la tasa de producción de propionato y otros AGV está directamente relacionada con el

Tabla 4
Parámetros de la cinética ruminal en novillos suplementados con diferentes aditivos

| | Tratamientos | | | | |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | EE |
| Kp (%/h) | 3.51 ^c | 4.75 ^b | 5.70 ^a | 4.62 ^b | 0.17 |
| Kd (%/h) | 7.27 ^c | 8.32 ^b | 9.91 ^a | 8.02 ^b | 0.08 |
| TMRR (h) | 28.57 ^a | 21.01 ^b | 17.60 ^c | 21.60 ^b | 0.34 |
| TSLR (L/h) | 2.35 ^c | 2.08 ^b | 2.35 ^a | 2.01 ^b | 0.02 |

Nota: ^{abc} Medias con literal diferente en la misma fila son diferentes ($P > 0.05$); Kp: tasa de pasaje; Kd: tasa de digestión; TMRR: tiempo medio de retención ruminal; EE: error estándar de la media. Elaboración propia.

consumo de sustratos fermentables, donde la síntesis de propionato es favorecida por la fermentación del almidón por las bacterias amilolíticas (Van Soest, 1994). Por el contrario, Oeztuerk, Emre y Breves (2016) registraron incrementos en el contenido de AGV totales al adicionar 0.75 g de levaduras a dietas consumidas por bovinos. Asimismo, la disminución en la proporción A:P es reflejo del incremento de propionato. Estos resultados confirman que la adición de levaduras a dietas de bovinos mejora el empleo de la energía.

De acuerdo con Satter y Slyter (1974) y Cheeke (2004), la concentración adecuada de N-NH₃ en el rumen varía de 5 a 25 mg/100 ml de líquido ruminal; mientras que Satter y Slyter (1974) mencionan que la eficiencia microbiana ocurre cuando la concentración de N-NH₃ se encuentra entre 5 y 8 mg/100 ml. En el presente estudio, la concentración de N-NH₃ fue menor a las 4 h con la adición de monensina. Lo anterior se puede atribuir a que la monensina interfiere en la actividad proteolítica, lo que provoca una menor degradabilidad ruminal de la proteína (Bergen & Bates, 1984). No obstante, el incremento en los valores de N-NH₃ después de las 12 h de fermentación sugiere un aumento en la degradación de proteína a nivel ruminal y en el contenido de proteína microbiana después de las 12h de fermentación, resultados que coinciden con lo reportado por Rodríguez Muela et al. (2010). Por otro lado, Carrillo-Herrera et al. (2016) registraron concentraciones de N-NH₃ menores en becerros suplementados con un sustrato glucogénico a las 4 y 8 h de fermentación (2.04 y 2.59 mg/dl, respectivamente); mientras que Oeztuerk et al. (2016) obtuvieron 10.94 mMol/l (18.61 mg/dl) de N-NH₃ al emplear 0.75 g de levadura y Öztürk et al. (2015) 12.91 mg/dl.

Por otro lado, el pH se mantuvo constante debido a que la velocidad de absorción de los AGV a través

de la pared ruminal, así como el tipo de bacterias que se propagan, promueven la homeostasis del pH (Carrillo-Herrera et al., 2016; Khorrami, Vakili, Danesh, & Klevenhusen, 2015). Herrera (2005) y Kamel, Sekine, El-Waziry y Yacout (2004) no registraron efectos de la levadura en los parámetros de cinética ruminal; sin embargo, Quiñones (2001) menciona que las levaduras vivas representan una alternativa adecuada en la alimentación de bovinos, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente análisis. Los incrementos observados en la Kp y Kd en este trabajo de investigación podrían ser ocasionados por un incremento en los microorganismos fibrolíticos debido a la adición de levaduras, lo cual promueve una rápida digestión (Hassan & Mohammed, 2016).



Figura 2. Parte del proceso experimental. Imagen de los autores.

CONCLUSIONES

La adición de levadura en dietas para novillos en finalización mejoró los parámetros de fermentación y cinética ruminal al proporcionar suficiente energía

y proteína, lo cual se reflejó en un aumento en la concentración de AGV ruminales, así como la concentración de N-NH₃. Sin embargo, se recomiendan más estudios en los cuales se utilicen diferentes dietas con las levaduras vivas y los precursores glucogénicos con la finalidad de mejorar estas variables alimenticias, lo cual puede

repercutir en un buen desempeño animal. Asimismo, estos resultados deben de corroborarse con pruebas de comportamiento productivo. Finalmente, se sugiere la combinación de los aditivos alimenticios en las dietas para bovinos con el objetivo de mejorar el desempeño de los animales a través de la manipulación del ecosistema ruminal.

REFERENCIAS

- Aderinboye, R. Y., Onwuka, C. F., Arigbede, O. M., Oduguwa, O. O., & Aina, A. B. (2012). Effect of dietary monensin inclusion on performance, nutrient utilisation, rumen volatile fatty acid concentration and blood status of West African dwarf bucks fed with basal diets of forages. *Tropical Animal Health and Production*, 44(5), 1079-1087.
- Bayat, A. R., Kairenius, P., Stefanski, T., Leskinen, H., Comtet Marre, S., Forano, E., ..., Shingfield, K. J. (2015). Effect of camelina oil or live yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) on ruminal methane production, rumen fermentation, and milk fatty acid composition in lactating cows fed grass silage diets. *Journal of Dairy Science*, 98(5), 3166-3181.
- Bergen, W. G., & Bates, D. B. (1984). Ionophores: their effect on production, efficiency and mode of action. *Journal of Animal Science*, 58(6), 1465-1483.
- Carrillo-Herrera, J., Murillo-Ortiz, M., Herrera-Torres, E., Carrete-Carreón, F., Reyes-Estrada, O., & Livas-Calderón, F. (2016). Rendimiento productivo y calidad de la canal de becerros alimentados con un precursor glucogénico. *Abanico Veterinario*, 69(1), 13-21.
- Cheeke, P. R. (2004). *Applied animal nutrition: Feeds and feeding* (3^a. ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Galindo, J., & Marrero, Y. (2005). Manipulación de la fermentación microbiana ruminal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 39, 439-450.
- Galyean, M. L., & May, T. (1995). *Procedures in animal nutrition research*. NM: New Mexico State University.
- Ghorbani, G. R., Morgavi, D. P., Beauchemin, K. A., & Leedle, J. A. (2002). Effects of bacterial direct-fed microbials on ruminal fermentation, blood variables, and the microbial populations of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 80(7), 1977-1985.
- Hassan, S. A., & Mohammed, S. F. (2016). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on rumen characteristics in awassi lambs fed diets with different roughage to concentrate ratios. *The Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 47(Special issue), 1-11.
- Herrera, T. E. (2005). *Efecto de las enzimas fibrolíticas exógenas y las levaduras vivas sobre la cinética digestiva y la producción de nitrógeno amoniacal ruminal en dietas para ganados de engorda* (Tesis de maestría). Universidad Juárez del estado de Durango, México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2004). Sistema para la consulta del cuaderno estadístico municipal [Base de datos]. Recuperado de www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem04/nacional/index.htm
- Kamel, H. E. M., Sekine, J., El-Waziry, A. M., & Yacout, M. H. M. (2004). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on the synchronization of organic matter and nitrogen degradation kinetics and microbial nitrogen synthesis in sheep fed berseem hay (*Trifolium alexandrinum*). *Small Ruminant Research*, 52(3), 211-216. doi: 10.1016/j.smallrumres.2003.06.001
- Khorrami, B., Vakili, A. R., Danesh Mesgaran, M., & Klevenhusen, F. (2015). Thyme and cinnamon essential oils: Potential alternatives for monensin as a rumen modifier in beef production systems. *Animal Feed Science and Technology*, 200, 8-16. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2014.11.009
- Kunkle, W. E., Johns, J. T., Poore, M. H., & Herd, D. B. (2000). Designing supplementation programs for beef cattle fed forages-based diets. *Journal of Animal Science*, 77(E-suppl.), 1-11.
- Livas, C. F., Torillo, P. J., & Mireles, O. R. (agosto, 2013). Comparación de 2 niveles de un sustrato gluconeogénico en la engorda de toretes estabulados en el trópico seco de Veracruz, México. *Memorias Científicas. XXXVII Congreso Nacional de Buiatría*. Acapulco, México: Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especializados en Bovinos, A. C.
- Matras, J., Klebaniuk, R., & Kowalczyk-Vasilev, E. (2012). Impact of glucogenic additive in transition dairy cow diets of varying ruminal starch degradability on yield and composition of milk and reproductive parameters. *Czech Journal of Animal Science*, 57(7), 301-311.
- Mertens, D. R., & Ely, L. O. (1979). A dynamic model of fiber digestion and passage in the ruminant for evaluating forage quality. *Journal of Animal Science*, 49, 1085-1095.

- Murillo, O. M., Cervantes, J., Castro, H. L., Sánchez, F., Vázquez, S., & Zinn, R. (2001). Efecto de fibroenzimas sobre la digestión ruminal y flujo postuminal de la fracción fibra en dietas de bovinos de carne. *Biotecnología en la Industria de la Alimentación Animal*. Brasil: Alltech.
- National Research Council. (2000). *Nutrient requirements of beef cattle* (7ª. ed.). Washington, DC: National Academies Press. doi: 10.17226/9791
- Oeztuerk, H., Emre, B., & Breves, G. (2016). Effects of hydrolysed yeasts on ruminal fermentation in the rumen simulation technique (Rusitec). *Veterinárni Medicina*, 61(4), 195-203. doi: 10.17221/8820-VETMED
- Öztürk, H., Salgırlı Demirbas, Y., Aydın, F. G., Pişkin, I., Ünler, F. M., & Emre, M. B. (2015). Effects of hydrolyzed and live yeasts on rumen microbial fermentation in a semicontinuous culture system (Rusitec). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 39, 556-559.
- Quiñones, G.A. (2011). *Cultivo de levaduras vivas, y su efecto sobre la digestión del nitrógeno y la cinética ruminal de fracción líquida en dietas para bovinos de engorda* (Tesis de maestría). Universidad Juárez del Estado de Durango, Durango, México.
- Rodríguez Muela, C., Aguirre, E., Salvador, F., Ruiz, O., Arzola, C., La, O., & Villalobos, C. (2010). Producción de gas, ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal in vitro con dietas basadas en pasto seco. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 44(3), 251-259.
- Satter, L. D., & Slyter, L. L. (1974). Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. *British Journal of Nutrition*, 32(2), 199-208.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2010). *Manual de buenas prácticas pecuarias en el sistema de producción de ganado productor de carne en confinamiento*. Recuperado el 16 de enero 2017, de www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Documents/.../manual_bovino.pdf
- Ungerfeld, E. M. (2015). Shifts in metabolic hydrogen sinks in the methanogenesis-inhibited ruminal fermentation: A meta-analysis. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1-17. doi: 10.3389/fmicb.2015.00037
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2ª. ed.). New York, NY: Cornell University Press.
- Zhu, W., Wei, Z., Xu, N., Yang, F., Yoon, I., Chung, Y., ..., Wang, J. (2017). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation products on performance and rumen fermentation and microbiota in dairy cows fed a diet containing low quality forage. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8: 36. doi: 10.1186/s40104-017-0167-3
- Zinn, R. A., Gulati, S. K., Plascencia, A., & Salinas, J. (2000). Influence of ruminal biohydrogenation on the feeding value of fat in finishing diets for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 78(7), 1738-1746.